PWSP KRAKÓW
18229/I
KDN., 15. 10. I. 53. 20.000

POLSKA AKADEMJA UMIEJĘTNOŚCI

AUSTRALASIAN ... SYDNEY ... THE ADVANCEMENT OF ...

PISMA
EMILA GODLEWSKIEGO
STARSZEGO

OEUVRES
D'EMILE GODLEWSKI
PÈRE

TOM I — VOLUME I

KRAKÓW 1930
NAKŁADEM AKADEMJI UMIEJĘTNOŚCI
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI GEBETHNERA I WOLFFA
WARSZAWA — KRAKÓW — LUBLIN — ŁÓDŹ — PARYŻ — POZNAŃ —
WILNO — ZAKOPANE.

Rozprawy Wydziału matemat.-przyrodn. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja III. Tom 22. Dział A/B (Ogólnego zbioru tom 62 A/B) **zł. 16·—**

Tadeusz Rogalski: Rozwój i budowa przegrody przeźroczystej i jej jamki (*septum pellucidum et cavum septi pellucidi*) w mózgu człowieka (1—32). — Jan Wilczyński: Nowy gatunek wirka lądowego ze środkowej Afryki *Amblyplana tetracladea n. sp.* (str. 33—70). — F. Rogoziński i T. Rysiakiewicz: O wydalaniu kreatyniny w moczu przez zwierzę przeżuwające (str. 71—87). — Jadwiga Wołoszyńska: Nowy gatunek okrzemki *Centronella Rostafińskii n. sp.* oraz spis roślin planktonowych z jezior Firlejowskiego i Kunowskiego (str. 80—92). — Stefan Jentys: O alkalicznych wydzielinach nasion i ich znaczeniu (str. 93—137). — Leopold Zaleski: Badania nad pobieraniem azotu z soli amonowych i azotanów przez wyższe rośliny (str. 139—238). — T. Marchlewski i S. Skowron: Przyczynek do histologji gruczołu tarczowego (*glandula thyreoidea*) (239—246). — J. Fudakowski: Budowa narządu kurczliwego w tylnej części sklepienia jamy gębowej ryb kostnoszkieletowych (str. 237—255). — Stanisław Skowron: O czynności wydzielniczej komórek gruczołu tarczowego płazów ogoniastych (*Urodela*) (str. 257—264). — Zygmunt Grodziński: Przyczynek do rozwoju przewodu piersiowego (*ductus thoracicus*) u zarodków świni (str. 265—271). — H. Hoyer: Czaszki bezrogiego i rogatego bydła z młodszej epoki kamiennej (str. 273—288). — F. Rogoziński: O wpływie mocznika i azotanu sodowego na wymianę azotową zwierzęcia przeżuwającego (str. 289—304). — Borys Pieczenko: Przyczynek do badań nad drobnoustrojem chorobotwórczym ospy-krowianki. I. Morfologja krowianki glicerynowej (str. 305—314). — St. Minkiewicz: Przyczynek do fauny widłonogów Polski z rodziny *Harpacticidae*: *Wolterstorffia confluens* Schmeil (str. 315—323). — Wiktor Syniewski: O budowie skrobi (str. 326—346).

Rozprawy Wydziału matemat.-przyrodn. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja III. Tom 23/24. Dział A/B. (Ogólnego zbioru tom 63/64 A/B). **zł. 10·—**

Stanisław Kulczyński: Borealny i arktyczno-górski element we florze Europy środkowej (str. 1—96). — Jan Prüffer: Z obserwacji i doświadczeń nad objawami płciowemi u Brudnicy nieparki (*Lymantria dispar L.*) (str. 97—106). — T. Marchlewski: Przyczynek do znajomości zwierząt domowych zachodniej Małopolski z czasów późnego średniowiecza (str. 107—122). — Witold Stefański: Nicienie żyjące w mchu okolic Zakopanego (str. 123—132). — Zofja Protowa: Przyczynek do znajomości oddechania kropidlaka (*Aspergiillus niger*) (str. 133—158). — M. Jeżewski: O wpływie pola magnetycznego na stałą dielekryczną ciekłych kryształów (str. 159—172). — W. Bujak: Badania nad patogenezą ropomoczu u dzieci (str. 173—202). — W. Szafer, B. Pawłowski i S. Kulczyński: Zespoły roślin w Tatrach. Część I. Zespoły roślin w dolinie Chochołowskiej (str. 203—284). — Kazimierz Miczyński: O działaniu odczynnika Unverdorben Franchimont'a i niektórych innych związków na kryształy szczawianu wapna w roślinach (str. 285—298).

ACADÉMIE POLONAISE DES SCIENCES
ET DES LETTRES

OEUVRES
D'EMILE GODLEWSKI
PÈRE

publiées par
LADISLAS VORBRODT

TOME PREMIER
(1870—1890)

LES FRAIS DE CETTE PUBLICATION ONT ÉTÉ COUVERTS DU FONDS LÉGUÉ À L'ACADÉMIE PAR L. J. FEDOROWICZ

CRACOVIE
IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITÉ DES JAGELLONS À CRACOVIE
1930

POLSKA AKADEMJA UMIEJĘTNOŚCI

PISMA
EMILA GODLEWSKIEGO
STARSZEGO

pod redakcją
WŁADYSŁAWA VORBRODTA

TOM PIERWSZY
(1870—1890)

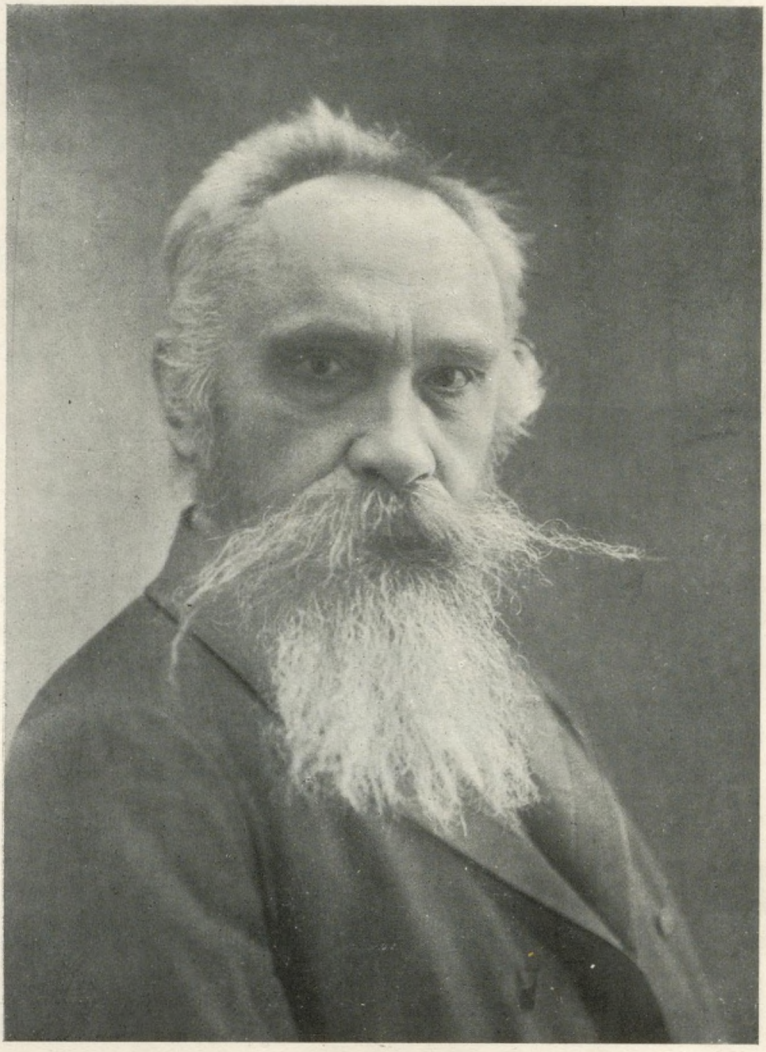
ZASIŁKIEM FUNDUSZU IM. WŁ. J. FEDOROWICZA

W KRAKOWIE
DRUKARNIA UNIWERSYTETU JAGIELLOŃSKIEGO
1930

BIBLIOTEKA
wyższej szkoły pedagogicznej
W KRAKOWIE
18229

UP - Kraków BG
1050258464

AUSTRALASIAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE
SYDNEY



Emil Godlewski

AUSTRALASIAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE
SYDNEY

Badanie mechanizmu pobierania pokarmów.

Widzieliśmy w jakiej formie składniki pokarmowe są przez rośliny pobierane, widzieliśmy że są między nimi gazy, woda i ciała stałe, jak różne sole mineralne i związki organiczne. By sobie zdać sprawę z mechanizmu ich pobierania musi się badacz liczyć z delikatniejszą budową ciała roślinnego. Rozejrzyjmy się w tem nieco.

Elementa tkanek roślinnych mają na wskroś budowę systemów koloidalnych, co najmniej dwufazowych, są bowiem złożone z cząstek stałych w bardzo przeważnej mierze ~~natury~~ ~~tk~~ będących w stanie koloidalnym i wody rozmieszczonej między niemi. Natura cząstek stałych jest różna. W błonach komórkowych są one złożone przeważnie z celulozy, w protoplasmie i jądrze przeważnie z materyj białkowatych. Błona ma charakter stężałej galarety koloidalnej, w której faza stała ~~znacznie~~ przeważa wydatnie nad płynną, w protoplasmie komórek będących w pełni czynności życiowych przeważa bardzo znacznie faza płynna ztąd ~~ma ona~~ protoplasma ma zwykle postać w pół płynną. W komórkach w stanie spo-

AUSTRALASIAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE
SYDNEY

Na zjeździe Polskiego Towarzystwa Botanicznego we Lwowie w roku 1927 powstała myśl uczczenia 80-tej rocznicy urodzin profesora Emila Godlewskiego starszego przez wydanie zbiorowe prac jego i przedłożenia tej prośby botaników polskich Zarządowi Polskiej Akademji Umiejętności.

Zarząd Polskiej Akademji Umiejętności projekt ten, poparty uchwałą wydziału matematyczno-przyrodniczego z dnia 12 grudnia 1927 r., przedstawił Komitetowi funduszu im. ś. p. Fedorowicza, przeznaczonego na popieranie nauk rolniczych.

Komitet fundacji ś. p. Fedorowicza, uznając doniosłość prac prof. Emila Godlewskiego dla nauk rolniczych, uchwalił dostarczyć środków na to wydawnictwo.

Wobec tego Wydział matematyczno-przyrodniczy powołał Komitet z profesorów H. Hoyera, Wł. Szafera i Wł. Vorbrodta dla ułożenia planu wydawnictwa, a redakcję poruczył prof. Vorbrodtowi.

Po zgromadzeniu wszystkich prac profesora Godlewskiego, okazała się konieczność wydania ich w trzech tomach, a mianowicie tom I obejmuje prace naukowe, ogłoszone w latach 1870—1890, tom II obejmie prace za lata 1891—1910, a wreszcie tom III późniejsze prace naukowe oraz inne publikacje o charakterze popularyzacyjnym bądź referatowym. Po porozumieniu z profesorem Godlewskim uchwalono pominąć publikacje, omawiające sprawy szkół rolniczych w Polsce czy też zagranicą, jako pisane przed laty 40-tu, a więc nie odpowiadające dzisiejszemu stanowi rzeczy.

W zasadzie prace drukowane są w wydawnictwie zbiorowem w tym języku, w jakim były ogłoszone; zrobiono jednak wyjątek dla kilku prac, które ukazały się jedynie po polsku i dla czytelników zagranicznych pozostały nieznane; uchwalono więc umieścić ich tłumaczenia w całości bądź w skróceniu.

Na początku I tomu czytelnicy znajdą facsimile pierwszej stronicy rękopisu drugiego tomu »Myśli przewodnich fizjologji roślin«, jeszcze niedrukowanego, oraz autobiografję profesora

Godlewskiego, pierwotnie umieszczoną w jubileuszowym zeszycie »Gazety Rolniczej« z roku 1927-go, wydanym na 20-lecie Centralnego Towarzystwa Rolniczego, a przedrukowaną za zgodą redakcji tego czasopisma. Na końcu III tomu pomieści się kompletną bibljografję wszystkich prac i artykułów profesora Godlewskiego.

Au cours du Congrès de la Société Polonaise de Botanique qui eut lieu en 1927 à Lwów, on conçut le projet de commémorer le 80-e anniversaire du Professeur Godlewski, père, par la publication de ses oeuvres complètes et l'on résolut de soumettre ce voeu des botanistes polonais à la Commission Administrative de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres.

Ce projet appuyé par la Classe des sciences mathématiques et naturelles dans la séance du 12 décembre 1927, fut soumis par la Commission Administrative de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres au Comité chargé de gérer les fonds légués par feu L. J. Fedorowicz pour encourager le développement des sciences agronomiques.

Appréciant la grande importance des oeuvres du Professeur Emile Godlewski pour les sciences agronomiques, le Comité chargé de gérer les fonds légués par feu L. J. Fedorowicz, décida de défrayer les dépenses qu'entraînerait cette publication.

A la suite de cette décision, la Direction de la Classe des sciences mathématiques et naturelles nomma un Comité composé du Professeur H. Hoyer, du Professeur L. Szafer et du Professeur L. Vorbrodt, pour établir le plan des travaux et confia à ce dernier le soin de diriger la publication.

Après avoir réuni tous les travaux scientifiques du Professeur Godlewski, on s'aperçut de la nécessité de les répartir en trois volumes. Le premier comprend les oeuvres publiées entre 1870 et 1890, le second contiendra celles qui parurent entre 1891 et 1910, enfin on trouvera dans le troisième les écrits plus récents, ainsi que des comptes rendus ou des écrits consacrés à la popularisation des questions relatives à l'agriculture. D'accord avec le Professeur Godlewski, on décida de ne pas comprendre dans l'édition complète les écrits en rapport avec les écoles d'agriculture soit en Pologne, soit à l'étranger, d'autant plus qu'ils re-

montent à un passé éloigné de quarante ans, de sorte qu'ils ne sauraient être d'actualité aujourd'hui.

Les oeuvres du Professeur Godlewski paraissent en général dans l'édition complète dans la langue dans laquelle elles ont été primitivement publiées. On dérogea cependant à cette règle pour plusieurs travaux qui n'avaient paru qu'en polonais, de sorte que les lecteurs étrangers n'avaient pu en prendre connaissance; aussi décida-t-on d'en donner des traductions ou des résumés en langues étrangères.

Les lecteurs verront au commencement du premier volume le fac-simile de la première page du manuscrit du tome II des »Myśli przewodnie fizjologji roślin« (»Principes fondamentaux de la physiologie des plantes«) qui n'a pas encore été publié; ils y trouveront également l'autobiographie du Professeur Godlewski que nous empruntons au fascicule de la »Gazeta Rolnicza« (»La Gazette d'Agriculture«) consacré en 1927 au 20-e anniversaire de la Société Centrale d'Agriculture et que nous reproduisons après avoir obtenu le consentement de la rédaction. Nous donnerons à la fin du troisième volume, l'index bibliographique complet de tous les travaux scientifiques et des articles sortis de la plume du Professeur Godlewski.

AUTOBIOGRAFJA.

Urodziłem się dnia 30 czerwca 1847 roku we wsi Krasocin ziemi kieleckiej w b. Królestwie Polskiem, z ojca Korneljusza Godlewskiego, ziemianina, i matki Emilji z Rayskich. Początkowe nauki odbywałem w Kielcach i Warszawie, gdzie w roku 1864 otrzymałem świadectwo dojrzałości.

Studja uniwersyteckie odbywałem:

W Szkole Głównej Warszawskiej na Wydziale matematyczno-fizycznym, na który wstąpiłem w r. 1864 i uczęszczałem nań do r. 1869, w którym to roku po przedłożeniu pracy: «O własności absorbcyjnej ziemi ornej», wydanej wspólnie z moim kolegą i przyjacielem ś. p. Maksymiljanem Dobrskim, otrzymałem stopień magistra nauk przyrodniczych.

W Uniwersytecie w Jenie spędziłem letnie półrocze 1869 r. i zimowe 1870 r. Półrocze letnie 1870 r. i zimowe 1871 r. spędziłem w Krakowie, gdzie obok uczęszczania na wykłady pełniłem obowiązki asystenta naprzód chemji ogólnej w szkole przemysłowej przy prof. Radziszewskim, potem asystenta botaniki w Uniwersytecie Jagiellońskim przy prof. Czerwiakowskim. W półroczu letniem 1872 udałem się do Würzburga, gdzie pracowałem w pracowni fizjologji roślin prof. Sachsa. Była to wówczas najpierwsza pracownia tego przedmiotu w Europie, do której zjeżdżali się z wszystkich krajów młodzi ludzie, pragnący się specjalizować w fizjologji roślin. W czasie mego pobytu w Würzburgu pracowali u Sachsa:

Z Holendrów: Hugo de Vries, późniejszy prof. botaniki w Amsterdamie, słynny twórca teorji o mutacjach. Z Niemców: Prantl, późniejszy prof. botaniki we Wrocławiu. Z Rosjan: Borodin, prof. botaniki w Akademji leśnej w Petersburgu; Wolkoff, uczony, znany ze swoich prac nad wpływem światła na rośliny. Z Polaków,

oprócz mnie: Baraniecki, późniejszy prof. fizjologji roślin w Kijowie. W pracowni würzburskiej Sachsa studjowali swego czasu z wybitniejszych późniejszych uczonych: Pfeffer, słynny prof. fizjologji roślin w Lipsku, który po Sachsie był najgłośniejszym ze wszystkich fizjologów roślin w świecie; Reinke, znany ze swoich prac nad wpływem światła różnych barw na rozkład bezwodnika węglowego przez rośliny, a także znany ze swoich poglądów w dziedzinie filozofji przyrody, jako jeden z najwybitniejszych witalistów. Z Anglików pracowali u Sachsa: Vines, Franciszek Darwin i inni.

Z Würzburga udałem się jeszcze do Jeny dla złożenia tam egzaminu doktorskiego, a po otrzymaniu doktoratu w Jenie uzyskałem po zdaniu uzupełniającego egzaminu z filozofji nostryfikację tego doktoratu w Uniwersytecie Jagiellońskim.

W czerwcu r. 1873 habilitowałem się w Krakowie jako docent prywatny fizjologji roślin, a przedmiot ten wykładałem na Uniwersytecie Jagiellońskim przez półrocze zimowe i letnie 1873/4 roku akad.

W jesieni 1875 zostałem mianowany nauczycielem pomocniczym botaniki i zoologji w Politechnice Lwowskiej i te przedmioty wykładałem tam przez lat 3, bo od jesieni r. 1875 do jesieni 1878 r. Habilitacja jako docenta fizjologji roślin w Uniwersytecie Jagiellońskim została mi potem uznana za ważną dla Uniwersytetu Lwowskiego i jako docent tegoż Uniwersytetu prowadziłem, jako wykłady zlecone mi przez fakultet filozoficzny tegoż Uniwersytetu, wykłady botaniki w półroczu letniem 1876 r., zimowem 1876/7 i letniem 1877 r.

W pierwszych dniach października 1878 r. przeniosłem się ze Lwowa do Dublan, gdzie od 1 października zostałem przez Wydział Krajowy galicyjski zamianowany profesorem botaniki w Krajowej Wyższej Szkole Rolniczej w Dublanach, z obowiązkiem wykładania tam obok całej botaniki także chemji rolniczej. Ten ostatni przedmiot wykładałem także w latach 1878 i 1879 w ciągu zimowych półroczy w Politechnice Lwowskiej, dojeżdżając tam w tym celu z Dublan. Rok 1878, w którym przeniosłem się ze Lwowa do Dublan, był dla Szkoły Dublańskiej o tyle ważny, że w tym roku szkoła ta przeszła na własność kraju i w zarząd Wydziału Krajowego, przestała zatem być już szkołą prywatną a stała się publiczną. Z tą chwilą uległa też ta szkoła gruntownej

reorganizacji podług planu wypracowanego przez jej ciało nauczycielskie i przyjętego przez Wydział Krajowy. W wypracowaniu tego planu Szkoły Dublańskiej przyjmowałem nader czynny udział i stale przestrzegałem przed dążnościami pozostawiania uczniom zbyt daleko idącej swobody co do sposobu prowadzenia studjów, zwracając stale uwagę na to, że ściśle przepisany i konsekwentnie, przez odpowiedni przymus egzaminowy, przeprowadzony plan studjów jest dla naszej młodzieży bezwzględną koniecznością jeśli nauka ma jej istotną przynosić korzyść.

Dla rozpatrzenia się w organizacji podobnych do dublańskiej szkół zagranicą, aby poczynione spostrzeżenia można było spożytkować w Dublanach, odbyłem w r. 1885 z polecenia Wydziału Krajowego objazd wyższych szkół rolniczych zagranicznych, a zwłaszcza niemieckich. Gdy z inicjatywy profesora Janczewskiego i za staraniem ministra Dunajewskiego rząd austrjacki postanowił założyć w Uniwersytecie Jagiellońskim Studjum Rolnicze na Wydziale filozoficznym tegoż Uniwersytetu, Senat Uniwersytetu postanowił wysłać dla zwiedzenia urządzeń analogicznych zakładów naukowych rolniczych, zwłaszcza połączonych z Uniwersytetami, osobną delegację, aby w ten sposób uzyskać dane, któreby można było zużytkować przy zamierzonem organizowaniu Studjum Rolniczego w Uniwersytecie Jagiellońskim. W tej delegacji miał wziąć udział prof. Janczewski, jako wnioskodawca organizowania Studjum Rolniczego, i ja, jako ten, który już od dłuższego czasu był czynny w szkole rolniczej i z organizacją wyższych szkół rolniczych był już oddawna zaznajomiony.

W tej wycieczce zaznajomiliśmy się z prof. Janczewskim z organizacją szkół rolniczych w Wiedniu, Berlinie, Zurichu, Monachjum, Bonn, w Paryżu, w Grignon, w Gembloux, w Lipsku, w Hali, Getyndze, a opis urządzeń tych różnych szkół rolniczych daliśmy w «Przeglądzie Polskim», wychodzącym w Krakowie. Poczynione w tej podróży spostrzeżenia posłużyły nam potem, jako cenny materjał przy organizowaniu Studjum Rolniczego w Uniwersytecie Jagiellońskim, który opracowany był przez specjalną komisję, złożoną w przeważnej mierze z profesorów Wydziału filozoficznego, po części także Wydziału prawnego i lekarskiego. Skoro organizacja Studjum Rolniczego w Uniwersytecie Jagiellońskim weszła w życie, przeniosłem się także i ja z Dublan do Krakowa, gdyż w roku 1891 zostałem zamianowany pro-

fesorem chemji rolniczej, z obowiązkiem wykładania także fizjologji roślin. Po objęciu katedry w Uniwersytecie Jagiellońskim przypadło mi przedewszystkiem zadanie zorganizowania pracowni chemji rolniczej, której oczywiście narazie wcale nie było, i trzeba było na ten cel na razie zaadaptować odpowiedni lokal, który się mieścił w dawnem Collegium Iuridicum i zajmował całe drugie piętro tego budynku. Obok organizowania pracowni chemji rolniczej i fizjologji roślin, które służyć miały do prowadzenia odpowiednich ćwiczeń oraz do mojej własnej i moich asystentów pracy naukowej, przypadała mnie i prof. Janczewskiemu, jako tym, którzy w sprawie organizacji wyższych szkół rolniczych najwięcej mieli doświadczenia, troska o dalszą rozbudowę Studjum Rolniczego, w pierwszym rzędzie o wyszukanie odpowiednich sił naukowych, któreby jako kandydatów na odpowiednie katedry można było przedstawić. W chwili, gdy przeniosłem się z Dublan do Krakowa i tu objąłem katedrę, byłem jedynym profesorem, mianowanym specjalnie dla Studjum Rolniczego.

Wykłady na Studjum Rolniczem rozpoczęły się z początkiem roku szkolnego 1890/1, ale między temi wykładami nie było żadnego przedmiotu ściśle fachowo-rolniczego, co zresztą niezależnie od braku sił nauczycielskich nie miało w sobie nic wadliwego, bo było zupełnie w porządku, żeby najpierw na Studjum Rolniczem traktowane były nauki przyrodnicze; żeby jednak choć w drugim roku po otwarciu Studjum mogły się rozpocząć wykłady ściśle fachowe, trzeba było zawczasu pomyśleć o siłach fachowo-rolniczych. Troska o wyszukanie takich sił z natury rzeczy przypadła mnie i prof. Janczewskiemu. Było to dla nas o tyle łatwiej możliwe niż dla innych kolegów, że w czasie naszej podróży mieliśmy więcej sposobności do zapoznania się z ludźmi, między którymi można było się spodziewać, że znajdą się ludzie, którzy mogliby się może kwalifikować do zajęcia odpowiednich stanowisk nauczycielskich w organizującem się Studjum Rolniczem. Pierwszym, który zwrócił naszą uwagę, jako możliwy kandydat na katedrę hodowli zwierząt, był ówczesny docent hodowli i mleczarstwa w Hochschule für Bodenkultur w Wiedniu, a dzisiejszy profesor hodowli w Wiedniu i w Krakowie, wielce zasłużony i głośnem imieniem się cieszący, tak u rolników praktycznych, jak i wśród uczonych, profesor Adametz. Gdyśmy się z nim zapoznali i zapytali go poufnie, czy ewentualnie gotówby był

wziąć pod bliższą rozwagę sprawę przeniesienia się do Krakowa i przyjęcia katedry na Studjum Rolniczem, wyłoniła się oczywiście zaraz sprawa języka wykładowego w jakim miałby wykładać.

Gdy przyszło do bliższego omówienia tej drażliwej sprawy, Adametz oświadczył w zasadzie gotowość wykładania w języku polskim pod warunkiem, że byłby mu zostawiony odpowiedni czas, przez który mógłby wykładać w języku niemieckim, a tymczasem przyswoić sobie język polski tak, aby po upływie tego określonego umówionego okresu czasu był obowiązany wykładać po polsku. Gdy przyszło do określenia tego umówionego okresu czasu, w którym mianowanemu nowemu profesorowi wolnoby było jeszcze wykładać po niemiecku, my zaproponowaliśmy okres dwuletni, na co prof. Adametz zgodził się, wyrażając jednak nadzieję, że już po jednym roku zdoła na tyle przyswoić sobie język polski, żeby móc już prowadzić wykłady po polsku. Tę swoją ewentualną obietnicę Adametz spełnił w zupełności i po roku od rozpoczęcia swoich wykładów w Krakowie rozpoczął już wykładać po polsku. Wprowadzenie choć tylko tymczasowe na organizujące się Studjum Rolnicze języka niemieckiego nie obyło się bez pewnej opozycji z powodu obaw, aby nie stanowiło to precedensu i nie uszczupliło praw, tak słusznie i tak bardzo przez Uniwersytet cenionych, języka polskiego. W głębokiem przeświadczeniu, że o precedensie nie będzie mogło być mowy wobec ściśle określonego i krótkiego czasu dopuszczalności wykładów niemieckich, Wydział filozoficzny zgodził się na to krótkotrwałe prowizorjum niemieckie, które, jak już wzmiankowano, ustało już po roku, a za to drobne ustępstwo Wydział filozoficzny zyskał dla organizującego się Studjum Rolniczego pierwszorzędną siłę naukową tak, że, gdy po czterech latach pobytu w Krakowie prof. Adametz przyjął zaproponowaną mu przez Hochschule für Bodenkultur katedrę hodowli zwierząt domowych po prof. Wilkensie, nie było nikogo, ktoby nie żałował, że pobyt prof. Adametza na katedrze hodowli zwierząt w Uniwersytecie Jagiellońskim trwał tak krótko. Nietylko w kołach uniwersyteckich, ale także wśród rolników praktycznych zjednał sobie prof. Adametz szerokie uznanie.

Obok katedry hodowli zwierząt niemało trudności przedstawiało także obsadzenie katedry rolnictwa. Obsadzenie tej katedry udało się poniekąd dzięki przypadkowi. W warszawskiej «Gazecie Rolniczej» pojawiały się od czasu do czasu artykuły, podpisane

przez p. Franciszka Czarnomskiego. Między innemi znajdował się jeden o wapnowaniu, odznaczający się nietylko doskonałem ujęciem strony praktycznej, ale także bardzo dokładnem wyjaśnieniem teoretycznych podstaw działania wapna w glebie. Wkońcu potem pojawił się także w tejże «Gaz. Rolniczej» obszerny artykuł teoretyczny tegoż autora o glebie, w którym autor szeroko i gruntownie omawia na tle geologicznem powstawanie gleby i zależność jej własności od geologicznego pochodzenia. Po zasięgnięciu bliższych informacyj dowiedzieliśmy się, że autorem artykułów, które zwróciły naszą uwagę, jest ziemianin, właściciel majątku Dubidze, który z początku przygotowywał się do zawodu naukowego w zakresie fizyki, a później wskutek przypadku, który uniemożliwił jego ojcu zajmowanie się nadal gospodarstwem, zmuszony został do objęcia gospodarstwa i pracy na roli, przyczem zaczął rolnictwo uprawiać nietylko praktycznie, ale i teoretycznie. Zachęceni wartością tych naukowych przez ziemianina napisanych prac, zapragnęliśmy osobiście go poznać i przekonać się, czy nie byłoby wskazane zachęcić go do oddania się teorji rolnictwa i ewentualnie do kandydowania o katedrę.

W tym celu profesor Janczewski udał się do majątku p. Czarnomskiego, aby poznać go w jego własnym warsztacie pracy, a gdy z tych odwiedzin jak najlepsze odniósł wrażenie, namówił p. Czarnomskiego, aby przybył do Krakowa dla bliższego zapoznania się z przyszłymi ewentualnymi kolegami. Niebawem odbył akt habilitacji, po którym Wydział filozoficzny przyznał Czarnomskiemu prawo wykładania rolnictwa w Uniwersytecie. Gdy próba wypadła pomyślnie, powierzono Czarnomskiemu zastępstwo katedry rolnictwa, którą też później na stałe mu powierzono. Wykłady Czarnomskiego cieszyły się jak największem powodzeniem i uznaniem u uczniów, którzy szczególniej to u niego cenili, że obok gruntownej i wyczerpującej wiedzy teoretycznej widzieli w nim rolnika-praktyka, doskonale ze wszystkiemi praktycznemi drobiazgami obznajmionego.

W ten sposób dwie najważniejsze katedry praktyczne na Studjum Rolniczem zostały szczęśliwie ku najzupełniejszemu zadowoleniu słuchaczy i pożytkowi dla rolnictwa obsadzone.

Pozostawała jeszcze jedna, bodaj czy nie najważniejsza, praktyczna katedra do obsadzenia, mianowicie katedra administracji gospodarczej i organizacji gospodarstw. Dla obsadzenia tej ważnej

katedry po niektórych nieudanych próbach zwróciliśmy się po niejakiem wahaniu do wypróbowanej i zupełnie pewnej, a nader dzielnej siły, w osobie profesora Lubomęskiego, dyrektora szkoły rolniczej w Dublanach. Z powołaniem go na Studjum Rolnicze wahaliśmy się nie dlatego, jakobyśmy co do jego kwalifikacji mieli jakieś wątpliwości, ale dlatego, że zdawaliśmy sobie jasno sprawę z tego, że zabranie go z Dublan będzie ciężką dla tej szkoły stratą, którą niełatwo przyjdzie jej powetować. Dla Studjum Rolniczego prof. Lubomęski był pierwszorzedną akwizycją przedewszystkiem z tego powodu, że z niepospolitą teoretyczną wiedzą we wszystkich dziedzinach gospodarstwa wiejskiego łączył doskonałą znajomość praktyczną całości gospodarstwa i to gospodarstwa nie w jednym jakimś majątku lub jednej okolicy, ale w warunkach bardzo różnych, do których umiał się doskonale dostosować.

Zanim oddał się zawodowi nauczycielskiemu, profesor Lubomęski był przedewszystkiem rolnikiem praktycznym, który jako administrator prywatnych majątków gospodarował w warunkach bardzo różnych, w różnych częściach kraju. To też trudnoby było znaleźć człowieka, któryby pod względem znajomości kraju i jego stosunków rolniczych mógł się mierzyć z prof. Lubomęskim, dlatego przy prowadzeniu konwersatorjów, a nadewszystko wycieczek rolniczych był on prawdziwie nieoceniony.

W ten sposób główne katedry na Studjum Rolniczem zostały narazie zupełnie pomyślnie obsadzone. Niestety, obsadzone one były stosunkowo na krótko, bo prof. Adametz powrócił niebawem do Wiednia. Prof. Czarnomski wkrótce po przeniesieniu się do Krakowa zaczął chorować, a w r. 1898 w sześć lat po swej nominacji zmarł, ku wielkiej szkodzie Studjum Rolniczego i ciężkiemu zmartwieniu tak bardzo przywiązanych do niego uczniów. Także i prof. Lubomęski niedługo był na Studjum Rolniczem czynny, bo, zapadając często na zdrowiu, musiał stosunkowo wcześnie przenieść się w stały stan spoczynku, a niebawem zmarł także przedwcześnie.

Co do mnie samego, to obok mojej nauczycielskiej i naukowej działalności, obok troszczenia się łącznie z profesorem Janczewskim o dobór sił nauczycielskich na Studjum Rolniczem, przypadła mi jeszcze na cały szereg lat troska o cały rozwój Studjum Rolniczego, gdyż w r. 1893 zostałem stosownie do przepisów

Studjum Rolniczego wybrany narazie na lat 3 dyrektorem Studjum Rolniczego, a po upływie tego czasu byłem wybrany na tę samą godność jeszcze pięciokrotnie tak, że naogół obowiązki dyrektora Studjum Rolniczego spełniałem przez lat 16, a więc do r. 1909. Przy okazji mego ustąpienia ze stanowiska dyrektora Studjum Rolniczego miałem tę wielką przyjemność, że przekonałem się, jak serdeczny węzeł wzajemnego przywiązania zadzierżgnął się pomiędzy mną a młodzieżą, której przez 16 lat starałem się służyć według najlepszych sił moich. Aby mi za moją pracę swoją wdzięczność wyrazić, złożyli mi uczniowie moi podpisany przez siebie piękny ozdobny adres, który brzmiał:

«Czcigodny Panie Profesorze!

W uznaniu zasług, jakie położyłeś przy stworzeniu Studjum Rolniczego, w uznaniu pracy, jaką poświęciłeś dla nas, nie szczędząc czasu i trudu podczas szesnastoletniego piastowania godności dyrektora Studjum Rolniczego, w uznaniu serdeczności, z jaką odnosiłeś się do wszystkich spraw, dotyczących zarówno ogółu, jak i pojedyńczych słuchaczów, niniejszem składamy Ci hołd».

Pod tem następują podpisy z górą stu czterdziestu słuchaczów i słuchaczek.

Nietylko przy tem pożegnaniu, ale i przez cały czas mego urzędowania odczuwałem ten serdeczny nastrój, jakim darzyli mnie uczniowie, a który mi pracę dla nich i z nimi nietylko niepomiernie ułatwiał, ale także umilał.

Serdeczną życzliwość wobec tego nastroju, z jakim u uczniów moich się spotykałem, odczuwałem, jak się to samo przez się rozumie, względem wszystkich uczniów i uczennic Studjum Rolniczego, ale łatwo jest zrozumiałe, że najserdeczniejsze węzły łączyły mnie z tymi, którzy pracowali pod moim kierunkiem w laboratorjum i których udało mi się wprowadzić do samodzielnej naukowej pracy. Jak każdy autor i uczony, odczuwałem i ja radość z zadowolenia miłości własnej płynącą, gdy mi się udało swą pracą coś ciekawego zdobyć dla nauki, ale to z całą stanowczością mogę powiedzieć, że radość moja o wiele była jeszcze wtedy większa, gdy tym, któremu udało się osiągnąć jakąś naukową zdobycz, byłem nie ja sam, ale ktoś z moich uczniów lub uczennic, pracujących w kierowanem przeze mnie laboratorjum. Z takimi uczniami, którzy poniekąd byli mymi współpracownikami, łączyły mnie zawsze, a łączą i po dziś dzień, szczególniej

serdeczne stosunki, bo leży znów w naturze rzeczy, że w stosunku do takich uczniów do życzliwości nauczyciela do ucznia łączy się jeszcze jakby coś ze stosunku rodzicielskiego.

Ponieważ podług ustaw austrjackich profesor Uniwersytetu może być w stanie czynnym tylko do 70 roku życia, poczem już tylko na rok jeszcze może za osobnem zezwoleniem Ministerjum w służbie pozostać, a ja 71 lat życia skończyłem już w r. 1919, przeto w myśl tych ustaw musiałem w tym roku z katedry ustąpić i przejść w stały stan spoczynku. Ponieważ atoli w tym czasie nie czułem się jeszcze niezdolnym do pracy, zgodziłem się na propozycję zrobioną mi przez polskie Ministerstwo Rolnictwa objęcia w niedawno założonym Instytucie Naukowym Gospodarstwa Wiejskiego w Puławach stanowiska kierownika Wydziału rolnego. Na przyjęcie tego stanowiska niełatwo się zdecydowałem, gdyż dotąd zajmowałem się tylko teoretycznie chemją rolniczą i fizjologją roślin i miałem wątpliwości, czy podołam zadaniu, do spełnienia którego potrzebna jest także znaczna znajomość praktyki rolniczej.

Decyzję przyjęcia ofiarowanego mi stanowiska miałem ułatwioną przez to, że odrazu ofiarowano mi przydzielenie pomocy przez ustanowienie przy kierownictwie Wydziału rolniczego jeszcze stanowiska kierownika poddziału, do którego należałby nadzór nad praktycznem wykonywaniem doświadczeń podług planu przez nas obu zaprojektowanego. Tym kierownikiem poddziału miał być dawny mój uczeń i asystent, dr Bereza.

Proponowane stanowisko objąłem dnia 1-go kwietnia 1920 r. Po przeprowadzeniu się do Puław pierwszą czynnością moją było wyszukanie odpowiedniego terenu na założenie pola doświadczalnego. Przed przybyciem mojem do Puław pole doświadczalne Wydziału rolniczego znajdowało się na folwarku Mokradki, na tak zw. Kępie. Ale teren ten wydał mi się na pole doświadczalne zupełnie nieodpowiedni, raz dlatego, że chodziło głównie w zamierzonych doświadczeniach o badanie potrzeb nawozowych danej gleby, a pole na tak zwanej Kępie miało za glebę nadwiślańską madę, która z natury swojej tak była w składniki pokarmowe bogatą, że nawozy prawie na niej nie działały, a potem także i dlatego, że gleba ta nie była dość jednostajną tak, że już i z tego powodu doświadczenia nie mogły dawać dość jednostajnych i dostatecznie prawidłowych wyników. Te wady terenu,

używanego dotąd na pola doświadczalne, były tak widoczne, że już nawet pobieżne rozpatrzenie się w wynikach przeprowadzonych przez mego poprzednika doświadczeń dostatecznie je wykazywało. Dla upewnienia się co do tego przeprowadzono w r. 1920 jeszcze osobną serję nawozowych doświadczeń, które nieprzydatność tego terenu do nawozowych doświadczeń z całą stanowczością wykazały.

Wobec przeświadczenia, że dla osiągnięcia prawidłowych rezultatów doświadczeń potrzeba było wyszukać teren, na którym użyte nawozy wykazałyby prawidłowe i regularne działanie, uprosiwszy sobie do pomocy udział profesora Sempołowskiego i kolegi Sypniewskiego, objechałem z nimi pola folwarków instytuckich, dla wybrania na nich takiego terenu, któryby najbardziej obiecywał, że na nim poszczególne składniki pokarmowe szczególniej wyraźnie w swem działaniu na plony wystąpią. Takiego działania szczególniej można było oczekiwać tam, gdzie gleba będzie jednostajna i nienadmiernie urodzajna, a teren dostatecznie równy, bez wydatniejszych spadków. Po dokonaniu tego objazdu doszliśmy do zapatrywania, że stosunkowo najlepsze rokowania pod tym względem dawał teren na folwarku Końsko-Wola, zwany Górną Niwą Końsko-Wolską. Jest to teren stosunkowo równy, o glebie bielicowatej, niestety nieco kamienistej. Bliższe zbadanie własności tej gleby zapomocą kultur wazonowych, wykonanych przez p. Lewoniewską, i polowych przez dra Berezę dało ten rezultat, że glebie tej niedostaje głównie kwasu fosforowego, w drugim rzędzie także azotu, podczas gdy w małym tylko stopniu brakuje jej potasu tak, że brak tego ostatniego tylko niektórym roślinom daje się wyraźniej odczuwać. Takie właściwości świeżo wybranego pola doświadczalnego w Puławach były mi o tyle na rękę, że pole to mogło posłużyć poniekąd jako uzupełnienie właściwości pola doświadczalnego w Krakowie, na którem szczególniej silnie występował niedostatek potasu, a w daleko mniejszym stopniu niedostatek azotu i kwasu fosforowego, więc zadania, które się mało nadawały do badania na glebie pola doświadczalnego w Krakowie, mogły być łatwiej rozwiązywane w Puławach i odwrotnie.

Dzięki tym właściwościom gleby obecnego pola doświadczalnego w Puławach można się było na niem pokusić o rozwiązywanie pewnych zadań, zwłaszcza dotyczących nawożenia kwasem fosforowym, dotychczas stosunkowo niedostatecznie wyjaśnionych.

W odnośnych badaniach posługiwano się zarówno kulturami wazonowemi, jak i polowemi, na poszczególnych parcelach. Kulturami wazonowemi posługiwała się panna Lewoniewska, polowemi dr Bereza. Specjalnie w jednych i drugich doświadczeniach zajmowano się najwięcej porównaniem działania rozmaitych nawozów fosforowych między sobą, a rezultaty o tyle były ciekawe, że wykazały, że nieraz tańszemi stosunkowo nawozami można osiągnąć ten sam skutek, jak znacznie droższemi. Poniekąd te doświadczenia przyczyniły się także do tego, że na międzynarodowym kongresie rolniczym w Warszawie, jaki się odbył w r. 1925, postawiono do omówienia temat: «L'application économique des engrais phosphatés d'après les recherches récentes». W omawianiu tego tematu przypadł mi zaszczyt być jednym z referentów. Oczywiście zaszczyt zainicjowany był przez C. T. R. Większego jeszcze zaszczytu doznałem od Centralnego Towarzystwa Rolniczego przez to, że uchwałą z dnia 16 czerwca 1912 r. Ogólne Zebranie Centralnego Towarzystwa Rolniczego w Królestwie Polskiem zamianowało mnie swym członkiem honorowym, obdarzając mnie przez to najwyższem odznaczeniem, jakiem rozporządza.

Oprócz Centralnego Towarzystwa Rolniczego w Warszawie obdarzyły mnie jeszcze godnością swego członka honorowego następujące Towarzystwa: Towarzystwo przyrodników imienia Kopernika w r. 1910, Galicyjskie Towarzystwo Gospodarskie w r. 1912, Towarzystwo Rolnicze Krakowskie w r. 1912, Polskie Towarzystwo Botaniczne w r. 1922, Polskie Towarzystwo Chemiczne. Członkiem korespondentem mianowało mnie: Société Nationale des sciences naturelles de Cherbourg 1875, Société Nationale d'Agriculture de France 1899, Académie des sciences de l'Institut de France 1911, Akademja Umiejętności w Krakowie 1887 członkiem korespondentem, a 1891 członkiem czynnym. Dyplom doktora honorowego nadał mi Uniwersytet Warszawski w r. 1921. Order Polonia Restituta III klasy z gwiazdą otrzymałem w r. 1922.

Rada Wydziału Rolniczego Uniwersytetu Jagiellońskiego uchwaliła w dniu 13 maja 1927 roku nadać mi z okazji 80-tej rocznicy urodzin stopień doktora nauk rolniczych «honoris causa». Po zatwierdzeniu tej uchwały przez Senat Akademicki Rada Wydziału w dniu 17-ym maja przybyła do mego mieszkania, gdzie po przemówieniach zastępcy Rektora prof. K. Kostaneckiego, Dziekana

Wydziału prof. F. Rogozińskiego imieniem Rady Wydziału, prof. W. Vorbrodta imieniem byłych uczniów, oraz prof. K. Roupperta imieniem Kółka Rolników U. J. nastąpiło wręczenie dyplomu.

Odznaczenia, jakiemi obdarzyły mnie różne Instytucje i Towarzystwa, przenoszą niezawodnie znacznie moje istotne zasługi i przyznawanie mi ich muszę w znacznej mierze położyć na karb uznawania moich gorących intencyj służenia krajowi i nauce.

AUTOBIOGRAPHIE.

Je suis né le 30 juin 1847, à Krasocin, village situé dans la province de Kielce de l'ancienne Pologne du Congrès. Mes parents étaient: Corneille Godlewski, propriétaire foncier, et Émilie Godlewska, née Rayska. Je fis mes études secondaires à Kielce, puis à Varsovie et c'est dans cette ville que j'obtins le diplôme de bachelier en 1864.

Je passe à mes études supérieures. Je me suis inscrit en 1864 à la Faculté des sciences mathématiques et naturelles de l'École Centrale à Varsovie, dont j'ai suivi les cours jusqu'en 1869. C'est en cette année, qu'après avoir soumis à la Faculté une thèse «Sur le pouvoir absorbant de la terre arable», publiée en commun avec mon regretté camarade et ami Maximilien Dobrski, j'ai obtenu le diplôme de licencié ès sciences («magister»).

J'ai passé ensuite à Jéna le semestre d'été 1869, ainsi que le semestre d'hiver de l'année 1870, après quoi je suis venu à Cracovie, où j'ai fait des études pendant le semestre d'été 1870 et durant le semestre d'hiver 1871. Tout en suivant les cours à l'Université, je remplissais les fonctions d'adjoint attaché d'abord à la chaire de chimie à l'École d'Industrie qu'occupait le professeur Radziszewski, puis à la chaire de botanique de l'Université des Jagellons, dont le professeur Czerwiakowski était alors titulaire. Au printemps 1872 je me suis rendu à Wurtzbourg, où j'ai travaillé au laboratoire de physiologie végétale que dirigeait le professeur Sachs. C'était en ce temps-là le premier laboratoire en Europe pour ce genre de recherches, aussi y voyait-on affluer de tous les pays du monde des jeunes gens pour se spécialiser dans la physiologie des plantes. Je nomme plusieurs savants qui travaillaient chez Sachs en même temps que moi: en fait de Hollandais il y avait là alors Hugues de Vries, plus tard professeur

de botanique à Amsterdam, inaugurateur célèbre de la théorie des mutations; parmi les Allemands, on voyait Prantl, ensuite professeur à Breslau; parmi les Russes, Borodin, professeur de botanique à l'École Supérieure de Sylviculture à Saint-Pétersbourg, ainsi que Wolkoff, connu par ses recherches sur l'action qu'exerce la lumière sur les plantes. Comme Polonais, il y avait en dehors de moi-même, Baraniecki, qui devint dans la suite professeur de physiologie végétale à Kiew. Parmi les personnes qui travaillaient au laboratoire de Sachs à Wurtzbourg, il faut encore nommer comme savants d'un grand renom dans la suite, Pfeffer, le célèbre professeur de physiologie végétale à Leipzig, qui jouissait de la réputation d'être le plus grand savant dans cette branche après Sachs; puis Reinke dont les recherches sur l'influence qu'exercent les rayons de différentes couleurs sur la décomposition de l'acide carbonique par les plantes, lui assurèrent une grande notoriété et dont les idées philosophiques sur la nature le firent considérer comme un des vitalistes les plus éminents. Parmi les Anglais qui travaillaient de mon temps au laboratoire de Sachs, il y avait Vines, François Darwin et d'autres.

Après avoir quitté Wurtzbourg, je me suis rendu encore une fois à Jéna pour y faire mon doctorat, puis après y avoir été promu docteur, je fis un examen supplémentaire de philosophie à Cracovie pour obtenir l'approbation de mon diplôme par l'Université des Jagellons.

En juin 1873 je me présentai à l'agrégation à Cracovie, après quoi je fus nommé privat-docent chargé d'enseigner la physiologie végétale. J'ai fait des cours sur ce sujet pendant le semestre d'hiver et le semestre d'été de l'année scolaire 1873/4.

En automne 1875 je fus nommé professeur adjoint de botanique et de zoologie à l'École Polytechnique de Léopol et j'y enseignais ces sciences pendant trois ans, c'est-à-dire depuis 1875 jusqu'en automne 1878. L'agrégation comme privat-docent qualifié pour enseigner la physiologie végétale à l'Université des Jagellons, fut ensuite étendue à l'Université de Léopol, de sorte qu'en qualité de privat-docent de celle-ci, je fus chargé par la Faculté de philosophie de cours de botanique, que j'ai faits en été 1876, en hiver 1876/7, ainsi qu'en été 1877.

Les premiers jours d'octobre 1878, je quittai Léopol pour m'établir à Dublany, où la Commission Exécutive du gouverne-

ment autonome de la Galicie («Wydział krajowy») m'avait nommé professeur de botanique à l'École Supérieure d'Agriculture dans cette localité et m'avait chargé d'enseigner la chimie agricole, en plus de toutes les parties de la botanique. J'ai également enseigné la chimie agricole à l'École Polytechnique de Léopol pendant les semestres d'hiver des années 1878 et 1879, aussi devais-je me rendre de Dublany à Léopol pour y faire ces cours. L'année 1878, pendant laquelle je me suis établi à Dublany, a été d'une grande importance pour l'École Supérieure d'Agriculture, parce que c'est précisément à cette époque qu'elle fut constituée propriété de la province de Galicie et fut placée sous l'administration de la Commission Exécutive du gouvernement autonome, de sorte que d'une institution privée, elle devint un établissement public. Elle fut complètement réorganisée à partir de cette date, d'après les projets préparés par le corps enseignant et approuvés par la Commission Exécutive de Gouvernement. J'ai pris une part très active à l'élaboration de ces projets et je n'ai pas ménagé les avertissements pour éviter de donner aux étudiants trop de liberté dans leurs études; aussi n'ai-je cessé d'attirer l'attention sur le fait qu'un programme d'études fixé dans les détails et pratiquement réalisé par l'obligation de se soumettre à des examens, était une nécessité absolue pour la jeunesse de notre pays, si l'on voulait qu'elle profitât réellement de l'enseignement supérieur.

En 1885 je fus chargé par la Commission Exécutive de Gouvernement de visiter les écoles supérieures d'agriculture à l'étranger et surtout celles d'Allemagne, afin d'utiliser au profit de l'école de Dublany les observations recueillies pendant ce voyage d'études. Lorsque, grâce à l'initiative du professeur Janczewski et à l'appui du ministre des finances Dunajewski, le gouvernement autrichien résolut d'organiser des Cours supérieurs d'agriculture auprès de la Faculté de philosophie de l'Université des Jagellons à Cracovie, le Sénat de celle-ci décida d'envoyer à l'étranger une commission spéciale, chargée de se renseigner sur les lieux, sur l'organisation des institutions analogues, surtout de celles qui étaient rattachées à des universités. On voulait ainsi se procurer des informations dont on pourrait profiter en organisant les Cours supérieurs d'agriculture qu'on se proposait d'inaugurer auprès de l'Université des Jagellons. Le professeur Janczewski devait faire partie de cette commission en qualité d'initiateur du projet d'or-

ganiser les cours en question et je fus désigné également à prendre part à ces travaux, vu que j'avais travaillé depuis longtemps comme professeur de l'École d'Agriculture à Dublany et que j'étais au courant depuis un certain temps de l'organisation des études agricoles supérieures.

Au cours de notre voyage, nous avons, le professeur Janczewski et moi, pris connaissance de l'organisation des différentes écoles d'agriculture à Vienne, Berlin, Zurich, Munich, Bonn, Paris, Grignon, Gembloux, Halle et Goettingue, puis après notre retour, nous avons décrit le programme de leur enseignement dans le «Przegląd Polski» («Revue Polonaise») qui paraissait alors à Cracovie. Les observations recueillies pendant ce voyage nous ont été ensuite d'une grande utilité lorsqu'il s'est agi d'organiser des Cours supérieurs d'agriculture à l'Université des Jagellons; elles ont été l'objet d'études d'une commission spéciale, composée en grande partie de professeurs de la Faculté de philosophie, avec lesquels collaboraient également des professeurs des Facultés de droit et de médecine. Une fois que l'organisation des Cours supérieurs d'agriculture à l'Université des Jagellons fut en voie d'être realisée, je quittai Dublany et me fixai à Cracovie, car j'avais été nommé en 1891 professeur de chimie agricole et chargé en même temps d'enseigner la physiologie végétale. Après avoir pris possession de la chaire que m'offrait l'Université, je dus m'occuper surtout d'organiser un laboratoire de chimie agricole, inexistant jusqu'alors, aussi fallut-il adapter un local approprié qui occupait tout le second étage de l'ancien «Collegium Iuridicum». En dehors des travaux d'installation que réclamait les laboratoires de chimie agricole et de physiologie végétale où devaient avoir lieu les exercices pratiques et où nous devions, moi et mes adjoints, pouvoir nous livrer à des recherches scientifiques, la tâche de veiller au développement progressif des Cours supérieurs d'agriculture incomba à moi et au professeur Janczewski, parce que nous avions acquis le plus d'expérience en ce qui concerne l'organisation des écoles supérieures d'agriculture. Il s'agissait en premier lieu de trouver des personnes compétentes qu'il serait possible de recommander comme futurs professeurs. Au moment où je quittais Dublany pour m'établir à Cracovie, j'étais le seul professeur affecté spécialement au Cours supérieurs d'agriculture.

Les Cours supérieurs d'agriculture furent inaugurés au commencement de l'année scolaire 1890/91, mais aucun n'était consacré à un sujet relevant de l'agriculture proprement dite. Indépendamment du manque de professeurs compétents, cet état de chose était tout à fait normal et compréhensible, car l'instruction agricole devait commencer évidemment par les sciences naturelles. Il fallut s'occuper cependant de trouver des spécialistes pour pouvoir enseigner l'année suivante des disciplines du domaine spécialement agricole. Ce fut nécessairement moi et le professeur Janczewski qui dûmes nous soucier de découvrir et d'engager ces spécialistes. Cette tâche était relativement plus facile pour nous que pour nos collègues, parce que pendant notre voyage d'études à l'étranger nous avions eu plus d'occasions d'entrer en rapport avec des personnes, parmi lesquelles on pouvait espérer trouver des hommes qualifiés pour occuper des chaires dépendant des Cours supérieurs d'agriculture en voie d'être organisés à Cracovie. La première personne qui retint notre attention comme candidat approprié à la chaire d'élevage, fut Mr. Adametz, alors privatdocent pour l'élevage et la laiterie à la «Hochschule für Bodenkultur» à Vienne, aujourd'hui professeur de la même science à Vienne et à Cracovie, savant d'un grand mérite, jouissant d'une grande réputation aussi bien parmi les agriculteurs que dans le monde scientifique. Après avoir fait sa connaissance et lui avoir demandé confidentiellement, si le cas échéant il ne considérerait pas la possibilité de s'établir à Cracovie pour y occuper une des chaires affectées aux Cours supérieurs d'agriculture, nous vîmes surgir, comme il fallait s'y attendre, la question relative à la langue dans laquelle il devrait enseigner.

Lorsque nous eûmes discuté dans les détails cette question délicate, Mr. Adametz déclara qu'il consentait en principe à faire des cours en polonais, à condition toutefois d'être autorisé à enseigner pendant un certain temps en allemand, avant d'avoir appris le polonais, de sorte qu'après cette période dont la longueur était fixée d'avance, il fût tenu à se servir du polonais dans l'enseignement. Quand nous en vînmes à fixer le temps pendant lequel le nouveau professeur pourrait encore faire des cours en allemand, nous proposâmes un délai de deux ans, condition que le professeur Adametz accepta, en exprimant l'espoir que dans l'espace d'une année il pourra se familiariser suffisamment avec le

polonais pour enseigner dans cette langue. Le professeur Adametz tint rigoureusement sa promesse d'alors, de sorte qu'un an après avoir inauguré ses cours à Cracovie, il commença à enseigner en polonais. Le fait d'introduire l'allemand, ne serait-ce qu'à titre provisoire, dans les Cours supérieurs d'agriculture qu'on était en train d'organiser, dut forcément se heurter à une certaine opposition, car on craignait de créer ainsi un précédent et de voir en souffrir les droits légitimes de la langue polonaise que l'Université avait raison de protéger et de défendre. Profondément convaincue qu'il ne saurait être question d'un précédent, vu la courte durée de la période exactement fixée pendant laquelle l'emploi de la langue allemande était autorisé dans les leçons, la Faculté de philosophie consentit à ce court provisoire, qui, comme je l'ai déjà dit, ne dura qu'un an. Cette petite concession permit à la Faculté d'assurer aux Cours supérieurs d'agriculture le concours d'un homme de science de premier ordre, aussi lorsque après un séjour de quatre ans à Cracovie, le professeur Adametz accepta la chaire d'élevage que la «Hochschule für Bodenkultur» lui avait offerte après le professeur Wilkens, il n'y avait personne qui n'eût regretté que l'activité de ce savant à l'Université des Jagellons ne se fût étendue qu'à un temps aussi court. En effet, le professeur Adametz jouissait d'une grande considération non seulement dans les milieux universitaires, car il était également très apprécié par les agriculteurs.

En dehors du choix d'un candidat à la chaire d'élevage, nos efforts en vue de trouver un professeur approprié qui occuperait la chaire d'agronomie, se heurtaient à certaines difficultés. Ce professeur fut trouvé pour ainsi dire grâce à un heureux hasard. On pouvait lire de temps à autre dans la «Gazeta Rolnicza» («Journal d'Agriculture») de Varsovie des articles signés François Czarnomski. Il en parut entre autres un sur le chaulage; il se distinguait non seulement par la façon remarquable de traiter le côté pratique de la question, mais aussi par l'explication scientifique approfondie qu'il donnait de l'action qu'exerce la chaux dans le sol. Le même journal publia ensuite un long article scientifique, dans lequel Mr. Czarnomski discutait à fond et dans les détails la formation du sol arable, en tenant compte des conditions géologiques et s'occupait des propriétés de la glèbe en rapport avec son origine géologique. Après avoir pris des renseigne-

ments, nous apprîmes que l'auteur des articles qui avaient attiré notre attention, était agriculteur et propriétaire du domaine de Dubidze et qu'ayant étudié la physique pour embrasser la carrière scientifique, il dut s'occuper de l'exploitation de ses terres à la suite d'un accident qui avait empêché son père de les gérer. Mr. Czarnomski se voua donc non seulement à l'agriculture pratique, mais se mit aussi à l'étudier au point de vue de la théorie. Encouragés par la valeur scientifique des articles de ce propriétaire foncier, nous voulûmes faire sa connaissance pour nous rendre compte, s'il ne serait pas opportun de l'engager à consacrer ses efforts à la théorie de l'agriculture et à poser sa candidature à la chaire vacante de Cracovie.

A cet effet, le professeur Janczewski se rendit à la campagne chez Mr. Czarnomski, pour pouvoir le connaître dans le milieu de ses occupations. Lorsqu'il eut emporté la meilleure impression de cette visite, il persuada son hôte de venir à Cracovie pour y faire la connaissance des professeurs, peut-être ses collègues futurs. Peu de temps après, Mr. Czarnomski se présentait à l'agrégation, et la Faculté de philosophie lui reconnaissait le droit d'enseigner l'agronomie à l'Université. Comme ces premiers essais furent couronnés de succès, on lui attribua à titre provisoire la chaire d'agronomie qu'il devait occuper ensuite à titre définitif. Les cours du professeur Czarnomski étaient très appréciés et avaient un grand succès chez les étudiants, qui se plaisaient à trouver chez lui non seulement un savoir théorique aussi vaste que profond, mais aussi à rencontrer dans sa personne un agriculteur au courant de tous les détails pratiques.

On avait donc réussi à trouver des candidats qualifiés pour occuper deux chaires importantes consacrées aux disciplines pratiques et ce choix satisfaisait non seulement la jeunesse, mais promettait encore de rendre des services signalés à l'agriculture du pays.

Il restait cependant une chaire vacante, peut-être la plus importante au point de vue de la pratique, notamment la chaire de l'administration et de l'organisation des exploitations agricoles. Après plusieurs tentatives infructueuses pour trouver un candidat approprié à la hauteur de sa tâche, nous nous adressâmes non sans hésitation au professeur Lubomęski, directeur de l'École Supérieure d'Agriculture à Dublany, sachant trouver en lui un

homme à toute épreuve et un savant de la plus haute compétence. Si nous hésitâmes avant de lui offrir une chaire à Cracovie, ce n'est certes pas, parce que nous eussions eu des doutes quelconques sur ses aptitudes et ses qualités, mais bien pour la raison que nous nous rendions clairement compte, que par le fait de priver l'école de Dublany de sa personne, nous exposions celle-ci à une perte grave qu'il ne serait pas facile de réparer. Le professeur Lubomęski était une acquisition de tout premier ordre pour les Cours supérieurs d'agriculture, surtout, parce qu'à une rare érudition théorique, embrassant toutes les branches de l'économie rurale, il joignait une connaissance approfondie de l'agriculture pratique prise dans son ensemble. Cette compétence dans les questions pratiques ne se bornait pas à telle ou telle autre propriété foncière et n'était pas limitée à l'exploitation agricole dans certaines régions du pays, car elle s'étendait aux conditions les plus variées, auxquelles le professeur savait parfaitement s'adapter.

Avant de se consacrer au professorat, le professeur Lubomęski avait été avant tout un agriculteur pratique qui, en gérant des domaines privés, avait eu l'occasion de les exploiter dans des conditions variées et dans différentes parties de la Pologne. Aussi aurait-il été difficile de trouver quelqu'un qui eût pu se mesurer avec lui, en ce qui concerne la connaissance du pays et des conditions auxquelles l'agriculture devait s'y adapter. C'est pourquoi il était vraiment inappréciable, lorsqu'il s'agissait de diriger les discussions sur des questions d'économie rurale auxquels devaient s'entraîner les étudiants et de les instruire au cours des excursions pour visiter des exploitations agricoles.

Les chaires les plus importantes étaient donc pourvues de titulaires, dont on ne pouvait que se féliciter; malheureusement pas pour longtemps, car le professeur Adametz devait retourner bientôt à Vienne et la santé du professeur Czarnomski commençait à se gâter peu de temps après qu'il se fût établi à Cracovie, de sorte qu'il mourut en 1898, six ans après avoir été nommé professeur. Sa mort a été une grande perte pour les Cours supérieurs d'agriculture et a plongé dans le deuil ses élèves tellement attachés à lui. Quant au professeur Lubomęski, son activité comme professeur affecté au Cours supérieurs d'agriculture ne dura également pas longtemps, car sa santé laissant souvent à désirer, il

dut prendre sa retraite après une période d'enseignement relativement courte et mourut prématurément.

Quant à moi, en dehors du professorat et de mes travaux scientifiques, en dehors de l'obligation que je partageais avec le professeur Janczewski de veiller aux choix des professeurs appelés à prendre part aux Cours supérieurs d'agriculture, je devais pendant une série d'années m'occuper du développement de cette institution, d'autant plus qu'en 1893 je fus élu directeur des Cours pour une période de trois ans, conformément aux règlements en vigueur. Cette élection fut renouvelée cinq fois, de sorte que les fonctions de directeur m'échurent pendant 16 ans, c'est-à-dire jusqu'en 1909. En quittant ce poste, j'eus le grand plaisir de me rendre compte des liens étroits d'attachement réciproque qui m'unissaient aux jeunes gens dont pendant seize ans j'avais tâché de servir les intérêts, en leur consacrant le meilleur de mes forces. Désirant manifester leurs sentiments de reconnaissance envers moi, mes élèves me remirent une adresse décorée d'enjolivures et signée de leurs noms, dont voici la traduction:

«Monsieur et Très Honoré Professeur,

Connaisant les mérites que vous vous êtes acquis en organisant les Cours supérieurs d'agriculture à Cracovie, sachant apprécier le travail que, sans ménager votre temps et vos forces, vous nous avez consacré pendant les seize ans où vous avez été directeur de cette institution, et pleins de reconnaissance pour le coeur que vous avez montré dans toutes les questions concernant l'ensemble de la jeunesse et tous les étudiants, nous vous présentons aujourd'hui l'hommage de nos sentiments respectueusement dévoués».

Suivent les signatures de plus de cent quarante étudiants et étudiantes.

Non seulement à l'occasion de ces adieux, mais aussi pendant tout le temps où j'étais directeur, je me rendais compte de cette atmosphère de confiance et de cordialité dont m'entouraient les étudiants. Cette confiance a non seulement grandement contribué à faciliter la tâche que j'avais à remplir envers eux, mais elle a rendu son accomplissement plus agréable.

Dans ce milieu de cordiale sympathie que créaient autour de moi les étudiants, je devais évidemment étendre mes sentiments d'attachement à tous les élèves qui suivaient les Cours supérieurs

d'agriculture, mais on conçoit sans peine que les liens les plus étroits m'unissaient à ceux qui travaillaient sous ma direction au laboratoire et que j'ai réussi à initier à des travaux scientifiques indépendants. Comme chaque auteur et comme chaque savant, je sentais de la joie et j'éprouvais une satisfaction d'amour propre, lorsque je pouvais faire une nouvelle conquête au profit de la science, mais je puis déclarer solennellement que cette joie était bien plus intense, lorsque ce n'était pas moi-même, mais un ou une de mes élèves occupés au laboratoire, dont on m'avait confié la direction, qui réussissait dans cette voie. Les liens les plus étroits m'ont uni par le passé et ne cessent de m'unir à présent à ces élèves qui ont été à certains égards des collaborateurs, car il n'y a rien de plus naturel que dans les rapports avec des disciples pareils, un sentiment proche de l'amour paternel vienne se mêler à l'affection du maître.

Comme d'après la loi autrichienne un professeur de Faculté ne pouvait exercer ses fonctions au-delà de l'âge de 70 ans, après quoi il fallait une autorisation spéciale du Ministère de l'Instruction Publique pour pouvoir encore enseigner un an, et comme j'avais fini 71 ans en 1919, je dus me conformer aux règlements en vigueur et prendre ma retraite. Toutefois, comme je ne me sentais pas incapable de travailler, j'acceptai la proposition du Ministère d'Agriculture de la République Polonaise qui m'offrait la direction de la Section agricole à l'Institut d'Économie Rurale qu'on avait fondé peu de temps auparavant à Puławy. Ce n'est pas sans hésitation que je me décidai à accepter ce poste, car jusqu'alors je ne m'étais occupé qu'en théoricien de chimie agricole et de physiologie végétale, aussi avais-je des doutes, si je serai à la hauteur de ma tâche, dont l'accomplissement réclamait la connaissance de l'agriculture pratique.

Cette décision fut rendue plus facile par le fait qu'on me promit d'emblée d'alléger ma tâche, en créant auprès de la direction de la Section d'Agriculture le poste de chef d'une section en sous-ordre, auquel incomberait le soin de veiller sur l'exécution pratique des expériences d'après un projet que nous proposerions tous les deux. Ce fut le Dr. Bereza, mon ancien élève et adjoint, qui devait être nommé directeur de cette section en sous-ordre.

J'entrai dans mes fonctions le 1er avril 1920. Après m'être établi à Puławy, mon premier soin fut de chercher un terrain

approprié, pour y aménager un champ d'expériences. Avant mon arrivée à Puławy, le champ d'expérience de l'Institut dépendait de la ferme Mokradki et se trouvait à Kępa. Cependant ce terrain me paraissait rien moins qu'approprié comme champ d'expériences, d'abord parce que dans les épreuves, que je me proposais d'entreprendre, il s'agissait d'étudier en premier lieu la fumure que réclamait telle ou telle autre espèce de terre et que le sol de Kępa était un limon alluvial de la Vistule, tellement riche en éléments nutritifs, que les engrais n'y exerçaient presque pas d'action et puis que ce sol n'était pas suffisamment homogène, de sorte que les épreuves ne pouvaient donner dans ces conditions des résultats assez uniformes et assez réguliers. Ces défauts du sol ayant servi aux expériences jusqu'alors, sautaient tellement aux yeux, que l'étude superficielle des résultats qu'avaient donnés les épreuves entreprises par mon prédécesseur, suffisaient à en fournir la preuve. Pour confirmer cette impression et pour s'assurer de ces défauts, on entreprit en 1920 une nouvelle série d'expériences avec des engrais, qui montrèrent, à n'en pas douter, combien ce terrain se prêtait mal à ce genre de recherches.

Comme j'étais convaincu que pour obtenir des résultats réguliers des expériences, il fallait trouver un terrain dans lequel les engrais appliqués exerceraient une action normale et régulière, je m'adressai au professeur Sempołowski et à mon collègue Sypniewski, pour visiter ensemble les champs dépendant des fermes de l'Institut d'Économie Rurale, dans le but de trouver un terrain qui permettrait d'espérer, que les différents éléments nutritifs manifesteraient nettement leur action sur le résultat des récoltes. On pouvait s'attendre à voir cette action se déployer surtout là, où le sol se distinguerait par un caractère uniforme et par une fertilité moyenne, ainsi que là où le terrain serait suffisamment égal sans trop descendre en pente. Après cette tournée, nous nous sommes convaincus que le terrain de la ferme Końsko-Wola, appellée Górna Niwa Końsko-Wolska, offrait le plus de garanties à cet égard. C'est un terrain relativement égal, le sol y est «podsolique», mais malheureusement légèrement pierreux. L'étude plus approfondie de ce sol qu'entreprit Mlle Lewoniewska en faisant des cultures en pots et les recherches en plein champ du Dr. Bereza, nous apprirent, qu'il manquait surtout d'acide phosphorique et en second lieu d'azote, tandis que le manque de potassium

n'y est que peu sensible, de sorte que la pénurie de ce composant ne se fait plus nettement sentir que dans la culture de certaines plantes. Ces particularités du champ d'expérience récemment choisi à Puławy me satisfaisaient dans une certaine mesure, car il pouvait compléter jusqu'à un certain degré les propriétés de celui dont nous disposions à Cracovie, où le manque de potassium était surtout manifeste et où la pénurie d'azote et d'acide phosphorique était bien moins sensible; aussi les problèmes qu'il était difficile d'étudier dans le champ d'expérience de Cracovie étaient-ils bien plus faciles à résoudre à Puławy et à l'inverse.

Grâce à ces particularités du sol du nouveau champ d'expérience à Puławy, on pouvait y tenter de résoudre certaines questions concernant la fumure avec des engrais phosphatés qui n'avaient pas été suffisamment éclaircis jusqu'alors. Dans les recherches en rapport avec ces problèmes, on eut recours aussi bien à des cultures en pots, qu'à des cultures en plein champ dans différents lopins de terre. Mlle Lewoniewska s'occupait des premières, tandis que le Dr. Bereza entreprenait des recherches sur des cultures en plein champ. Dans les unes comme dans les autres expériences, on prêtait le plus d'attention à la comparaison de l'action de différents engrais phosphatés. Les résultats obtenus éveillaient surtout l'intérêt par le fait, que parfois il était possible d'aboutir aux mêmes effets en employant des engrais relativement moins chers, qu'en appliquant une fumure beaucoup plus couteuse. C'est en partie grâce à ces expériences que le Congrès international d'agriculture qui se réunit en 1925 à Varsovie, décida de discuter la question de «L'application économique des engrais phosphatés d'après les recherches récentes». J'eus l'honneur d'être nommé un des rapporteurs dans les débats sur cette question, honneur que je dois attribuer évidemment à l'initiative de la Societé Centrale d'Agriculture. Cependant j'avais été l'objet d'une distinction encore plus grande, lorsque le 16 juin 1912, l'assemblée générale de la Societé Centrale d'Agriculture de la Pologne du Congrès me décerna le titre de membre honoraire et m'offrit ainsi la plus haute distinction dont disposait cette Société.

En plus de cette distinction je fus encore nommé membre honoraire par la Société Copernicienne des naturalistes (1910), par la Société Galicienne d'Agriculture (1912), par la Société d'Agri-

culture à Cracovie (1912), par la Société Polonaise de Botanique (1922) et par la Société Polonaise de Chimie. J'ai été nommé membre correspondant de la Société Nationale des sciences naturelles de Cherbourg (1875), de la Société Nationale d'Agriculture de France (1899), de l'Académie des sciences de l'Institut de France (1911), de l'Académie des Sciences de Cracovie (1887), dont je devins membre titulaire en 1891. L'Université de Varsovie me décerna le titre de docteur honoraire en 1921, enfin je reçus la rosette et la plaque de Commandeur de l'ordre «Polonia Restituta» en 1922.

Le 13 mai 1927, le Conseil de la Faculté d'Agriculture de l'Université des Jagellons à Cracovie, décida de me conférer à l'occasion de mon 80e anniversaire, le titre de docteur ès sciences agronomiques «honoris causa». Cette décision ayant été approuvée par le Sénat de l'Université, les membres du Conseil de la Faculté se rendirent chez moi le 17 mai. Après les discours du Professeur K. Kostanecki, représentant le recteur de l'Université, du Professeur F. Rogoziński qui prit la parole au nom du Conseil de le Faculté, après l'allocution du Prof. W. Vorbrodt au nom de mes anciens élèves et après le discours du Professeur K. Rouppert qui parla au nom de l'Union des étudiants d'agriculture à l'Université, on me décerna le diplôme de docteur honoraire.

Les distinctions que différentes institutions et sociétés ont bien voulu m'accorder, sont certainement au-dessus de mes mérites, aussi dois-je les attribuer en grande partie à la circonstance qu'on voulait récompenser ainsi mon intention inaltérable de servir les intérêts de mon pays et de la science.

Opis własnych doświadczeń nad własnością absorbcyjną ziemi ornej i przegląd prac dotychczas w tym przedmiocie dokonanych.

(Praca wykonana wspólnie z Maksymiljanem Dobrskim).

(Nakładem Redakcji »Gazety rolniczej«, Warszawa 1870).

Znanym powszechnie jest fakt, że zwierzchnie warstwy gruntu, jeżeli tylko przy współudziale człowieka wyjałowione nie zostały, są zawsze bogatsze w sole mineralne, stanowiące pożywienie roślin, od tak zwanego podłoża. Fakt ten jest tylko możliwym przy istnieniu w ziemi siły absorbcyjnej, będącej przyczyną pochłaniania i zatrzymywania tych soli; w przeciwnym bowiem przypadku każdą cząstkę, która w wodzie rozpuścić się może, deszcz wypłukałby i uniósł tak głęboko, jak tylko sam przesiąknąć zdoła.

Zbadaniem objawów tej siły zajmować się zaczęto od r. 1836, a dotychczasowymi pracownikami na tem polu, w porządku chronologicznym, byli: Joh. Ph. Bronner, Thompson, Huxtable, Way, Eichhorn, Johnson, Liebig, Henneberg, Stohman, Peters, Brustlein i Gorup-Besanez.

Chcąc dać obraz w mowie będącej kwestji w dzisiejszym jej rozwoju, przytoczymy tu wypadki, do jakich doszli wyżej wymienieni badacze, wnioski i teorje, jakie na zasadzie swych badań rozwijać usiłowali, wreszcie rezultaty naszych doświadczeń, któremi zakres pojęć o własności absorbcyjnej staraliśmy się rozszerzyć.

Stosownie do tego pracę niniejszą podzielimy na następnjące części:

Część I.
1. Rozbiór doświadczeń Bronnera, Huxtable'a i Thompsona.
2. » » Way'a i Eichhorna.
3. » » Liebiga.
4. » » Henneberga i Stohmana.
5. » » Brustleina.
6. » » Gorup-Besanez'a.
7. Postrzeżenia robione nad rozpuszczaniem się składników gruntu w wodzie deszczowej.

Część II. Nasze doświadczenia nad absorbcją potażu i sody (E. Godlewskiego) z wodanów i węglanów, z siarczanów i chlorków kwasu fosfornego, gdy ten znajduje się w połączeniu z alkaljami (M. Dobrskiego).

Część III. Znaczenie fizjologiczne własności absorbcyjnej ziemi ornej.

CZĘŚĆ I.

Przegląd dotychczasowych prac nad własnością absorbcyjną ziemi ornej.

1. Doświadczenia Bronnera, Huxtable'a i Thompsona.

Pierwszy Joh. Ph. Bronner w dziele swem »Weinbau in Süddeutschland«, Heidelberg bei Winter 1836 [1], wspomina, że cuchnąca gnojówka, filtrując się przez ziemię, przecieka prawie bezbarwna i odoru pozbawiona, nadmienia przytem, że woda w studniach, leżących w bliskości kałuż gnojówkowych, nie ulega zanieczyszczeniu. »Te nieliczne przykłady — powiada on — dowodzą dostatecznie, że ziemie i piasek posiadają własność przyciągania i pochłaniania cząstek zawieszonych a nawet rozpuszczonych w płynie«.

W 12 lat później (1848) takie same spostrzeżenia zrobił Huxtable, nie wiedząc o obserwacji Bronnera, jednocześnie zaś H. S. Thompson zauważył ciekawą własność ziemi ornej zatrzymywania amonjaku z roztworów, nawet w razie, gdy tenże nie był w stanie wolnym, lecz istniał jako chlorek, siarczan lub azotan. Filtrował

[1] Wer ist der erste Entdecker der Eigenschaft der Dammerde, Mistjauche und Salze zu binden, von F. Mohr. Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 127. 1863, s. 125.

on np. przez 6 cali grubą warstwę ziemi piaszczysto-gliniastej roztwór wodny siarczanu lub węglanu amonji, zawierający 0·625 g tych soli, wtedy w filtracie znalazł tylko 0·150 g siarczanu a 0·080 węglanu amonji. Ubytek więc był bardzo znaczny. Przy warstwie 8 cali mającej wszystek amonjak znikł z roztworu, a w płynie odciekłym była niewielka ilość siarczanu wapna.

2. Doświadczenia Way'a [1] i Eichhorna [2].

Daleko większej doniosłości są już prace Th. Way'a. Ten rozszerzył zakres doświadczeń na niektóre sole potasu, sodu, magnezu, wapnia, bądź jako wodanów tlenków, bądź pod postacią innych związków będące, a zarazem starał się wyznaczyć wielkość tej siły porównawczo dla różnych ziem i dla rozmaitych soli. Doświadczenia swe wykonywał dwoma sposobami, albo filtrował roztwory przez ziemie, albo też pozostawiał je w zetknięciu ze sobą we flaszkach i analizował roztwór przed i po nalaniu. Przekonał się przytem, że na ilość pochłoniętego ciała wywierają wpływ: 1) jakość ziemi, 2) ilość jej względna do ilości płynu, 3) stężenie roztworu i 4) sposób prowadzenia doświadczenia (filtrowanie lub zetknięcie); wreszcie spostrzegł, że absorbcja odbywa się bardzo prędko i równie wielką jest po półgodzinie, jak po 15 godzinach (co, jak wykażemy poniżej, nie zawsze ma miejsce).

Chcąc dojść, od jakich czynników chłonięcie soli zależy, jużto zwiększał ilość jednych składników gruntu, już niektóre usuwał; dodawał mianowicie węglanu wapna do ziemi niezawierającej go; to jednak nie wpłynęło na absorbcję odnośnie do amonjaku, z którym robił doświadczenia. Wypalał grunt, ługował wolną glinkę kwasem solnym, lecz i to nie niszczyło siły pochłaniania. W dalszym ciągu pracy przekonał się Way, że sole wapna przechodzą przez ziemię bez zmiany, z wyjątkiem wody wapiennej (oddającej na 1 kilogram gruntu od 2·31 g do 14·68 g wapna) i roztworu dwuwęglanu, który w tym razie oddaje 0·72 g węglanu tej zasady.

[1] Praca Way'a pomieszczona była w »Journal of the royal agricultural Society of England« N° 35, p. 315 pod tytułem: »On the power of soils to absorb manure«. Thomas Way 1850 (wiadomość wzięta z dzieła: »Die naturgesetzlichen Grundlagen des Ackerbaues«. Emil Wolff. Leipzig 1856.

[2] Annal. d. Ch. und Physik Pogg. B. 105, s. e. 1858 N° 9, s. 126. »Über die Einwirkung verdünter Salzlösungen auf Silicate«, von Dr. H. Eichhorn.

Sole sodu i magnezu doznają rozkładów podobnych do związków potasu, chociaż dzieje się to podług Way'a na daleko mniejszą skalę. Chcąc dojść zachowania się soli kwasu fosfornego, filtrował wodę z moczenia lnu pochodzącą, a mającą w roztworze fosforany rozpuszczalne. Po przejściu płynu przez ziemię kwasu fosfornego wcale w nim nie znalazł; to samo miało miejsce przy przepuszczaniu fosforanu sody lub roztworów guana (jak się później przekonamy, taka całkowita absorbcja kwasu fosfornego jest niemożebną).

Przy rozważaniu rezultatów swoich doświadczeń doszedł Way do następujących wniosków:

1° że rośliny nie pobierają pokarmów z roztworów (?);

2° że wszystko jedno, pod jaką postacią doprowadzamy sole mineralne do gruntu, gdyż one tam zawsze ulegają takim przemianom, jakie są potrzebne dla przyprowadzenia ich do stanu, w którym mogą być przydatne na pożywienie roślin;

3° że nawozy rozrzucać trzeba o ile możności jednostajnie, ażeby mieć wszędzie równie silną roślinność, gdyż kapilarność nie byłaby dostateczną do rozprowadzenia soli mineralnych wewnątrz gruntu; ten sam powód pozwala pola silnie nawozić bez obawy, aby części pożywne uniesione zostały z wodą, w podłoże odpływającą.

Szybkość, z jaką chłonięcie soli ma miejsce, naprowadziła Way'a na myśl o tworzeniu się połączeń chemicznych.

W celu wyjaśnienia przebiegu tego procesu w ziemi robił następne doświadczenie: dodając roztworu krzemianu sody do ałunu, Way otrzymał wzdęty osad podwójnego krzemianu glinki i sody, zawierający 52·4% krzemionki, 29·68% glinki, 17·91% sody [1]. Ten krzemian był punktem wyjścia dla jego badań [2]; Way twierdzi, że jest on rozkładany przez sole potasu, sodu, wapna, magnezu i amonu; podwójny znów krzemian glinki i wapna przez sole magnezu i amonu; wreszcie podwójny krzemian glinki i magnezji tylko przez sole amonu, a podwójny krzemian glinki i amonji przez żadną już sól rozłożonym być nie może. Podaje tedy na-

[1] Wolff, s. 136.

[2] Przeciw temu tłumaczeniu wystąpił Liebig w artykule »Über kieselsauere hydrat und kieselsaueres amoniak« v. J. v. Liebig. Ann. d. Ch. u. Ph. B. 44, s. 373—384, 1855 r. Mulder zaś staje w obronie Way'a w dziele p. t. »Chemie der Ackerkrume«, Leipzig 1862, I. B., s. 355—381.

stępujący szereg zasad, których złożone krzemiany są rozkładane przez sole zasad wyżej położonych:

soda,
potaż,
wapno,
magnezja,
amoniak.

Jedno spojrzenie na ten szereg przekonywa nas, że w ten sposób faktów absorbcji objaśnić nie można, bo przecież potaż silniej jest zatrzymywany niż wapno i magnezja, a w szeregu tym leży od nich wyżej, nie mógłby zatem zastępować wapna lub magnezji w podwójnych tychże zasad krzemianach.

Lecz sam Way, w sprzeczności ze swym poglądem, mówi gdzieindziej (jak to Liebig zauważył), że gdy podwójny krzemian glinki lub wapna będzie digerowany z roztworem saletry potażowej, potaż w miejsce wapna wstępuje, kiedy podług powyższego szeregu miejscaby to mieć nie powinno. Zresztą Liebig nie wierzy, aby np. podwójny krzemian glinki i wapna był rozkładany przez sole amonji, skoro Way nadmienia, iż sam krzemian wapna od soli amonji rozkładowi nie ulega, tembardziej więc ulegać mu nie może wtedy, gdy jako sól podwójna z krzemianem glinki jest połączony.

Z pracami Way'a łączą się pod pewnym względem doświadczenia Eichhorna nad działaniem rozcieńczonych soli potasu, sodu, litynu, amonu, wapnia, cynku, strontu i kadmu na zeolity. Szczególniej badane były pod tym względem szabazyt i natrolit, zwłaszcza też pierwszy.

Doświadczenia swoje Eichhorn przeprowadzał w ten sposób, że na sproszkowane zeolity nalewał roztwory powyższych soli, zostawiał wszystko w zetknięciu przez kilkanaście dni, po upływie których owe krzemiany rozbierał, a porównanie rezultatów tych analiz ze składem zeolitów przed wystawieniem ich na powyższe działanie wskazywało zmiany, jakim one ulegały.

Tym sposobem przekonał się, że wapno w tych krzemianach może być do pewnego stopnia zastępowane przez zasady powyżej przytoczonych soli, samo zaś przechodzi do roztworu; w razie zaś wystawienia krzemianu na działanie roztworu węglanu, wapno pozostaje zmieszane mechanicznie z krzemianem i zapomocą rozcieńczonego kwasu octowego od tegoż oddzielone być może.

Jakkolwiek Eichhorn chce widzieć ten sam proces w ziemi ornej, to jednak doświadczeniom jego bardzo tylko ograniczoną przypisywać można wagę, gdy chodzi o wytłumaczenie zjawisk absorbcji; przynajmniej niezawodną jest rzeczą, że samo działanie, o jakiem mówi Eichhorn, tutaj nie wystarcza.

Przez wyługowanie ziemi kwasem solnym, t. j. przez zabranie jej wapna, glinki etc., własność absorbcyjna ziemi zupełnie się nie zmienia, w razie, jeżeli odnosi się do zatrzymywania alkali z wodanów lub węglanów; tymczasem albo zupełnie niknie, albo bardzo małych dochodzi rozmiarów, gdy badamy zachowanie się ziemi z roztworami siarczanów lub chlorków alkalicznych. Faktu tego w żaden sposób wytłumaczyć nie można, jeżeli przyjmiemy, że jedyną przyczyną absorbcji jest zastępowanie wapna w podwójnych krzemianach przez chłonięte alkali. Boć przecie wyługowanie ziemi kwasem solnym nie powinno przeszkadzać owej podwójnej wymianie, jaka między wapnem krzemianów a alkali, wprowadzonej w zetknięcie z ziemią soli, miejsce mieć winna. A jeżeliby ktoś chciał przypuścić, że rozłożenie krzemianów przez kwas solny stoi temu na przeszkodzie, toć ono zarówno nie pozwalać winno na absorbcję potażu z roztworu jego wodanu jak i węglanu. Chyba przyjąćby należało osobną przyczynę dla absorbcji potażu z powyższych dwóch soli, a osobną dla pochłaniania go z siarczanu i chlorku, co przecież byłoby zupełną niedorzecznością.

3. Doświadczenia Liebiga.

Justus v. Liebig kilkakrotnie zajmował się doświadczeniami nad absorbcją, a to z różnych powodów. Nie znając tej własności ziemi ornej, przypuszczał, że jeżeli w nawozach dostarczamy gruntom potrzebnych im alkaljów, to te, wypłukane przez wodę, dostają się zbyt prędko w podłoże i głębiej jeszcze, nie przynosząc przez to wielkiego pożytku roślinom.

Wymyślił więc nawóz, w którymby alkalja były w stanie bardzo mało rozpuszczalnym i tym sposobem, dostając się korzeniom roślin w niewielkich ilościach, całkowicie zużyte być mogły. Nawóz ten jednak, jak ciągle się o tem przekonywał, bardzo mierny wpływ na roślinność wywierał, co wynalazcę jego w zdziwienie wprawiało[1].

[1] Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur. Erster Theil. Braunschweig 1865, s. 69.

W tym właśnie czasie doszła Liebiga wiadomość o pracach Way'a i skłoniła do powtórzenia i uogólnienia doświadczeń, które w dotychczasowych jego poglądach na własności ziemi ornej taki przewrót sprawiły. Próby dokonywane nad ziemiami pochodzącemi z Bawarji okazały, że własność absorbcyjna nie jest wyłącznie właściwą gruntom, nad któremi pracował Way, ale jest ogólną i zbliżoną w sile dla ziem, obdarzonych podobnemi własnościami chemicznemi i fizycznemi [1].

Do drugiej serji podobnych doświadczeń wziął się Liebig dla innej, ważniejszej przyczyny, mianowicie z chęci rozstrzygnięcia pytania, jakim sposobem pobierają rośliny materje mineralne.

Główne postrzeżenia w tym względzie robił nad zatrzymywaniem potażu z roztworu jego krzemianu, wychodząc z zasady, że dziko wegetujące rośliny z niego tylko potaż otrzymywać mogą. Doświadczenia te przeprowadzał z roztworem, zawierającym w litrze 1·166 g potażu i 2·78 g krzemionki [2].

Absorbcję potażu oceniał, dodając do oznaczonej objętości ziemi owego roztworu dotąd, póki reakcja alkaliczna znikać zeń nie przestała. Sposób taki ma tę zaletę praktyczną, że ocenia stosunek, w jakim do ziemi soli potażowych dodać można, nie obawiając się prawie żadnej straty. Przy dodawaniu większej ilości roztworu znaczna wprawdzie część potażu byłaby jeszcze pochłoniętą, ale też niemała straconąby została.

Dla oznaczenia wielkości możebnego błędu Liebig przekonał się, że 4 cent. kub. używanego w jego doświadczeniach roztworu, rozprowadzone 100 c. k. wody, dawały jeszcze wyraźną choć słabą reakcję alkaliczną. Według tego więc błąd najwyżej wynosiłby 0·047 g na litr płynu. W rzeczywistości granica jego mogła nierównie dalej leżeć, co widać z tego, że 1000 kub. centymetrów roztworu takiegoż samego jak wyżej stężenia, przefiltrowane przez ziemię leśną, zatrzymały 0·215 g potażu, przez inną znów 0·111 g, a jednak filtraty wcale alkalicznie nie oddziaływały [3]. Owszem — pierwszy miał nawet słabą reakcję kwaśną wtedy, gdy zawierał blisko 5 razy taką ilość potażu, jaka przy tej samej objętości płynu, według powyższego, potrzebną jest do wywołania reakcji

[1] Annal. d. Ch. u. Ph. B. 94, s. 377.
[2] Über einige Eigenschaften der Ackerkrume. An. d. Ch. u. Ph. B. 105.
[3] s. 123—124.

alkalicznej. Toż samo drugi, mieścił go 2·5 razy tyle, jakby zawierać winien, gdyby już pierwsze ślady alkaliczności okazywał.

Tak więc przynajmniej dla niektórych ziem, mianowicie dla mocno humusowych, wypadki otrzymywane przy postępowaniu Liebiga musiały być nieco błędne.

Opóźnienie reakcji alkalicznej zdaje się nie pochodzić wyłącznie od kwasu humusowego, bo i po dodaniu do ziemi 10% kredy dla zobojętnienia próchnicy filtrat był obojętny, a jednak zawierał 0·21 g potażu, więc 4 razy tyle, ile według oznaczenia granicy błędu przez Liebiga mógłby zawierać, gdyby już słabo alkalicznie oddziaływał. Obok tej wadliwości metoda Liebiga nie mogła dać pojęcia o całkowitej sile absorbcyjnej, bo ta z pojawieniem się pierwszych śladów reakcji alkalicznej wyczerpaną nie była.

Z doświadczeń swoich Liebig wnosi, że własność absorbcyjna jest zarówno chemiczną jak i fizyczną[1], lecz pierwszej dopatruje się tylko w działaniu ziemi na sole alkaliczne — mianowicie w tem, że tylko zasada jest zatrzymywana, kwas zaś oddalany[2]. Lecz jeśli tylko ten powód skłania Liebiga do przyjęcia absorbcji chemicznej (dla alkaljów), to słuszniej może byłby postąpił, zaprzeczając jej całkowicie. Przez przyczynę bowiem chemiczną absorbcyjnej własności rozumieć należy tworzenie się nierozpuszczalnego związku zatrzymywanego ciała; rozkład zaś niektórych soli, jaki zachodzi przy pochłanianiu potażu z roztworów, jest od absorbcji odrębnym; przeprowadza on tylko potaż w stan taki, z którego alkali pochłoniętem być może, ale sam przyczyną absorbcji nie jest.

Poznawszy rozpadnięcie się soli, bynajmniej jeszcze nie zbadaliśmy przyczyny chłonięcia, równocześnie z niem zachodzącego. To też już Brustlejn zrobił wyróżnienie, i samą absorbcję uważa jako rezultat działań wyłącznie fizycznych, co na właściwem zobaczymy miejscu.

Liebig twierdzi[3], że gdyby własność absorbcyjna była wyłącznie chemiczną, wtedy zależećby musiała od pewnego związku che-

[1] Str. 120.

[2] O mieszanej przyczynie absorbcji mówi Liebig w artykule: »Ueber einige Eigenschaften etc.« A. B. 105. W dziele zaś: »Die Chemie in ihrer Anwendung etc.« 2 Th. s. 67 twierdzi, że przyczyna własności absorbcyjnej ziemi jest zupełnie taka sama, jak pochłaniania niektórych barwników przez węgiel, więc czysto fizyczna.

[3] Str. 20, 21.

micznego, w ziemi się znajdującego, i być z nim w stałym liczebnym stosunku. Tymczasem według niego samego tak nie jest, bo gdyby absorbcja zawisła od krzemianu glinki, to z powiększeniem się ilości wapna musiałaby się zmniejszać; doświadczenie zaś wskazuje inaczej. Trzy ziemie, z których jedna zawierała 6·6%, druga 32·2%, trzecia 57% wapna, pochłaniały prawie zupełnie jednakowe ilości potażu. Ani więc ilość wapna, ani krzemianu glinki, nie wywiera wielkiego wpływu na siłę absorbcyjną, »ale raczej (jak mówi Liebig) do obu zarazem należy, t. j. zawisłą jest od pewnych fizycznych tychże ciał przymiotów«. Z tego zaraz wnosi, że absorbcja wyłącznie chemiczną własnością być nie może.

Wniosek ten niezupełnie jest uprawniony; czyż każda glina ma skład jednakowy, czyż stopień jej rozkładu nie wpływa na różność jej chemicznej budowy i chemicznych własności, a te na tworzenie się związków, absorbcję powodujących?

A gdyby tak było, czyż nawet wtedy, gdyby absorbcja była natury czysto chemicznej, mogłaby być proporcjalną do ilości gliny w ziemi zawartej, czy też przeciwnie, zachodziłyby różne komplikacje stosownie do ilości i składu gliny.

Zresztą z przyjęcia wyłącznie chemicznej natury tej własności gruntu nie wynika jeszcze konieczność uważania, że ona zależy od tworzenia się jednego tylko chemicznie oznaczonego związku; owszem, sądziłby można, że jest rezultatem powstawania różnorodnych nierozpuszczalnych połączeń. Liebig przypisuje absorbcję także i węglanowi wapna; gdyby to było słuszne, to przez wyługowanie ziemi kwasem solnym, własność jej absorbcyjna powinnaby się zmniejszyć, co bynajmniej nie ma miejsca (odnośnie do alkaljów), jak to później zobaczymy.

Mimo przeważnie[1] lub wyłącznie[2] fizycznej natury, jaką Liebig dla absorbcji przyjmuje, w pracy jego »Ueber einige Eigenschaften der Ackerkrume« (str. 112) napotykamy następujące zdanie: »Die löslichen Düngerbestandtheile, sobald sie mit dem Boden in Berührung kommen, der Lösung entzogen werden *und eine von Wasser nicht zersetzbare (d. h. nicht lösliche)*[3] *Verbindung mit*

[1] Ueber einige Eigenschaften etc....

[2] Die Chemie in ihrer Anwendung etc....

[3] Nie rozumiemy, dlaczego po wyrazach nicht zersetzbare, jako objaśnienie dodane jest d. h. nicht lösliche, są to bowiem rzeczy zupełnie różne; cóż więc Liebig chce tutaj powiedzieć?

dem Boden bilden«; gdzieindziej znowu (str. 116) »*dass sie vorher in eine Verbindung mit dem Boden oder mit gewissen Bestandtheilen der Ackerkrume eingehen*«, a więc przyjmuje tworzenie się jakiegoś nierozpuszczalnego połączenia. Jakże to pogodzić z wyłącznie fizyczną naturą absorbcji?

Co do zachowania się krzemionki z krzemianu potażu nalewanego na ziemię, to Liebig przekonał się, że i ona jest absorbowaną, ale w nierównie mniejszym stopniu aniżeli potaż; przytem różnice ilości pochłoniętej przez różne ziemie krzemionki są nierównie większe, aniżeli zatrzymanego potażu; mianowicie okazało się, że im ziemia jaka więcej zawierała próchnicy, tem mniej absorbowała krzemionki.

Wpływ humusu stwierdza się znakomitem zwiększeniem się chłonięcia krzemionki przez ziemię wypaloną. Fakt ten Liebig objaśnia w słowach[1]: »Die in der Ackererde vorhandenen organischen Substanzen oder der Humus der Ackererde besitzen den Charakter einer Saüre oder die Eigenschaft, sich mit alkalischen Basen zu verbinden, in höherem Grade als die Kieselsaüre und haben dadurch, wie es scheint, das Vermögen dieselben bis zu einer gewissen Gränze auf, unauflösliche Verbindungen mit dem Kalk und Thonerde — Silikaten der Ackererde einzugehen. Die chemische Natur des Bodens spielt indessen immer eine bedeutende Rolle hierbei«. Ze słów tych widać, że Liebig absorbcję krzemionki przez ziemię za czysto-chemiczną uważa i przypisuje ją łączeniu się jej z krzemianami glinki i wapna. Ale na czem takie widzenie rzeczy Liebig opiera, bliżej nam nie wyjaśnia.

W zachowaniu się próchnicy względem krzemianów widzi tłumaczenie faktu, dlaczego rośliny, w bagnach torfowych żyjące, w takiej obfitości zawierają krzemionkę i dlaczego wegetacja roślin kłosowych silniejszą jest na gruntach, na których rosła koniczyna (zostawiająca dużo cząstek organicznych wewnątrz ziemi), niżeli na miejscach, gdzie jej poprzednio nie było.

Liebig robił także kilka prób z krzemianem sody i przekonał się, że zachowuje się on podobnie jak krzemian potażu, tylko w mniejszej ilości jest chłonięty.

Cyfry podane przez niego wskazują, że stosunek między absorbcją potażu i sody dość jest stały i niezbyt od równoważni-

[1] B. 105, s. 125.

kowego oddalony. Chłonięcie jednak potażu zawsze jest większe aniżeli ilość, równoważnikowo odpowiadająca pochłoniętej sodzie; i tak: przy jednej ziemi stosunek pomiędzy cyframi, przez Liebiga na absorbcję sody i potażu podanemi, jest jak 31 do 57, przy drugiej jak 31 do 58, przy trzeciej jak 31 do 51.

Zobaczymy później, że przy użyciu równych ilości płynu jednakowo stężonego na takie same wagi ziemi otrzymaliśmy cyfry jeszcze więcej stałe i nierównie bardziej do równoważnikowych zbliżone.

Liebig badał też zachowanie się gruntów względem roztworów siarczanów i chlorków alkalicznych, przyczem przekonał się, że potaż z nich jest absorbowany, a chlor przechodzi; o kwasie siarczanym nie wspomina. Mówi także, że w roztworach tych soli, przez ziemię przefiltrowanych, znalazł znaczne ilości wapna i magnezji, które za potaż się popodstawiały. Fakt chłonięcia stwierdził przy użyciu azotanu potażu, jak niemniej zauważył absorbcję sody z soli kuchennej, z saletry chilijskiej i z siarczanu sody. Odnośnie do soli kuchennej wspomina, że w miejsce sody znajduje się w filtracie odpowiednia ilość wapna i magnezji. Czy jednak Liebig robił w tym względzie ilościowe oznaczenia, nie wzmiankuje wcale, ale tylko nadmienia, że ziemia, która czystej wodzie zaledwo ślady wapna oddała, traktowana roztworem soli kuchennej, rozpuszczała się w nim obficie, w płynie zaś kwasu siarczanego wcale nie było.

Przy nalaniu na ziemię roztworu fosforanu wapna w wodzie, nasyconej kwasem węglanym, nieco różne zachowanie się objawiało; tu bowiem tak kwas jak i wapno były zatrzymywane, a rozmaite ziemie objawiały wielkie podobieństwo co do siły absorbcyjnej [1].

4. Doświadczenia Henneberga i Stohmana [2].

Henneberg i Stohman robili doświadczenia z jedną tylko ziemią, ale zato wprowadzali różne modyfikacje w stężeniu płynu i używali kilku amonjakalnych soli. Nie przyjęli żadnej z dwóch

[1] Powyżej przytoczone doświadczenia Liebiga gruntownie rozebrane i ocenione zostały przez Mulder'a w dziele p. t.: »Chemie der Ackerkrume«, str. 348—409, my więc dotknęliśmy tylko punktów, które ten autor pominął.

[2] Ueber das Verhalten der Ackerkrume gegen Amoniak und Amoniaksaltze. An. d. Ch. u. Ph. B. 107, 1858.

metod, stosowanych przez Liebiga, a przytem ziemi nie mierzyli lecz, co jest nierównie właściwiej, takową ważyli.

Na odważoną we flaszki ziemię nalewali mierzone ilości roztworu i po skłóceniu na pewien czas pozostawiali w spokoju; po odstaniu płyn zlewali, filtrowali i oznaczali amonjak przez oddestylowanie go z ługiem sodowym; prócz tego dochodzili także w płynie ilości wapna, magnezji i kwasu z amonjakiem związanego. Postrzeżenia przeprowadzali z wodanem, chlorkiem, siarczanem, azotanem i fosforanem amonji; przekonali się, że jest rzeczą prawie obojętną, w jakiej postaci alkali w zetknięcie z ziemią przychodzi, z warunkiem tylko, aby roztwór jego tak samo był stężony (naturalnie odnośnie do samego amonjaku, a nie całej soli) i w równej objętości użyty; wówczas zawsze jednakowe ilości amonjaku zostają przez ziemię zatrzymane.

Co do wpływu stężenia roztworu zauważyli, że im płyn jest gęstszy, tem więcej z niego alkali w gruncie pozostaje; absorbcja jednak nie rośnie proporcjonalnie ze stężeniem. W tym względzie Hen. i Stoh. podają bardzo ciekawą zależność. Roztwory, mianowicie soli amonjakalnych, rozpuszczają strącony węglan wapna łatwiej, aniżeli woda czysta, płyny gęstsze rozpuszczają go więcej aniżeli rozcieńczone; ale co najciekawsze, że przy pewnem zwiększeniu stężenia — w tym samym stosunku rośnie chłonięcie amonjaku, jak ilość rozpuszczającego się węglanu wapna.

Przy zmianie stężenia roztworu salmjaku w stosunku 1:2:4:10, ilość rozpuszczającego się w nim węglanu wapna wzrasta jak 1:1·375:1·94:2·81, a absorbcja z tegoż płynu zwiększa się jak 1:1·3:1·96.

Ta zgodność jednak może być tylko przypadkową dla tej jednej ziemi, której Hen. i Stoh. używali, co rzeczywiście przy opisie prac Brustlejna niejako się stwierdza; dlatego też wielkiej wagi do tej zależności przywiązywać nie można.

Hen. i Stoh. postrzegli w płynie, ściągniętym z nad ziemi, ilość wapna równoważną z masą pochłoniętego amonjaku. Co do ciał połączonych z amonją, to kwas fosforny był chłonięty na równi z amonjakiem, kwas siarczany i chlor w większej ilości zawarty był w płynie ściągniętym z ziemi, aniżeli go było w nalanym.

Hen. i Stoh. w doświadczeniach używali na 100 g ziemi 200 lub 400 centymetrów kub. płynu i przekonali się, że przy

stosunku ostatnim absorbcja była mniej więcej 1·2 razy większa niż przy pierwszym.

Wpływ czasu na chłonięcie uznali za prawie nic nie znaczący, jak to rzeczywiście z cyfr przez nich przytoczonych wypływa. Nie zaniedbali także ługować wodą ziemię, amonjakiem nasyconą; robili to w ten sposób, że na 100 g ziemi nalewali 200 centym. roztworu chlorku amonu; ściągnięte z tego 100 cent. płynu (w którym oznaczali ubytek amonjaku) zastępowali 100 cent. wody i to pięciokrotnie powtórzyli. Przy tem postępowaniu przekonali się, że za każdym razem pewna ilość zatrzymanego poprzednio amonjaku została z ziemi zabraną i wynosi stale około 10 g.

Przy tem ługowaniu okazało się, że opór, jaki ziemia stawia zabraniu jej już zabsorbowanego amonjaku, jest większy aniżeli siła z jaką go pochłania.

Z cyfr, przez Henneberga i Stohmana otrzymanych, Boedecker wyprowadził formuły algebraiczne, z których, mając znane stosunek ziemi do płynu oraz stężenie roztworu, znaleść można wartość absorbcyjną. O tych formułach wspomina Brustlejn, ale ich nie przytacza. Jakkolwiek nie znamy tych wzorów, to jednak nie sądzimy, aby one były zbyt ważne, bo H. i Stoh. robili doświadczenia tylko z jedną ziemią, więc też dane stąd osiągnięte żadnego ogólnego nie mają znaczenia; przytem nie wiemy, jak mogli wprowadzać w rachunek ilość płynu, kiedy używali tylko 200 lub 400 cent. na 100 g ziemi.

Wątpimy, czy na podstawie dwóch cyfr można wyprowadzać ogólne prawa; chyba, że Boedecker miał pod ręką jakieś późniejsze prace, które H. i St. zapowiadali, lecz o jakich skądinąd nic nie wiemy.

5. Doświadczenia Brustlejna[1]

Brustlejn po największej części używał tej samej metody, którą się już H. i Stoh. poprzednio posługiwali, a mianowicie, na odważoną ilość ziemi nalewał znaną objętość roztworu amonji lub jej soli wiadomego stężenia; ze zmniejszenia się ilości amonjaku sądził o wielkości absorbcji.

Badając trzy gatunki ziemi, z których każden okazywał różną siłę chłonienia, przekonał się, zgodnie z doświadczeniami H. i St.,

[1] Sur les propriétés absorbantes de la terre arable par M. Frédéric Brustlejn. Chemie Agricole par Boussingault. 1861. 2. v., p. 182.

że z roztworu bardziej stężonego absorbcja jest silniejszą. Jakkolwiek Brustlejn wzmiankuje o formule algebraicznej Boedeckera, w cyfrach jednak przez niego przytoczonych nie podobna się dopatrzeć (jak to sam przyznaje) żadnej matematycznej prawidłowości. Wzrost absorbcji odbywa się raz prędzej, to znów wolniej, aniżeli zwiększenie stężenia płynu.

Gdyby nawet istniała jaka ścisła zależność między stężeniem płynu i absorbcją, to ona musiałaby być chyba dla każdej ziemi odmienną, bo przy równem powiększeniu gęstości chłonięcie dla jednej ziemi wzrasta w większym, dla innej w mniejszym stosunku. To też odnosząc owe wypadki Brustlejna do zależności, jakiej Hen. i Stoh. dopatrywali się między wzrastaniem rozpuszczalności węglanu wapna w roztworze soli amonjakalnej, a wzrastaniem absorbcji z tegoż roztworu, uznać musimy tę zależność za czysto przypadkową. Pozornie na jej obronę przytoczyćby można to, że odnosiła się do roztworów siarczanów i chlorków, gdy tymczasem doświadczenia Brustlejna wykonane były nad amonją gryzącą. Ale przecież według Hen. i Stoh. jest rzeczą zupełnie obojętną, w jakiej postaci w płynie amonjak się znajduje, byle tylko w danej tegoż płynu objętości jednakowa jego ilość rozpuszczoną była.

Zresztą Brustlejn robił próby z chlorkiem amonu dwojakiego stężenia, lecz i tu prawidłowość nie większą była jak poprzednio.

Nawet taż sama ziemia przy zachowaniu wszystkich warunków jednakowych nie zawsze stałe ilości amonjaku absorbowała. Zupełny brak prawidłowości uważa Brustlejn za pierwszy dowód tego, że absorbcja jest fizyczną a nie chemiczną własnością. Prawdę mówiąc, dowód ten sam przez się nie wystarcza; wiadomo np., jak różny wpływ wywiera kwas azotny na żelazo, stosownie do swego stężenia; dlaczegóż więc przypuścićbyśmy nie mogli, że roztwory soli amonjakalnych różnych gęstości niejednakowe też działanie chemiczne na ziemię wywierają. Brak prawidłowości nie wyłącza tem więcej przyczyny mieszanej, t. j. fizycznej jak i chemicznej zarówno.

Z tego, że nawet przy zachowaniu wszystkich warunków jednakowych absorbcja nie zawsze jest stałą, nic jeszcze nie wynika, a raczej wynika to, że pewne warunki musiały być koniecznie różne; bo choćby absorbcja była czysto-fizyczna, to zmiana jej musiałaby także mieć swą przyczynę, jak każde zjawisko na tym

świecie. Ale też Brustlejn nie poprzestaje na tym jednym dowodzie i zdanie swoje popiera jeszcze faktem, że próchno, węgiel zwierzęcy wyługowany kwasem solnym i wypalony, oraz torf, absorbują amonjak z roztworu jego wodanu silniej nawet, aniżeli ziemia orna. Szczególniej próchno wybitnie się tu okazuje, bo 10 g jego chłonie przeszło dwa razy tyle tego alkali, co 50 g ziemi z najsilniejszą absorbcyjną własnością. Z tego wnosi Brustlejn, iż próchnica w ziemi zawarta bardzo ważną w pochłanianiu amonjaku odgrywa rolę. A że trudno jest w humusie lub węglu zwierzęcym, pozbawionym mineralnych części, przypuścić tworzenie się chemicznych związków z amonjakiem, wnosi więc, że w ziemi przyczyna chłonięcia także jest fizyczną i jedynie od budowy cząstek gruntu zależną.

Wniosek ten jest bardzo prawdopodobny, wszakże nie bezwarunkowo pewny, bo zawsze twierdzićby można, że obok fizycznego pochłaniania tworzą się pewne nierozpuszczalne połączenia, które ze swej strony na powiększenie siły absorbcyjnej ziemi wpływają i większą jej jeszcze komplikację nadają.

Co do chłonięcia amonji z roztworów jej soli, Brustlejn robił poszukiwania nad salmjakiem, ale wypadki jego doświadczeń nie potwierdzają rezultatów Henneberga i Stohmana, którzy, jak widzieliśmy, twierdzą, iż rodzaj związku nie wpływa wcale na ilość zabsorbowanego alkali.

Cyfry Brustlejna wskazują znacznie silniejszą absorbcję z salmjaku aniżeli z amonji gryzącej, chociaż tak stężenie płynu jak i stosunek jego do ziemi w obu razach były jednakowe, i tak:

	Absorbcja	
	z amonji	z chlorku amonu
Ziemia 1-a . . .	0·056	0·090
» 2-a . . .	0·035	0·043
» 3-a . . .	0·024	0·055

Trudno pojąć, skąd tak znaczne różnice pochodzić mogą, dlaczego związanie amonji w połączenie, samo przez się absorbcji nie ulegające, ma wpływać na powiększenie chłonięcia odnośnie do amonjaku. Brustlejn przekonał się, że chlor całkowicie w płynie pozostaje, zazwyczaj w połączeniu z wapnem, że więc następuje tu rozkład, zatrzymujący się ściśle tam, gdzie się kończy absorbcja; płyn zatem ciągle pozostaje obojętny. Przekonał się

dalej, że węgiel zwierzęcy wyługowany kwasem solnym i wypalony, próchno i torf, zupełnie względem roztworu salmjaku zachowują się obojętnie i wcale zeń amonji nie chłoną. Przypisując to brakowi węglanu wapna w tych materjach, chciał się przeświadczyć, czy ziemia związku tego pozbawiona straci własność rozkładania soli amonjakalnych. W tym celu wyługował z ziemi wapno zapomocą kwasu solnego, a tak przysposobioną wprowadzał w zetknięcie z roztworem chlorku amonu. Okazało się, że zachowanie tej ziemi równie było obojętne jak próchna lub torfu. To zdawało się niewątpliwie Brustlejnowi wskazywać, że własność rozkładania soli amonjakalnych przez ziemię zawisła od zawartego w niej węglanu wapna. Ale gruntowny ten badacz na tem nie poprzestał; postanowił się przekonać, czy ziemia ługowana po odzyskaniu rozpuszczonej z niej części nabędzie znowu swej pierwotnej własności; wtrącił do niej tedy napowrót węglan wapna przez zagotowanie z roztworem tego ciała w wodzie nasyconej kwasem węglanym. Tym sposobem na każdej cząstce ziemi osadziła się pewna ilość rozpuszczonej poprzednio soli; następnie ziemię wysuszył, a nalawszy ją roztworem salmjaku, znalazł, że własność pierwotną odzyskała. Rola więc węglanu wapna została wyjaśnioną.

Brustlejn próbował także, czy węglowi zwierzęcemu, pozbawionemu soli mineralnych przez wyługowanie i wypalenie, nie uda się nadać własności rozkładania soli amonjakalnych przez wprowadzenie do niego węglanu wapna; przekonał się, że to rzeczywiście miejsce mieć może. Fakt ten uważał za nowy dowód wyłącznie fizycznej natury absorbcyjnej własności, bo skoro węgiel może posiadać zdolność chłonięcia amonjaku z chlorku, jeżeli mu się tylko doda węglanu wapna, to zdaniem jego fizyczna natura tej własności jest zupełnie niewątpliwą.

Jednakowoż nam się zdaje, że tu natrafiamy na pewną sprzeczność, a mianowicie:

	Amonji
50 g ziemi absorbowało ze 100 cent. kub., zawierających amonji gryzącej 0·355 g	0·056 g
20 g węgla, wyługowanego kwasem solnym i wypalonego, pochłaniało ze 100 cent. kub. płynu, zawierających 0·473 g amonjaku	0·093 »
50 g ziemi wyługowanej kwasem solnym, do której	

wtrącono węglan wapna, absorbowało ze 100 cent. kub., zawierających 0·354 g amonjaku w postaci chlorku . Amonji 0·043 g

20 g węgla, wyługowanego kwasem solnym i wypalonego, w który wtrącono węglan wapna, absorbowało ze 100 cent. kub., zawierających 0·351 g chlorku . . 0·029 »

Widzimy, że absorbcja, wywierana przez 20 g węgla na amonję gryzącą, jest blisko dwa razy silniejsza, aniżeli pochłonięcie przez 50 g dokonane. Tak do ziemi po jej wyługowaniu jak do owego węgla wtrącono zarówno węglan wapna, dlaczegoż węgiel okazuje o połowę słabsze działanie względem salmjaku aniżeli ziemia; wszak to już od braku węglanu wapna nie pochodzi, a różnice stężenia w płynach są stosunkowo nieznaczne? Jeżeli przyczyna sprowadzająca chłonięcie jest taka sama dla węgla jak i dla ziemi, to skądże te różnice pochodzą? dlaczego absorbcja z roztworu salmjaku nie ma miejsca w takim samym stosunku, jak z amonji gryzącej? Mimowoli wkrada się tu podejrzenie, że oprócz takiego samego działania jak w węglu, w ziemi jest jeszcze jakieś inne, a wpływ chemiczny nie jest także niemożliwy.

Z tych powodów nie przyjmujemy, aby Brustlejn kwestję natury i przyczyny absorbcji amonjaku ostatecznie rozwiązał[1]. Ale nie tu jeszcze koniec prac Brustlejna, badał on także wpływ, jaki czas zetknięcia płynu z ziemią na absorbcję wywiera, i znalazł, zgodnie z doświadczeniami Hen. i Stoh., że jest on małoznaczący; jednakże przy długiem zetknięciu pewne lekkie zwiększenie chłonięcia stale zauważył. Robiąc próby z płynami bardzo rozcieńczonemi, Brustlejn przekonał się, że i one nigdy całkowicie amonjaku przez ziemię pozbawione być nie mogą.

Oprócz nalewania roztworu amonji lub jej soli na ziemie, we flaszkach zamknięte, Brustlejn filtrował także te płyny przez grunt, w rurkach szklannych umieszczony, i przekonał się, że przy tem drugiem postępowaniu absorbcja jest większa jak przy pierwszem.

[1] Musimy tu uprzedzić zarzut, jakiby nas mógł spotkać, mianowicie, że Liebigowi mamy za złe, iż przyjmował absorbcję mieszaną, t. j. chemiczną i fizyczną, a teraz, rozbierając zdanie Brustlejna, dowodzimy, że taka mieszana przyczyna absorbcji jest możebną. Błąd jednak, jaki wyrzucaliśmy Liebigowi, nie odnosi się do jego zdania, lecz tylko do tego, ze chemik ów nie zawsze z niem był w zgodzie, i że ze stanowiska, na jakiem się postawił, bynajmniej ono nie płynęło.

Zbadawszy w jaki sposób ziemia zatrzymuje amonjak, Brustlejn nie zaniedbał także obserwacyj nad sposobem, w jaki go traci. W tym względzie doszedł, że ziemia sucha utrzymuje to alkali bardzo silnie, ale wilgotna uwalnia go nierównie łatwiej. I tak: 400 g ziemi, zawierające 0·627 g amonjaku, przez czterokrotne zwilgocenie i wyschnięcie straciło $^3/_4$ całej swej zawartości; tymczasem przy ziemi stale suchej straty na amonjaku zaledwo są dostrzegalne.

Brustlejn ługował także wodą ziemię nasyconą i przekonał się, że ona oddaje pewną ilość alkali, która *nie jest proporcjonalną do objętości użytej wody, a nawet mało od niej zależy;* na ten fakt zwracamy szczególną uwagę dla jego fizjologicznej ważności i następnie raz jeszcze mówić nam o nim przyjdzie.

Brustlejn badał absorbcję gazowego amonjaku i wykazał, że ziemia wilgotna absorbuje tego gazu więcej aniżeli sucha, ale też więcej go oddaje w powietrze, gdyż parująca woda ulatnianiu sprzyja, że wreszcie z powietrza, bardzo mało amonjaku zawierającego, nigdy wszystkiego ziemia nie zabiera.

Nad pochłanianiem gazów przez ziemię orną więcej doświadczeń dotychczas nie robiono, wiadomo tylko, że tak kwas węglany jak tlen i azot są przez grunt zatrzymywane.

Dla uzupełnienia jedynie wiadomości o pracach nad absorbcją wypada nam jeszcze przytoczyć:

6. Doświadczenia Gorup-Besaneza [1].

choć względnie nie wielkiej są one wartości.

Przeprowadzając postrzeżenia, czy sole metali ciężkich, jak miedź, rtęć, cynk, ołów, żelazo i mangan, mogą być pobierane przez rośliny, postanowił zarazem dojść, jak też ziemia zachowuje się względem tych samych soli.

Wypadki spostrzeżeń były następujące: »Ziemia orna zatrzymuje zasady soli metali ciężkich, kwasy zaś przechodzą w roztwór, ale już zobojętnione; arsen w nieznacznych tylko ilościach pozostaje w ziemi, wreszcie dwuwinian potażu i antymonu nie był rozkładany, bo płyn przefiltrowany przez ziemię miał taki sam stosunek potasu do antymonu jak i przed nalaniem«.

[1] Annal. d. Ch. u. Pharm. 1863, B. 127, s. 243.

7. Doświadczenia nad rozpuszczaniem się soli mineralnych w wodzie meteorycznej.

Gdy fakt absorbcji był już znanym i wielokrotnie dla różnych gruntów sprawdzonym, postawioną została kwestja, czy materje utrwalone w ziemi ornej pozostają przy jej powierzchni, czy też są choć w części przez wodę wypłukiwane i głębiej unoszone. Kilku chemików robiło już odpowiednie tej kwestji doświadczenia, które tu pobieżnie skreślimy.

Dr. Fraas w Monachjum pierwszy się tem zajmował; Zoeller [1] powtórzył jego prace na ziemiach rozmaitych własności.

Ten ostatni przez ciąg sześciu letnich miesięcy zbierał wodę deszczową, przeciekającą przez pokład gruntu 6 cali gruby i jedną stopę kwadratową powierzchni mający, zapomocą przyrządu zwanego *lisymetrem* [2]. Po odparowaniu całej objętości wody, w ilości 9 do 12 litrów, otrzymał 4 do 6 g osadu. W pozostałości tej znalazł wszystkie części składowe gruntu w rozmaitych ilościach, brakowało tylko glinki. Kwasu fosfornego i amonji tylko ślady wykryto, za to kwas azotny w dużej był obecny ilości.

Z doświadczeń swych Zoeller wnosi, że ziemia nie wywiera siły absorbcyjnej na części organiczne, bo te w obfitości są ługowane; to samo stosuje się do chloru, kwasu siarczanego i azotnego. Przypuszcza, że rośliny nie otrzymują pożywienia z roztworów, gdyż ilość soli, które deszcz rozpuścił z ziemi, znacznie jest mniejszą od masy, którą zawierają w sobie rośliny uprawne, wzrosłe w ciągu sześciu miesięcy na takiej samej powierzchni gruntu.

Doświadczenia lisymetryczne, robione przez Dra Schumacher'a [3] w Berlinie, wykazały mniej więcej też same rezultaty; spostrzegł on przytem, że rola nie obsiana słabiej sole zatrzymuje niż pokryta roślinami.

Th. Way, Krocker [4] i inni robili analizy wody drenami od-

[1] Ann. d. Ch. u. Ph. 1858, B. 107, s. 27.

[2] Lisymetr jest to naczynie sześcienne, przez środek poziomo przedzielone siatką, wierzchnią jego połowę, na jedną stopę głęboką, napełnia się ziemią, dolną zaś przeznacza na odciekającą wodę.

[3] Korespondent Rolniczy przy Gaz. Warszawskiej. Nr. 6 i 7 z r. 1869.

[4] Die Chemie in ihrer Anwendung etc. 2 Th., s. 81.

Biblioteka UJ w Krakowie

pływającej; pierwszy znalazł w roztworze i glinkę, a obaj podają znacznie większe ilości wyługowanej sody jak potażu.

Wypadki prac tu przytoczonych zgodnie wykazują, że materje, służące za pożywienie roślinom, są tak utrwalone w ziemi, iż woda deszczowa w bardzo małych tylko ilościach zabierać je może. Są jednak ciała, będące niejako rozczynnikami ważniejszych składników gruntu, i tak:

Woda czysta rozpuszcza tylko ślady obojętnego fosforanu wapna, nasycona zaś kwasem węglanym zabiera go znacznie więcej (1 na 1333 wody). Amonjak jest też pośrednio środkiem rozpuszczającym, gdyż zmieniony w gruncie na kwas azotny, jako taki rozpuszcza fosforan wapna.

Rozległe obserwacje Liebiga[1] wykazały wpływ przyjazny, wywierany przez chlorek sodu, siarczan amonji i azotan sody na rozwój roślin kłosowych; wpływ ten Liebig przypisuje rozpuszczaniu fosforanu wapna przez wyżej wymienione sole, opierając się przytem na własnych doświadczeniach.

Roztwór wody gipsowej zachowuje się w gruncie tak, że część wapna się osadza, a na miejsce jego przechodzi w roztwór magnezja i potaż[2]. Spostrzeżenie to zrobił Liebig i tem tłumaczy po części wpływ gipsu na lepszy urodzaj koniczyny. Ciałami ułatwiającemi rozpuszczanie się krzemianów są sole amonjakalne.

CZĘŚĆ II.

Nasze doświadczenia nad absorbcyjną własnością ziemi.

Do postrzeżeń używaliśmy następujących gruntów:

A. Czarnoziem ze wsi Klonów (pow. miechowski), koloru czarnego, po zeschnięciu bardzo twardy, przez wypalenie traci 6·69% na wadze, przyczem przybiera kolor żółty i konsystencję dość grubego piasku.

B. Czarnoziem[3] ze wsi Hołowanieskie (pow. humański, gub. podolska), barwy szarawo-czarnej, jaśniejszej jednak niż poprzedni,

[1] Annalen d. Ch. u. Pharm. 1858, B. 106, s. 185.

[2] An. d. Ch. u. Ph. 1863, B. 127, s. 289.

[3] Analizę tej ziemi słynnej z urodzajności, dokonaną przez kolegę Grabowskiego, w całości tu podajemy, nadmieniając, że rezultat rozbioru wynosił 98·7%, resztę zaś rozliczono odpowiednio między wszystkie składniki:

przez wyschnięcie mocno twardnieje, wypalony traci na wadze 6·73% i przechodzi w miałki pył.

C. Ziemia wapienna ze wsi Marchocice (pow. miechowski), powstała z rozkruszenia się opoki, koloru białego; z kwasami silnie się burzy.

D. Ziemia gliniasta ze wsi Marchocice, koloru żółtego, przez wypalenie traci 2·59% na wadze, przyczem barwę rozjaśnia.

E. Ił z Wisły koloru żółtawo-szarego; wypalony, mało zmienia barwę i traci 1·56% ze swej wagi.

F. Ziemia piasczysta ze wsi Leśniów pod Żarkami, złożona z piasku krzemionkowego z domieszką gliny i dosyć znacznych ilości materyj organicznych. Wypalona traci 2·2%.

G. Piasek ze wzgórz jałowych za Pragą, składa się prawie wyłącznie z ziarnek kwarcowych; roślinności na nim prawie wcale niema i tylko gdzie niegdzie pojawia się Elymus arenarius i Corynephorus cristatus.

	Kwasu humusowego	1·444 %
	Huminy	0·461 «
	Materyj org. trudno rozp. w sodzie	2·519 «
	Amonjaku, Kwasu azotnego, Chloru, Kwasu węglanego, Wody składowej	1·999 «
	Wody odchodzącej przy 120°C	5·669 «
Części rozpuszczalnych w kwasie solnym 1·875.	Krzemionki	0·066 «
	Tlenniku żelaza	0·198 «
	Glinki	0·647 «
	Kw. fosfornego	0·067 «
	Kw. siarczanego	0·023 «
	Tlenniku manganu	0·022 «
	Wapna	0·672 «
	Magnezji	0·076 «
	Potażu	0·031 «
	Sody	0·073 «
Części nie rozpuszczalnych w kwasie solnym 86·00.	Krzemionki	61·093 «
	Glinki	13·897 «
	Tlenniku żelaza	0·663 «
	Wapna	1·427 «
	Magnezji	1·181 «
	Potażu	5·949 «
	Sody	1·823 «

I. Doświadczenia nad absorbcją potażu i sody.

W doświadczeniach moich wszędzie trzymałem się sposobu przez Henneberga i Brustlejna używanego, t. j. na odważoną ilość ziemi nalewałem znaną objętość roztworu soli potażowej lub sodowej wiadomego stężenia. Po skłóceniu zostawiałem wszystko do dnia następnego, poczem płyn z ziemi zlewałem, a w odmierzonych jego objętościach oznaczałem różne składniki, przedewszystkiem zaś te, które w nim przed nalaniem zawarte były. Obliczywszy znalezioną ilość na całą masę płynu, widziałem ubytek rozpuszczonego ciała, a różnica ta wykazywała właśnie absorbcję.

Przy sodzie używano roztworów wodanu, siarczanu i chlorku, które zawierały około 2·5 g bezwodnej sody. Przy doświadczeniach z potażem oprócz takichże soli jeszcze węglanu.

Stężenia płynów potażowych tak zostały dobrane względem sodowych, że jedne z nich były równoważne, inne równe stężeniom odpowiednich związków sody. Tak więc w litrze płynów potażowych gęstszych znajdowało się około 3·65 g potażu bezwodnego, a w tej samej objętości roztworów bardziej rozcieńczonych było 2·5 g tego ciała. Dla przyczyn, które poniżej poznamy, używano zawsze na 25 g ziemi 200 cent. kub. roztworu.

Przy badaniu zachowania się ziemi względem węglanu potażu starałem się także przekonać, o ile potaż, raz zabsorbowany przez ziemię, może być z niej wodą wyługowany i jakie warunki ługowanie to ułatwiają. Oprócz doświadczeń nad ziemiami naturalnemi robiłem też niektóre nad sztucznie zmienionemi, a mianowicie pozbawionemi glinki, tlenniku żelaza i węglanu wapna przez wyługowanie kwasem solnym i następne odmycie; wreszcie badałem ziemie zarazem ługowane i palone.

1. O chłonięciu alaklij z roztworów wodanów i węglanów.

Badania niniejsze były bardzo ułatwione przez tę okoliczność, że chłonięcie oceniało się przez zmianę alkaliczności płynu przed i po nalaniu go na ziemię. Na daną więc wagę gruntu nalewano oznaczoną objętość roztworu znanego stężenia, po skłóceniu zostawiano do odstania. Nazajutrz płyn z ziemi zlewano, filtrowano i zapomocą mianowanego kwasu, zawierającego w litrze 8·6 g

bezwodnika siarczanego, oznaczano jego alkaliczność, ze zmiany której obliczano ilość zabsorbowanego potażu lub sody. Punkt obojętności oceniano za pomocą lakmusu. Najczęściej dokonywano tego, dodając do płynu roztworu barwnika, a potem kwasu dotąd, póki niebieski kolor płynu nie stał się fjoletowym. Jeżeli jednak, co się często zdarzało, płyn był zbyt mocno zabarwiony od rozpuszczonej próchnicy, sposób ten użytym być nie mógł, bo zmiana barwy była wtedy bardzo niewyraźną, a tem samem wypadki mianowania błędne. Dlatego też postępowano nieco odmiennie. Do płynu nie dodawano nalewki lakmusowej, ale odrazu mianowanego kwasu tak długo, póki próbka płynu, puszczona do kropli roztworu lakmusowego nie zaczęła barwy jego zmieniać. Gdy to nastąpiło, przyjmowano, że płyn jest obojętny.

Mianowanie węglanów, jak wiadomo, jest utrudnione przez wydobywanie się gazu kw. węglanego, który czerwieni lakmus wpierw jeszcze, nim płyn zobojętniony zostanie. Dla zaradzenia temu dodaje się słaby nadmiar innego kwasu, płyn ogrzewa na kąpieli wodnej dla odpędzenia rozpuszczonego w nim gazu, poczem oznacza się nadmiar kwasu zapomocą mianowanego wodanu alkali. Do tego celu przygotowałem roztwór kaustycznej sody, którego 2 cent. kub. zobojętniały 1 cent. kub. kwasu.

W najobszerniejszym zakresie wykonałem doświadczenia nad absorbcją potażu z roztworu jego węglanu, zawierającego 3·605 g alkali w litrze. Z powodu, że próby te robiłem najpierwej, więc w nich chodziło mi o przekonanie się, czy jedno nalanie danej objętości płynu wyczerpuje własność absorbcyjną ziemi, czy też nie; dalej — o ocenienie, w jakim stopniu absorbcja zależy od stosunku między wagą użytej ziemi a ilością nalanego na nią płynu, i wreszcie, przy jakim stosunku cyfry otrzymane dadzą się najlepiej między sobą porównać, aby dać pojęcie o różnicach w sile absorbcyjnej różnych ziem. Stosunek wagi gruntu do objętości płynu był trojaki: 1) 50 g na 100 cent. kub.; 2) 25 g na 100 cent. kub., i 3) 25 g na 200 lub na 300 cent. kub. czyli 1:2, 1:4, 1:8 lub 12. Nadto, nie ograniczano się na jednem nalaniu, lecz płyn zlany zastępowano taką samą ilością świeżego roztworu. Wiedząc, ile zlano płynu, łatwo było dojść, ile go we flaszce zostało, co znów pozwoliło obrachować, jakie jest stężenie nowo-powstałej cieczy. Po skłóceniu pozostawiono wszystko do dnia następnego, w którym znów pewną ilość płynu ściągano

i alkaliczność jego oznaczano. Różnica między stężeniem płynu, otrzymanem przez bezpośrednie doświadczenie, a tem, jakie wypadało z obliczenia, wskazywała dalsze zwiększanie się absorbcji. W ten sposób postępowano dotąd, póki wypadki, na tych dwóch drogach otrzymane, albo bardzo mało albo wcale się między sobą nie różniły, czyli dotąd, póki absorbcja zwiększać się nie przestała. Gdy już widocznego przyrostu nie było, płyn zlany, zamiast świeżym roztworem węglanu potażu, zastępowano czystą destylowaną wodą, której jednak w znaczniejszych używano ilościach.

Rachunek wskazywał, jakie powinno być stężenie cieczy, powstałej ze zmieszania wody z pozostałym we flaszce płynem. Po skłóceniu zostawiano wszystko dotąd, póki płyn nie odstał się dość klarownie, aby poszukiwania z nim zbyt utrudnione nie były, co wymagało nierównie dłuższego czasu, aniżeli gdy na ziemię nalano roztworu węglanu potażu. Gdy płyn był już klarowny, zlewano go, parowano do małej objętości i mianowano w nim potaż. Przewyżka, jaką ilość, wypadająca z doświadczenia, nad wskazaną przez rachunek okazywała, była ilością potażu, wyługowanego z ziemi przez wodę.

Często zdarzało się, że płyn po odparowaniu tak silnie był zabarwiony, iż absolutnem było niepodobieństwem mianować jego alkaliczność. W takich razach zlewano tę ciecz do parowniczki platynowej, parowano do suchości dla zniszczenia materyj organicznych i oczyszczoną tym sposobem pozostałość rozpuszczano w wodzie, filtrowano, a w czystym płynie mianowano potaż.

Naturalnie nie ograniczano się tu na jednem nalaniu wodą, lecz zazwyczaj kilkakrotnie ją zmieniano.

Przez to ługowanie dojść chciałem, w jakim stopniu ziemia traci potaż, który poprzednio zabsorbowała i czy ilość wyługowanego alkali jest proporcjonalną do ilości użytej wody.

Dla osiągnięcia tego ostatniego celu nalewałem ziemie, nasycone potażem, różnemi ilościami wody, a mianowicie: te, przy których w czasie badania absorbcji stosunek ich wagi do objętości płynu był jak 50:100, dopełniano zawsze wodą do 200 cent. kub. (przy ziemiach A i B), albo do 140 (przy wszystkich innych). Ziemie, w których przy badaniu chłonięcia stosunek był jak 25 do 100, oblewano wodą dotąd, iżby grunt zawsze z 400 płynu

pozostawał w zetknięciu. Te wreszcie, w których przy absorbcji stosunek był 25:200 lub 300, dolano do 800 centymetrów[1].

[1] Doświadczenia moje już rozpocząłem, gdy prof. Dudrewicz zrobił uwagę, że obranej przeze mnie metodzie możnaby postawić jeden zarzut, mianowicie, iż ocenienie zmiany alkaliczności płynu niekoniecznie jest dokładnem wyrażeniem ilości zabsorbowanego alkali; jeżeli bowiem części składowe ziemi zobojętniły w jakibądź sposób część potażu, to ona mogłaby pozostać w płynie, a jednak przy użyciu tej metody do ilości zabsorbowanej zostałaby policzoną. Szczególniej twierdził prof. Dudrewicz, że takie zobojętnienie nastąpić może przez gips, który, z węglanem potażu w podwójny rozkład wchodząc, tworzyłby węglan wapna i siarczan potażu, któryby w płynie mógł pozostać, a jednakowoż wpłynął na zmniejszenie jego rzeczywistej alkaliczności. Przytem materje próchnicowe, z których także niektóre posiadają własności kwasowe, mogą zarówno przyczynić się do powiększenia tego błędu. Uznawszy zupełną słuszność wspomnianych uwag, postanowiłem się przekonać, o ile znaczącym jest błąd, jaki w doświadczeniach moich popełniłem. W tym celu poszukiwałem najprzód jakościowo płyny ściągnięte z ziemi i przekonałem się, że wszystkie one rzeczywiście ślady kwasu siarczanego zawierały. Najwyraźniej reakcja na kwas siarczany wystąpiła w płynie, ściągniętym z ziemi E. Jednak kropla kwasu, którym te płyny mianowano, wpuszczona do 10 cent. kub. wody, nadała im reakcję daleko widoczniejszą aniżeli ta, jaką nawet w płynie ściągniętym z E napotkano. Obok tego we wszystkich roztworach znaleziono także ślady wapna, a reakcja je wskazująca nie była mniej wyraźną od tej, która o obecności kwasu siarczanego przekonywała. Ten ostatni był zapewne rozpuszczony w płynie w postaci gipsu, a bynajmniej nie znajdował się w połączeniu z potażem. Nie poprzestając na tych wskazówkach, oznaczyłem potaż we wszystkich płynach z ziemi zlewanych, a to przez ważenie go w postaci chloroplatynianu chlorku potasu.

Dla wykazania więc błędu, jaki cokolwiekbądź w doświadczeniach moich spowodować mogło, podaję tutaj porównawczo cyfry, otrzymane z mianowania i z oznaczania potażu zapomocą chlorniku platyny.

	Absorbcja oceniona przez mianowanie	Absorbcja oceniona przez użycie chlorniku platyny	Różnice cyfr, dwiema metodami otrzymanych
A	0·3129	0·2933	0·0186
B	0·2871	0·2731	0·014
D	0·1442	0·1405	0·0013
E	0·0891	0·1024	0·0133
G	0·0718	0·0727	0·0009

Różnice tedy nie są zbyt wielkie, a zważywszy jeszcze, że mianowania dokonywano w 10 cent. kub., a oznaczania chlornikiem platyny w 20 cent. kub., wszystkie zaś cyfry obliczone są na absorbcję z całych 2000 cent. kub., że więc błędy doświadczenia, które przecie do 1 mg dochodzić mogą,

Rezultaty doświadczeń podam tu w ten sposób, że najprzód przytoczę niektóre cyfry, do warunków absorbcji się odnoszące, później liczby z innych doświadczeń zestawione, wreszcie rezultaty obserwacji nad zachowaniem się z roztworem węglanu potażu ziemi, wyługowanej kwasem solnym lub ługowanej i palonej zarazem.

Co się tyczy warunków absorbcji, nie będę przytaczać wszystkich cyfr, jakie w całym przebiegu moich robót w tym względzie otrzymałem, ale dla wskazania, w jaki sposób doświadczenia prowadziłem, podam w całości liczby do jednej ziemi się odnoszące; z innych tylko ostateczne przytoczę wypadki (p. str. 52).

Z cyfr w tej tabliczce podanych widzimy, że tak przy stosunku 50:100 jak i 25:100 własność absorbcyjna nie wyczerpała się zaraz za pierwszem nalaniem, lecz jeszcze i przy następnych znacznie się powiększała. Niezmiernie ciekawym i na pozór nieprawdopodobnym jest fakt, że ze stu cent. kub. płynu 50 g ziemi zabsorbowało mniej potażu niż 25 g. A jednak nie pochodzi on z błędów doświadczenia, bo powtórzył się przy wszystkich niemal ziemiach; przy niektórych nawet, np. przy D, więcej jeszcze jest uderzający; dalsze zresztą próby wszelkie przypuszczenie błędu najkompletniej usuwają. Gdy bowiem płyn zlany zastępowano świeżym, cyfry, jak widzimy, zupełnie inną przybrały postać. Suma pierwszych dwóch absorbcyj przy 50 g jest już znacznie większą, aniżeli przy 25. Po dalszych nalaniach zachowanie było podobne, jak przy drugiem; to też dla dojścia granicy chłonięcia dla 50 g potrzeba było zrobić dwa razy tyle nalań, co dla 25. Zwracam szczególniej uwagę na ostatnie cyfry, które wyrażają całą ilość potażu, znajdującego się w ziemi wtedy, gdy ta zupełnie się już nim nasyciła. Tutaj prawidłowość wróciła najzupełniej i 50 g ziemi prawie ściśle dwa razy tyle pochłonęło potażu, co 25 gram.

Takie same doświadczenia wykonałem z ziemiami B, D, E, F i G i wszędzie podobne otrzymałem rezultaty. Przy B, 50 g zabsorbowało taką samą ilość potażu za pierwszym razem ze 100 cent. kub., jak i 25 g. Przy G, 50 g zatrzymały zaraz za

w obliczeniu 10 do 20 razy się powiększają, nie można się dziwić, że zupełnej zgodności cyfr niema. W każdym razie wnosić możemy, że wpływ gipsu, jeżeli wogóle istnieje, jest tak mały, iż wchodzi w zakres koniecznych błędów doświadczenia.

Ziemia A.

Numer nalania	Ilość użytej ziemi w gramach	Ilość pierwotnie nalanego roztworu węglanu potażu		Ilość cent. kub. płynu, zastąp onego świeżym	Ilość gr. potażu zawartego w płynie	Węglanu potażu użyto od początku		Ilość potażu zabsorbowanego za jednem nalaniem		Ilość potażu zabsorbowana od początku		Ilość potażu zabsorbowanego z 200 cent. kub. płynu przez 25 gr. ziemi					
		w kub. cent płynu	w gr. potażu			w kub cent. płynu	w gr. potażu	w kub. cent. płynu	w % wagi ziemi	w kub. cent. płynu	w % wagi ziemi	B.	C.	D.	E.	F.	G.
I.																	
1	50	100	0·3605	50	0·3605	100	0·3605	0·2136	0·43	0·2136	0·43	0·2827	0·1649	0·1427	0·0976	0·0718	0·0147
2				50	0·2536	150	0·5407	0·1638	0·32	0·3774	0·75						
3				50	0·2252	200	0·7209	0·0948	0·19	0·4722	0·94						
4				50	0·2454	250	0·9011	0.0834	0·16	0·5556	1·0						
5				50	0·2612	300	1·0816	0·0476	0·09	0·6032	1·2						
6				50	0·2371	350	1·2615	0·0359	0·07	0·6391	1·26						
7				50	0·3058	400	1·4417	0·0294	0·06	0·6645	1·33						
8				50	0·3184	450	1·6219	0·0233	0·05	0·6918	1·38						
9				50	0·3278	500	1·8021	0·0291	0·06	0·7209	1·44						
10				50	0·3296	550	1·9823	0·0046	0·01	0·7235	1·45						
II.																	
1	25	100	0·3605	—	0·3605	100	0·3605	0·2463	0·98	0·2463	0·98						
2				50	0·2373	150	0·5407	0·0656	0·26	0·3119	1·25						
3				50	0·2661	200	0·7209	0·0205	0·08	0·3324	1·33						
4				50	0·303	250	0·9011	0·0124	0·04	0·3448	1·38						
5				50	0·3255	300	1·0813	0·0106	0·04	0·3554	1·42						
6				50	0·3377	350	1·2615	0·0035	0·01	0·3589	1·44						
III.																	
	25	300	1·0813	—	1·0813	—	—	0·3346	1·34	—	—						
	25	300	1·0813	—	1·0813	—	—	0·3129	1·25	—	—						

pierwszym razem znacznie więcej potażu niż 25 g, bo też G jest piaskiem, o bardzo słabej własności absorbcyjnej, która od pierwszego razu została nasyconą. W ciągu dalszych badań cyfry wszędzie odpowiednio się wyrównywały i po dojściu do granicy chłonięcia 50 g każdej ziemi zawierało dwa razy tyle potażu, co 25 g.

Tak więc nie ulega wątpliwości, że: *absorbcja przy jednakowem stężeniu płynu zależy w wysokim stopniu od stosunku między wagą ziemi i objętością roztworu, wprowadzonego z nią w zetknięcie, a to do tego stopnia, że podwójna ilość płynu spowodować może podwojenie albo nawet jeszcze większy wzrost chłoniętego potażu, i że przy jednakowej objętości płynu zmniejszenie masy ziemi spowodować może wzrost absorbcji.*

Ten całkiem niespodziewany wypadek skłonił mnie do przyjmowania w doświadczeniach mniejszej ilości ziemi odnośnie do płynu, gdyż, jak fakta przywiedzione wskazują, tylko wtedy można otrzymać cyfry prawidłowe i dające się ze sobą porównywać. Po nasyceniu gruntów potażem ługowano je wodą.

Powyżej wskazałem już sposób, w jaki się to przeprowadzało teraz pozostaje mi podać rezultaty, podobnie jak poprzednio skrócone.

Ziemia A.

Numer nalania	Czas zetknięcia wody z ziemią w dniach	Waga ziemi	Ilość potażu zawartego w ziemi	Ilość dolanej wody	Cała ilość płynu	Ilość potażu pozostałego w płynie	Ilość wyługowanego potażu		Zwiększenie stężenia płynu na 100 cent. kub.	Ilość wody użytej w początku ługowania	Ilość potażu wyługowanego od początku			Przeciętniowe stężenie płynu, tworzącego się z ługowania
							w gram.	w % pot. zawart. w ziemi			w gram.	w % pot. zawart. w ziemi		
I.														
1	5	50	0·7255	144	200	0·1841	0·0027	0·38	0·002	144	0·0027	0·38		0·002
2	7		0·7228	100	200	0·0934	0·0197	2·85	0·0197	244	0·0024	3·1		0·0092
3	18		0·7031	100	200	0·0566	0·0284	4·2	0·0288	344	0·0508	7		0·0148
4	10		0·6747	100	200	0·0424	0·0174	2·58	0·0174	444	0·0682	9·4		0·0154
II.														
1	11	25	0·3589	350	400	0·1667	0·0137	3·84	0·0039	350	0·0137	3·8		0·0039
2	11		0·3452	350	400	0·0225	0·0381	11·0	0·0109	700	0·0518	14·4		0·0074
3	31		0·3071	360	400	0·0061	0·0423	13·7	0·0119	1060	0·0941	26·2		0·0088
4	11		0·2648	375	400	0·0030	0·0255	9·6	0·0068	1435	0·1196	35		0·0083
III.														
1	5	25	0·3129	750	800	0·1278	0·0262	8·4	0·0035	750	0·0262	8·7		0·0035
2	30		0·2867	765	800	0·0067	0·0633	22·06	0·0083	1515	0·0895	28·6		0·0058
3	8		0·2334	770	800	0·0024	0·0263	11·8	0·0034	2285	0·1158	37		0·0057
4	7		0·1971	765	800	0·0012	0·0221	11·2	0·0030	3050	0·1379	44		0·0045

Cyfry tej tabliczki wskazują same przez się, w jakim stopniu potaż, zabsorbowany przez ziemię A, ługowany jest wodą. W podobny sposób postępowałem z ziemiami B, D, E, F, G i ze wszystkich alkali było powoli przez wodę zabierane, lecz *ilości wyługowanego potażu nie były proporcjonalne do masy, jaką ziemie zabsorbowały; przy gruntach, mniej potażu zawierających, ługowanie było stosunkowo silniejsze. Bezwzględne ilości alkali, ługowanego z różnych ziem przez daną objętość wody, mało między sobą się różniły.* Wypada tu jeszcze zwrócić uwagę na jeden bardzo ważny fakt, a mianowicie, że *ilość wyługowanego potażu nie jest proporcjonalną do objętości użytej jednorazowo wody;* cyfry tej tabliczki najwyraźniej to wskazują.

Waga potażu, wyługowanego przez mniejszą objętość wody, jest stosunkowo większa, aniżeli przy użyciu znaczniejszej jej ilości, czyli innemi słowy: *stężenie płynu, powstałego z rozpuszczenia w wodzie zabsorbowanego potażu, jest tem większe, im mniejszej objętości wody użyto do ługowania.*

Ten fakt powtórzył się przy wszystkich innych ziemiach, uznać go więc musimy za niewątpliwy i ogólny; o ważności zaś jego powiemy później, gdy będziemy rozbierać wnioski, jakie niektórzy badacze wyprowadzają ze składu wód drenowych i lisymetrowych o sposobie żywienia się roślin.

Po tym opisie nieco szczegółowych doświadczeń nad absorbcją podam cyfry, odnoszące się do pochłaniania przez ziemię potażu i sody z roztworu wodanów; wszędzie przytem 25 g ziemi nalewano dwustoma centymetrami alkali gryzącego.

	Absorbcja sody	Ilość potażu równoważna zabsorbowanej sodzie	Absorbcja potażu z roztworu równoważnego stężenia z płynem sodowym	Absorbcja potażu z roztworu równego stężenia z płynem sodowym
A . . .	0·1847	0·2801	0·3333	0·2626
B . . .	0·1821	0·2761	0·3091	0·2606
C . . .	0·1130	0·1716	0·2121	0·1616
D . . .	0·0951	0·1453	0·1616	0·1414
E . . .	0·0744	0·1131	0·1111	0·1010
F . . .	0·0797	0·1212	0·1212	0·1010

W tej tabliczce dostrzec możemy pewną prawidłowość w porównaniu siły absorbcyjnej względem potażu i sody. Jest ona daleko widoczniejszą przy płynach równego, aniżeli równoważnego stężenia.

Cyfry w kolumnie drugiej i czwartej są bardzo do siebie zbliżone; z tych pierwsze wskazują ilość potażu równoważną zabsorbowanej sodzie, ostatnie zaś ilość pochłoniętego potażu z roztworu równego stężenia z płynem sodowym. To znaczy, że *absorbcja potażu i sody z roztworów równej gęstości ich wodanów miała miejsce w stosunku równoważników.* Gdyby fakt ten sprawdził się dla większej jeszcze liczby odmian gruntu z różnemi absorbcyjnemi siłami, byłby niezmiernej wagi, gdyż wskazywałby czysto chemiczną naturę tej własności. Ciekawą też byłoby rzeczą przeprowadzić odpowiednie doświadczenia z litytną i porównać je z wypadkami, dla potażu i sody otrzymanemi.

Jak wiadomo, równoważnik litynu jest 7, a lityny 15, czyli o połowę mniejszy od równoważnika sody. Gdyby więc wypadki, jakie otrzymano dla potażu i sody, powtórzyły się i tutaj, to chłonięcie lityny z płynu równego stężenia byłoby o połowę mniejsze od pochłaniania sody, a wynosiłoby tylko $^2/_3$ ilości zabsorbowanego potażu. Gdyby się to sprawdziło, chemiczna natura absorbcji alkali byłaby dowiedzioną. Nim jednak dalsze doświadczenia wniosków moich nie stwierdzą, nic na pewno wnosić nie możemy, bo zawsze podejrzewać trzeba, iż zależności, jakie napotkałem, są tylko dziełem przypadku.

Co do porównania absorbcji potażu z jednakowo stężonych roztworów wodanu i węglanu, widzimy, że różnice są niewielkie, jednakowoż ilości pierwszego stale przeważają.

Jak zobaczymy później, chłonięcie alkaljów z siarczanów i chlorków jest znacznie mniejsze niż z węglanów, dlatego właśnie z temi ostatniemi przeprowadzałem próbę dla dowiedzenia się, czy z roztworu, choćby bardzo rozcieńczonego, ziemia może zabrać wszystek potaż. Brustlejn wspomina, że przy filtrowaniu przez ziemię roztworów amonjakalnych chłonięcie jest silniejsze, aniżeli przy pozostawianiu ich w zetknięciu we flaszkach; przypuszczając to samo dla alkaljów nielotnych i chcąc zarazem postawić ziemię w jak najprzyjaźniejszych do absorbcji okolicznościach, odstąpiłem od zwykłej mej metody i roztwór filtrowałem zamiast go na grunt nalewać. Dwa kilogramy ziemi D wsypano do klo-

sza szklanego, około jednej stopy wysokiego i mającego sześciocalową średnicę; u spodu klosz ten opatrzony był otworem, założonym filtrową bibułą. Na ziemię nalano 1 litr płynu, zawierającego 0·1 g potażu, rozcieńczonego więc w stosunku 1:10000. Około dwóch godzin upłynęło nim pierwsze krople spływać zaczęły, a około 5 godzin, nim płyn wypływać zaprzestał; miał on kolor białego wina, lecz po odparowaniu do gęstości nieco ściemniał. Całkowita ilość cieczy zebranej wynosiła 365 kub. cent. Już pierwsze krople okazywały reakcję alkaliczną (wprawdzie bardzo słabą), co wskazywało, że potażu całkowicie pozbawione nie zostały. Oznaczenia ilościowe dokonano w czterech częściach, z których trzy pierwsze po 75 kub. cent., ostatnia 140 kub. cent. zawierała. Przed dodawaniem jednak mianowanego kwasu siarczanego odparowano płyny do objętości mniej więcej 6 kub. cent.

Tym sposobem znaleziono:

w pierwszych 75 kub. cent. .	0·0022 g
» drugich » » » .	0·0025 »
» trzecich » » » .	0·0020 »
» ostatnich 140 » » .	0·0031 »
razem w 365 cent. . .	0·0098 g

Płyn więc był jednakowo stężony od początku swego wypływu aż do końca, bo różnice w czwartych cyfrach dziesiętnych mogą od błędów doświadczenia pochodzić. Pierwotne stężenie roztworu 1:10000 spadło do 1:37037 i chłonięcie posunęło się dalej, jakkolwiek siła absorbcyjna ziemi wyczerpaną być jeszcze nie mogła, bo 2 kil. ziemi zatrzymały tylko 0·1 g potażu, więc ilość znikomo małą względnie do tej, jakiejby potrzebowały do zupełnego nasycenia się tem alkali. Fakt ten, zgodny zupełnie z podobnemi doświadczeniami Brustlejna nad absorbcją amonjaku, zmusza nas do powątpiewania o prawdziwości zdania Liebiga, że potaż z rozcieńczonego roztworu całkowicie zostaje pochłoniętym przez ziemię [1], oraz do przyjęcia pewnej równowagi między własnością absorbcyjną ziemi, a dążnością zabsorbowanych ciał do rozpuszczania się w wodzie. Powolne ługowanie, jakie Henneberg, Stohman i Brustlejn dla amonjaku okazali, a które powyżej dla potażu widzieliśmy, stwierdza to mniemanie.

[1] Ueber einige Eigenschaften der Ackerkrume, Ann. d. Ch. u. Phm. B. 105, s. 114.

Na zakończenie badań nad absorbcją alkaljów z roztworów wodanów i węglanów podam jeszcze wpływ, jaki wyługowanie ziemi kwasem solnym i wypalenie na własność chłonięcia wywiera.

Niniejsza tabliczka wskazuje ilości zatrzymanego potażu przez grunta naturalne i sztucznie zmienione, przy użyciu 25 g ziemi na 200 kub. cent. płynu przy D, E i F, zaś 25 g na 300 kub. cent. przy A i B.

	Absorbcja potażu z ziemi naturalnej	Absorbcja potażu z ziemi ługowanej kwasem solnym	Absorbcja potażu z ziemi ługowanej kwasem solnym i wypalonej	Zmniejszenie się absorbcji przez wypalenie ziemi	Ubytek na wadze ziemi przez wypalenie
A . . .	0·3346	0·3232	0·1242	0·2090	6·69%
B . . .	0·3010	0·2926	0·1090	0·1836	6·73%
D . . .	0·1427	0·1595	0·0848	0·0747	2·95%
E . . .	0·0891	0·0848	0·0242	0·0604	1·56%
F . . .	0·0718	0·0791	0·0283	0·0518	2·2 %

Z powyższego widzimy, że wyługowanie ziemi kwasem solnym wielkości absorbcji wcale nie zmieniło, stąd wniosek, że wapno, glinka i tlennik żelaza na chłonięcie alkali nie wpływają, a przynajmniej nie więcej jak inne części składowe gruntu, które w kwasie solnym są nierozpuszczalne. Inaczej zupełnie rzecz się ma z ziemiami wyługowanemi kwasem i wypalonemi; tu wszędzie absorbcja znakomicie zmalała. Co na to zmniejszenie wpłynęło, czy pozbawienie ziemi materyj organicznych, czy zmiany, jakie w glinie niewątpliwie przez wypalenie następują, trudno zawyrokować stanowczo. Zwracamy tylko uwagę, że zmniejszenie absorbcji nie jest proporcjonalne do straty, jaką ziemia przez wypalenie ponosi. Nadto zauważyć należy, że różnice między siłą absorbcyjną różnych ziem od samej ilości, a nawet i jakości materyj organicznych pochodzić nie mogą, pozostają bowiem po usunięciu tychże z ziemi. Tak mianowicie: ziemie, mające silniejszą absorbcyjną własność w stanie naturalnym, chciwiej też pochłaniają potaż po wypaleniu, i odwrotnie.

Ziemia A między wypalonemi tak samo jak i między naturalnemi absorbuje najsilniej, potem B, następnie D; tylko przy

E i F stosunek jest odwrotny, pomimo, że F więcej materyj organicznych przez wypalenie utraciła, aniżeli E.

Z ziemiami A i D przeprowadzono jeszcze kilka ługowań wodą, które bardzo ciekawe dały rezultaty. Ziemia, myta kwasem solnym, tembardziej zaś ługowana i wypalona, po skłóceniu z wodą odstawa się bardzo szybko, tak, że nalanie jedno po drugiem, nie po kilku dniach, jak przy ziemi naturalnej, ale po kilku godzinach następować mogło.

Ta przyjazna okoliczność umożebniła mi znalezienie zależności między czasem, przez jaki ziemia zostaje w zetknięciu z wodą, a ilością wyługowanego przez tę wodę potażu, zależności bardzo ważnej we względzie fizjologicznym, jak to na swojem miejscu postaramy się wykazać.

Na ziemię A, wyługowaną kwasem solnym i zawierającą 0·3232 g pochłoniętego potażu i 0·0552 g rozpuszczonego w płynie, który we flaszce pozostał, zrobiono w ciągu dwóch dni 5 nalań wodą, używając około 300 cent. kub. naraz; nalano więc 1640 cent. kub. wody. W całej tej ilości płynu po odparowaniu znaleziono 0·0087 g krzemionki, ślady glinki i tlenniku żelaza, wreszcie 0·0757 g potażu; a że w cieczy pozostało 0·0552 g, więc 0·0205 g wyługowane zostało.

W ciągu trzech dni następnych zrobiono znów 5 nalań wody, do których użyto 1500 cent. kub. W płynie tym znaleziono 0·0133 g krzemionki i 0·0204 g potażu (który ważono w postaci chloroplatynjanu chlorku).

Tak więc pierwsze 1640 cent. kub. wyługowały 0·0205 g, drugie 1500—0·0204 g, razem 3140 cent. kub. zabrały z ziemi tylko 0·0409 g alkali.

W tabliczce, wskazującej ługowania z takiej samej ilości ziemi naturalnej A, widzieliśmy, że przy równych warunkach pierwsze dwa nalania, do których użyto 700 kub. cent., zabrały z ziemi 0·0518 g, a 4 inne z 1435 cent. kub. wyługowały 0·1196 g alkali.

Tak więc niespełna $^1/_4$ część wody, spotrzebowanej przy obecnie opisywanem ługowaniu, zabrała tam więcej potażu, aniżeli tu cała jej ilość; $^1/_3$ zaś wyługowała z ziemi naturalnej blisko 3 razy tyle niż obecnie potrójna objętość wody. Skądże te różnice pochodzą? Czy przypuścić można, że wytrawianie kwasem solnym, nie zmieniając ilości potażu, jaka przez ziemię pochłoniętą być

może, zmodyfikowało jednak w ten sposób siłę absorbcyjną, że raz pochłonięty potaż trudniej się już z niej ługuje? Wątpię. Trudno bowiem znaleźć jakąkolwiek możebną tego przyczynę. Zdaniem mojem, różnice mogą jedynie stąd pochodzić, że obecne ługowanie dokonano w ciągu dni 5, gdy poprzednie cztery nalania przez dwa miesiące były robione. Owe 1640 cent. kub. wody zostały przez ziemię w dwóch dniach przelane, gdy tamte 700 cent. kub., do dwóch pierwszych nalań użyte, zostawały z nią przez trzy tygodnie w zetknięciu (każde 350 cent. kub. przez 11 dni). Można tedy prawie bez wahania sądzić, że różnice w czasie zetknięcia wody z ziemią sprowadziły tak znaczne nierówności w ilości wyługowanego potażu. Aby jednak w tym względzie osiągnąć bezwarunkową pewność, należało usunąć wszelkie podejrzenie wpływu na ziemię, wynikającego z ługowania kwasem.

W tym celu postanowiłem się przeświadczyć, czy mniejsza objętość wody zabierze więcej potażu z gruntu ługowanego kwasem, jeżeli z nim przez dłuższy czas w zetknięciu zostawać będzie. Dlatego zrobiono jedenaste z kolei nalanie 300 cent. kub. wody i zostawiono dla działania trzytygodniowego. Po upływie tego czasu ściągnięto płyn z ziemi i znaleziono w roztworze 0·0196 g krzemionki i 0·0126 g potażu. Teraz nie podlegało już żadnej wątpliwości, że prócz czasu zetknięcia inna okoliczność wpływać nie mogła, a jednak 300 cent. kub. wody wyługowało w jednorazowem nalaniu przeszło połowę tej ilości, co 1500 lub 1600 w pięciu nalaniach, robionych poprzednio.

Zupełnie ten sam fakt zauważono na ziemi A, wyługowanej kwasem i wypalonej. Przez 25 g gruntu, zawierającego 0·1242 g potażu z pochłonięcia i 0·1273 g rozpuszczonego w płynie pozostałym we flaszce, przelano 1830 cent. kub. wody w sześciorazowem nalaniu. W całej tej ilości znaleziono 0·0088 g krzemionki i 0·1542 g potażu. W następnych 3 dniach nalano znów na tę ziemię 3500 cent. kub. w dziesięciu równych częściach, a w całej tej masie płynu było 0·0135 g potażu. Tak więc na 350 cent. kub., w każdem nalaniu użytych, wypada zaledwie 0·00135 g.

Następnie grunt oblano 350 cent. kub. wody, którą dopiero po trzech tygodniach ściągnięto; zawierała ona 0·0087 g rozpuszczonej krzemionki i 0·0057 g potażu. Gdyby każde 350 cent. kub., z poprzednio nalewanych, taką samą ilość alkali zabrały, to

owe 3·5 litra wody, przez ziemię przelane, zawierałyby 0·057 g potażu, kiedy, jak widzieliśmy, niespełna tylko $^1/_4$ tej ilości znaleziono.

Taki sam wpływ czasu okazał się przy ługowaniu ziemi, ale cyfr przytaczać już tutaj nie będę.

Te doświadczenia uprawniają nas do uznania za fakt niewątpliwy, że: *im dłużej woda pozostaje w zetknięciu z ziemią, potaż zawierającą, tem więcej w sobie tego alkali rozpuszcza.*

Ważność tego poznamy, gdy będzie mowa o fizjologicznem znaczeniu absorbcji.

2 Doświadczenia nad absorbcją alkali z roztworów ich siarczanów i chlorków.

Ogólne postępowanie było tu takie same jak poprzednio; w płynie ściągniętym z nad ziemi oznaczano nietylko ilość alkali, ale także i połączony z nim kwas, oraz rozpuszczone z ziemi wapno. Kwas siarczany ważono w postaci siarczanu baryty z porcyj 25-cio centymetrowych; chlor mianowano zapomocą normalnego roztworu azotanu srebra, którego 1 cent. kub. odpowiadał 0·001756 g chloru.

Alkali i wapno oznaczano z jednych objętości 50 lub 100 centymetrowych. Wapna nie ważono, lecz po strąceniu szczawianem amonji i dokładnem odmyciu rozpuszczano w kwasie solnym, a po dodaniu do płynu kwasu siarczanego mianowano kwas szczawiowy kameleonem, co z łatwością pozwalało obliczyć ilość wapna. Po oddzieleniu wapna oznaczano w płynie alkali; jeżeli ono było w postaci siarczanu, to dodawano do płynu nieco kwasu siarczanego, parowano do suchości, pozostałość wypalano, poczem w miarę potrzeby zwilgacano węglanem amonji, znów wypalano i ważono. Jeżeli było w postaci chlorku, to mianowano związany z nim chlor. W tym celu płyn parowano do suchości, pozostałość zlekka wypalano dla oddalenia soli amonjakalnych, przy strącaniu wapna wprowadzonych. Gdy to nastąpiło, zwilgacano osad kwasem solnym, aby węglan alkali, który się mógł utworzyć przy wypalaniu chlorku wobec szczawianu amonji, napowrót w chlorek przeprowadzić, nadmiar kwasu zobojętniano amonją, znów wszystko parowano do suchości, lekko wypalano, rozpuszczano w wodzie, roztwór dopełniano do 50 lub 100 cent. kub. i mianowano chlor w kilku pięciocentymetrowych próbkach, z tego zaś obliczano

ilość alkali. Ubytek alkali, obliczony na całe 200 cent. kub. płynu, wskazywał ilość, zabsorbowaną przez 25 g ziemi.

W poniżej załączonej tabliczce zebrane są rezultaty tych doświadczeń. Nie podaję ilości znalezionego wapna, ale równoważną mu ilość potażu, bo idzie tu właśnie o porównanie równoważnikowe rozpuszczonego wapna ze znalezionym potażem.

	Absorbcja z roztworu siarczanów alkalicznych								
	0·723 gram. potażu w 200 centim. kub. 0·616 kwasu siarczanego			0·479 gr. potażu w 200 c. k. 0·405 gr. kw. siarczanego		0·4887 gram. sody w 200 centim. kub. 0·6306 gram. kwasu siarczanego			
	Ilość znalezionego kwasu siarczanego	Potaż równoważny ze znalezionem wapnem	Ilość zabsorbowanego potażu	Potaż równoważny znalezionemu wapnu	Ilość zabsorbowanego potażu	Ilość znalezionego kwasu siarczanego	Soda równoważna znalezionemu wapnu	Ilość zabsorbowanej sody	Ilość potażu równoważnego zabsorbowanej sodzie
A . .	0·6112	0·1993	0·2093	0·1518	0·0955	—	0·0569	0·0506	0·0806
B . .	0·6197	0·1682	0·1618	0·1132	0·1026	0·6310	0·0656	0·0530	0·0769
C . .	0·6154	0·1248	0·1236	0·0908	0·0841	0·6314	0·0453	0·0407	0·0619
D . .	0·6149	0·0631	0·0740	0·0792	0·0751	0·6215	0·0403	0·0381	0·0579
E . .	0·6249	0·0451	0·0480	0·0634	0·0659	—	—	—	—
F . .	0·6112	0·0471	0·0557	0·0350	—	—	0·0227	0·0320	0·0456
kreda	—	ślady	ślady	—	—	0·6180	0·0093	0·0159	—

	Absorbcja z roztworów chlorków potasu i sodu								
	0·6161 g. K = 0·7426 KO 0·5593 chloru			0·398 K = 0·4794 KO 0·3608 Cl w 200 c. k.			0·363 Na = 0·489 NaO 0·5594 Cl w 200 c. k.		
	Ilość znalezionego Cl	KO równoważny ze znalezionem CaO	Ilość zabsorbowanego KO	Potaż równoważny znalezionemu CaO	Ilość zabsorbowanego KO	Ilość znalezionego Cl	NaO równoważna znalezionemu CaO	Ilość zabsorbowanej NaO	KO równoważny zabsorbowanej NaO
A . .	0·5678	0·1704	0·1644	0·1424	0·1146	0·5613	0·0572	0·0613	0·0931
B . .	0·5678	0·1386	0·1368	0·1107	0·1072	0·5643	0·0501	0·049	0·0743
C . .	0·5671	0·1058	0·0926	0·0734	0·0672	0·5601	0·0426	—	0·0647
D . .	0·5650	0·0967	0·0761	0·0685	0·0653	0·5650	0·0358	0·0362	0·0550
E . .	0·5622	0·0684	0·0540	0·0571	0·0457	0·5629	0·0307	0·0325	0·0494
F . .	0·5664	0·0434	0·0419	—	—	0·5600	0·0201	0·0251	0·0382
kreda	0·5664	0·0192	—	—	—	0·5587	0·0126	0·0114	—

Z powyższego widzimy, że kwas siarczany i chlor prawie wcale absorbowane nie są, nawet chloru znajdujemy stale więcej, aniżeli go było przed nalaniem na ziemię; to pochodzić może od wyługowania pewnej jego ilości z gruntu lub od innej przyczyny, o możliwości której poniżej wspomniemy.

Kwas siarczany jest pochłaniany do pewnego stopnia, choć bardzo mało. Ilości zatrzymywanych alkaljów są prawie równoważne znalezionemu wapnu, co zmusza nas do przyjęcia, że wapno podstawiło się za pochłonięte alkali.

Zwracam uwagę na fakt, że ilość wapna, jaka się w płynie rozpuszcza, nie zależy zupełnie od masy znajdującego się w ziemi węglanu wapna (z zastrzeżeniem, żeby ziemia zbyt go mało nie zawierała), ale od wielkości siły absorbcyjnej, jaką ziemia jest obdarzona. Im ta siła jest większą, tem więcej wapna z ziemi się wyługuje i odwrotnie. Ziemia C, która zawiera tyle węglanu wapna, że z kwasami bardzo silnie się burzy, oddała go mniej jak B, która tylko 0·67% wapna zawiera. Kreda jest niemal czystym węglanem wapna, a zaledwie ślady tego ciała z niej się rozpuszczały, to też własność jej absorbcyjna była prawie żadna.

Tak więc: *węglan wapna, w ziemi zawarty, sam przez się nie jest zdolny do rozłożenia siarczanu lub chlorku alkali; do uskutecznienia tego koniecznem jest współdziałanie siły absorbcyjnej ziemi.*

Dopiero przyciąganie alkali przez ziemię ułatwia podwójną wymianę, jaka między solą, w płynie się znajdującą, a węglanem wapna, w ziemi zawartym, następuje; tworzy się gips lub chlorek wapnia, który do roztworu przechodzi, i węglan potażu lub sody, który przez ziemię pochłoniętym zostaje. Czy zaś ten węglan zostaje absorbowany w całości, czy też pierwej dalszej jeszcze ulega zmianie, tego nie wiemy. Faktem tylko jest, że przy zetknięciu roztworu chlorku alkalicznego z ziemią, potaż i soda nie wprost z tych soli, lecz dopiero z węglanu pochłaniane zostają.

Z tabliczki powyższej widzimy także, że alkalja stosunkowo łatwiej absorbowane są z siarczanów aniżeli z chlorków. Pochodzi to prawdopodobnie stąd, że chlorek trudniej od siarczanu ulega rozkładowi; różnice zresztą nie są zbyt wielkie. Ale jeżeli porównamy chłonięcie potażu i sody z roztworów ich siarczanów

i chlorków z jednej, a z roztworów wodanów i węglanów z drugiej strony, to zobaczymy, że pierwsze jest nierównie słabsze niżeli drugie; w tym więc względzie potaż i soda zachowują się zupełnie odrębnie od amonjaku, dla absorbcji którego (podług Hen. i Stoh.) obojętną jest rzeczą, w jakiej postaci przychodzi tenże w zetknięcie z ziemią, byle w danej objętości roztworu jednakowa jego ilość się znajdowała.

Widzieliśmy poprzednio, że potaż i soda z roztworów wodanów były absorbowane prawie w stosunku równoważników, mianowicie gdy ciecze były równego sobie stężenia. Prawidłowość ta nie powtórzyła się przy siarczanach i chlorkach. Ilość pochłoniętego potażu wszędzie tu jest większa, aniżeli gdyby była równoważną zabranej sodzie. Fakt ten jednak w niczem nie zmniejsza wagi prawidłowości, przy wodanach obserwowanej, daje się nawet wyjaśnić wpływem stężenia płynu na absorbcję. Jakkolwiek bowiem roztwory pod względem zawartych w nich alkaljów równego były stężenia, to równość ta zniszczoną została wskutek przejścia chlorków i siarczanów w węglany; zaraz więc różne stężenie płynu weszło w działanie i powyższe różnice sprowadzić mogło.

Absorbcja potażu z roztworów siarczanu przez ziemie sztucznie zmienione.

Liebig w pracy swej pod tytułem »Ueber einige Eigenschaften der Ackerkrume«, o której na właściwem mówiliśmy miejscu, wyraził zdanie[1], że gdyby ziemia nie zawierała ciała, któreby się mogło podstawić za alkali, to absorbcja ostatniego nie miałaby miejsca. Rezultaty Brustlejna najwyraźniej zdanie to odnośnie do salmiaku sprawdziły, bo, jak widzieliśmy, grunt wyługowany kwasem solnym ani śladu amonjaku z tej soli nie pochłonął. Zdanie to chciałem sprawdzić dla soli potażowych, ale, jak zobaczymy, w części się tylko stwierdziło.

Doświadczenia wykonano zupełnie tak samo, jak przy ziemiach naturalnych, a rezultaty ich streszczone są w następującej tabliczce:

[1] Ann. d. Ch. u. Ph. B. 105, s. 120.

	Ilość znalezionego kwasu siarczanego	Ilość znalezionej glinki i tlenniku żelaza	Ilość znalezionego wapna	Ilość znalezionego potażu	KO odpowiadający znalezionej glinie, tlennikowi żelaza i wapnu	Ilość zabsorbowanego potażu	Ilość potażu, jaka odpowiada wolnemu kwasowi w płynie znalez.
A′	0·6011	0·0210	0·0098	0·6210	0·0357	0·099	0·1096
B′	0·6117	0·0260	ślady	0·6565	0·0238	0·0719	0·0656
D′	0·6415	0·0104	ślady	0·7052	0·0100	0·0275	0·0322
E′	0·6304	0·0074	0·0039	0·7204	0·0133	0·0081	0·0168
F′	0·6401	ślady	ślady	0·7169	ślady	0·0058	0·0168
B″	0·6125	0·0160	0·0040	0·7087	0·0211	0·0197	—
A″	—	ślady	ślady	0·7245	—	0·0041	—
B′ 24 gr.+1 gr. kredy . .	0·6153	—	0·1088	0·6044	0·1830	0·1241	—

′ nad literą znaczy wyługowanie wskazanej ziemi kwasem solnym,
″ znaczy wyługowanie i wypalenie.

Z cyfr tych widzimy, że niektóre ziemie, pomimo iż były prawie zupełnie pozbawione części, mogących zastępować potaż w jego siarczanie, nie zachowały się obojętnie względem tego roztworu, lecz samą siłą absorbcji spowodowały niewielki rozkład, przyczem potaż zatrzymały, a część kwasu uwolniły ze związku. Wprawdzie fakt ten nie jest ogólny, ale niemniej co do trzech pierwszych ziem z najsilniejszą własnością absorbcyjną niewątpliwy. Widzimy, że ziemie oddały jeszcze do roztworu niewielkie ilości glinki i wapna, ale przypuszczając nawet, że one w całości podstawiły się za potaż w siarczanie potażu, jeszcze nie przyjdziemy do wytłumaczenia ubytku alkali z płynu bez przyjęcia, że pewna część soli rozłożyła się sama przez się, bez podwójnej wymiany, jedynie tylko naglona siłą absorbcyjną ziemi. Kwaśna reakcja płynu stwierdziła to mniemanie, lecz, że ona pochodzić mogła z niedokładnego odmycia kwasu solnego, dla usunięcia więc wszelkiej możliwości błędu wykonałem następujące doświadczenie:

25 g B (naturalnej, nieługowanej) nalano 200 cent. kub. roztworu siarczanu kwaśnego potażu, który zawierał w tych 200 cent. kub. 0·7327 g KO i 1·2442 g kwasu siarczanego, którego więc nadmiar stanowił 0·6221 g.

W płynie, dnia następnego ściągniętym, znalazłem:

Wolnego kwasu siarczanego	0·3112 g			
Reszta kwasu siarczanego	0·9330 «			
Glinki i tlenniku żelaza	0·1540 «	co odpowiada	0·1232 g	SO_3
Wapna	0·1692 «	« «	0·2417 «	«
Potażu	0·6703 «	« «	0·5691 «	«
			0·934 g	SO_3

Ubyło potażu 0·0624 g

Kwasu wolnego przed nalaniem na ziemię znajdowało się w płynie 0·6221, po ściągnięciu roztworu z ziemi jest go 0·3112 g, więc ubyło 0·3119 g. Tymczasem rozpuszczona glinka i wapno zobojętniać powinny 0·3649 g, a więc 0·0540 g wolnego kwasu, w płynie znalezionego, pochodzić musi z rozłożonego siarczanu potażu. I rzeczywiście te 0·0540 g kwasu odpowiadają 0·0611 g potażu, więc cyfrze bardzo bliskiej 0·0624 g, jaką dla absorbcji znaleziono.

Tak więc jest faktem niewątpliwym, że *jeżeli ziemia posiada bardzo silną absorbcyjną własność, to zdolną jest sama przez się do rozłożenia siarczanu potażu, nawet bez współudziału węglanu wapna lub innych ciał, któreby potaż w związku zastępować mogły.*

Przez dodanie kredy do ziemi B′ absorbcja znacznie się podniosła, ale nie doszła wielkości, jaką dla ziemi B na właściwem widzieliśmy miejscu.

Na zakończenie opisu doświadczeń, jakie nad absorbowaniem potażu i sody przez ziemię orną wykonałem, streszczę ich rezultaty w kilku następujących zdaniach:

1. Fakt absorbowania potażu i sody z roztworów ich związków przez ziemię zostaje stwierdzony.

2. Nie wszystkie grunta z równą siłą absorbują alkalja; od czego różnice tej siły zależą, bliżej określić nie potrafiłem, to jednak pewne, że zwiększenie ilości krzemionkowego piasku w ziemi zmniejsza jej siłę absorbcyjną.

3. Chłonienie zależy w bardzo wysokim stopniu od stosunku między ilościami ziemi i płynu, wprowadzonemi z sobą w zetknięcie, i to tak dalece, iż zdarzyć się może, że z takiej samej objętości płynu mniejsza ilość ziemi więcej alkali zabsorbuje, niż większa. Z tego powodu dla otrzymania pewnych i dających się z sobą porównać wypadków potrzeba zawsze używać płynu w nadmiarze.

4. Z ziemi, nasyconej potażem, woda może napowrót to alkali ługować.

5. Ilość wyługowanego potażu nie jest proporcjonalną do zabsorbowanego, ale przy mniejszych ilościach stosunkowo większa.

6. Ilość wyługowanego potażu nie jest proporcjonalną do masy użytej naraz do ługowania wody, lecz mniejsze objętości ługują go stosunkowo więcej.

7. Czas zetknięcia wody z ziemią, potaż zabsorbowany zawierającą, wpływa bardzo znacznie na ilość wyługowanego z niej alkali, w ten sposób, że w dłuższym czasie ta sama ilość wody rozpuści więcej zabsorbowanego potażu, jak w krótszym.

8. Siarczany i chlorki potażu i sody nie są absorbowane w całości, ale doznają rozkładu i tylko zasada zostaje zatrzymaną, kwas zaś albo wcale nie albo bardzo mało.

9. Rozkład siarczanów i chlorków spowodowanym jest przez węglany ziem alkalicznych, szczególniej zaś i prawie wyłącznie przez węglan wapna.

10. Do uskutecznienia rozkładu koniecznym jest współudział siły absorbcyjnej i sam węglan wapna spowodować go nie może.

11. Ilość rozłożonej soli nie zależy od ilości węglanu wapna, w ziemi się znajdującego, ale wyłącznie od siły absorbcyjnej, jaką ziemia jest obdarzoną, z zastrzeżeniem wszakże, aby ilość węglanu wapna nie była mniejszą, niż go do uskutecznienia rozkładu, sile absorbcyjnej odpowiedniego, potrzeba.

12. Rozkład następuje tylko w tym stopniu, w jakim węglan alkaliczny, przy rozkładzie powstały, jest zabsorbowany; dalej zupełnie się nie posuwa i płyn po ściągnięciu go z ziemi jest prawie obojętny, z bardzo małemi tylko śladami reakcji alkalicznej.

13. Ziemia, pozbawiona węglanu wapna przez kwas solny, nie traci zawsze własności rozkładania siarczanu potażu, ale w każdym razie ma ją w nierównie mniejszym stopniu, niż ziemia, węglan wapna zawierająca. Jeżeli jednak własność absorbcyjna jest silna, to rozkład siarczanu potażu do pewnego stopnia następuje, alkali jest absorbowane, a nadmiar wolnego kwasu zostaje w roztworze.

14. Potaż i soda nie są z równą łatwością pochłaniane ze wszystkich ich związków, ale z wodanów i węglanów łatwiej, aniżeli z siarczanów i chlorków, a przyczyna tego daje się wyprowadzić z wpływu stężenia płynu na absorbcję.

15. Stosunek między ilościami potażu i sody, zabsorbowanemi przez jednę i tęż samą ziemię z roztworów ich wodanów jedna-

kowego stężenia, przy tych samych warunkach jest prawie stały i bardzo do równoważnikowego zbliżony.

16. Stosunek między absorbcją potażu i sody z wodanów przy użyciu płynu równoważnikowego stężenia mało przedstawia stałości i ziemia chłonie potażu więcej, aniżeli w stosunku równoważników.

17. Stosunek między absorbcją potażu i sody z roztworów siarczanów i chlorków równego (odnośnie do KO i NaO), a tembardziej równoważnikowego stężenia, jest mniej stały, aniżeli między chłonięciem z wodanów, i potaż pochłaniany jest silniej, aniżeliby był wtedy, gdyby absorbcja w stosunku równoważników następowała.

18. O naturze własności absorbcyjnej ziemi ze względu na potaż i sodę nic stanowczo pewnego powiedzieć nie można, bo dane dotychczasowe są niewystarczające.

Na tem streszczeniu kończę opis moich doświadczeń. Nie mogę ich nazwać wyczerpującemi; przeciwnie, wiele ważnych rzeczy zostało tu zupełnie pominiętych, np. badanie wpływu stężenia płynu na ilość zatrzymanego alkali i t. p.; ale też do ostatecznego wyczerpania kwestji nie roszczę sobie pretensji; na to przynajmniej paru lat pracy potrzebaby było, tem więcej, że najważniejsze pytanie, tyczące się wyjaśnienia przyczyny absorbcji, leży jeszcze odłogiem i obszerne do dalszych poszukiwań przedstawia pole.

II. O absorbcji kwasu fosfornego z fosforanów alkalij.

Zbadanie zachowania się w gruncie kwasu fosfornego, gdy on tam wprowadzony zostanie w postaci związku rozpuszczalnego, posłużyło mi do bliższego określenia natury własności absorbcyjnej, co, jak widzieliśmy, było mniej możliwem przy pracach z ciałami, inną naturę i własności chemiczne posiadającemi.

Mechanizm mych doświadczeń zgodny był ze sposobem prowadzenia poprzednio przytoczonych robót, opis więc szczegółów całkowicie pomijam i ograniczę się tylko na zestawieniu główniejszych wypadków.

Do oznaczania kwasu fosfornego posługiwałem się metodą, polegającą na mianowaniu go zapomocą octanu uranu[1]. Wyzna-

[1] W większej liczbie przypadków ani glinka ani żelazo mianowaniu na przeszkodzie nie stawały.

czywszy ilość kwasu fosfornego w płynie, przed nalaniem go na ziemię i po zlaniu z niej, dochodziłem tym sposobem masy pochłoniętej.

Poniżej wykażę, że przy zetknięciu fosforanu alkalicznego z ziemią następował rozkład tej soli, przyczem więcej stosunkowo zatrzymanem zostało kwasu jak alkali; ponieważ zaś stopień rozkładu przy różnych warunkach mógł być rozmaitym, chłonięcie więc tych składników osobno oznaczałem.

W pierwszej części doświadczeń chodziło mi głównie o wykazanie zachowania się kwasu, ten więc tylko mianowałem; rezultaty tego w bezwodniku podaję.

A. Chcąc się przekonać, czy kwas fosforny zostaje przez ziemię zatrzymywanym, na 50 g różnych gruntów nalałem 100 cent. kub. roztworu fosforanu sody (dwuzasadowego), w którym było 0·348 g bezwodnika fosfornego. Płyn zostawał w zetknięciu z ziemią przez 48 godzin.

	Waga zatrzymanego bezwodnika	Jaki procent z całej zawartości nalanego roztworu	Ziemia zatrzymała w stosunku swej wagi %
Ziemia B	0·199	57·1	0·39
« A	0·190	54·6	0·38
« D	0·120	31·2	0·24
« E	0·107	27·9	0·21
« F	0·067	19·5	0·14
« G	0·012	3·4	0·02

Doświadczenie to nietylko więc że stwierdziło istnienie absorbcji odnośnie do kwasu fosfornego, ale nadto, bacząc na skład ziemi, dozwoliło postawić wniosek, że zwiększająca się procentowość piasku krzemionkowego zmniejsza siłę pochłaniania.

B. Dla zbadania wpływu czasu na wielkość absorbcji pozostawiałem ziemię w zetknięciu z płynem przez pół godziny — przez $1^1/_2$—48 godzin i wreszcie przez tydzień.

Wypadki tu podane różne są od rezultatów, jakie poprzednicy moi otrzymali dla innych soli; i gdy wpływ czasu okazał się

u nich albo żadnym albo bardzo małym, to dla kwasu fosfornego jest, jak zobaczymy, stwierdzonym i wyraźnym.

	½ godziny		1 ½ godziny		48 godzin		1 tydzień	
	WK[1]	PS%[2]	WK	PS%	WK	PS%	WK	PS%
Ziemia B	0·056	32·9	0·078	44·8	0·099	57·1	0·115	66·0
« A	0·068	39·0	0·071	40·8	0·095	54·6	0·113	64·9
« D	0·041	23·5	0·048	27·5	0·060	31·2	0·070	40·2
« E . . .	0·034	19·5	0·036	20·6	0·053	27·9	0·039	28·1
« F	0·016	9·1	0·018	10·3	0·033	19·5	0·041	23·5
« G	0·002	1·0	0·003	1·7	0·006	3·4	0·009	5·1

Przegląd tych 24-ch oznaczeń kwasu fosfornego wskazuje, że największe chłonięcie ma miejsce zaraz w pierwszych chwilach, później ilości zatrzymywanego ciała ciągle się zwiększają, ale już nie proporcjonalnie do czasu. Po upływie tygodnia jest w ziemiach, dużo zatrzymujących, prawie dwa razy takie, jak po półgodzinnem zetknięciu, gdy tymczasem w gruntach mniej chłoną-cych w większym wzrasta wraz z czasem stosunku.

Przy płynach bardziej stężonych (100 cent. kub. = 0·89 g) czas wpływu już nie wywiera i absorbcja po jednym dniu jest taka sama jak po zetknięciu dziesięciodniowem.

C. Jeżeli ziemia zatrzyma z płynu rozcieńczonego pewną ilość soli, to po zlaniu części cieczy i po powtórnem nalaniu roztworu w ilości równej zlanemu płynowi zabierze więcej, ale już nie tyle, co za pierwszym razem i t. d., aż do pewnej granicy, poza którą ziemia przy niezmienionem stężeniu roztworu nie przekroczy, i punkt ten jest dla niej *granicą absorbcji*.

25 g ziemi, nalane 50 cent. kub., stało przez 24 godzin; zlałem potem 25 cent. kub. i dodałem tę samą ilość płynu pierwotnego; przez to objętość cieczy nad ziemią została ta sama, tylko stężenie cokolwiek zmianie uległo.

[1] WK oznacza »waga kwasu zatrzymanego«.
[2] PS « »płyn stracił wskutek absorbcji %«.

	Z 1-go nalania		Z 2-go nalania		Z 3-go nalania	
	Gram	% wagi ziemi	Gram	% wagi ziemi	Gram	% wagi ziemi
Ziemia B zatrzymała .	0·100	0·40	0·074	0·32	—	—
» A » .	0·094	0·37	0·071	0·28	—	—
» D » .	0·060	0·24	0·014	0·05	0·011	0·04
» E » .	0·052	0·20	0·006	0·02	—	—
» F » .	0·035	0·13	0·014	0·05	—	—
» G » .	0·005	0·02	0·001	0·004	—	—

Jedna więc tylko ziemia gliniasta zatrzymała po trzeciem nalaniu cośkolwiek z soli, w roztworze będącej; inne już nic nie chłonęły.

D. Różne stężenie roztworów nalewanych ma znaczny wpływ na zmianę absorbcji, przyczem jednak wzrost nie jest proporcjonalny do powiększania się stężenia roztworu, lecz nieco mniejszy. Następująca tablica bliżej to wykaże. Użyto 25 g ziemi, nalany zaś płyn był stężenia:

	W stu centymetrach kubicznych bezwodnika			
	0·02 gram	0·183 gram	0·890 gram	1·033 gram
Ziemia B . .	0·006	0·095	0·204	0·257
» A . .	0·005	0·077	nie oznaczano	nie oznaczano
» D . .	nie oznaczano	0·060	»	0·137

E. Chcąc dowiedzieć się, w jakim stosunku na zatrzymywanie kwasu fosfornego wpływają materje rozpuszczalne w kwasach, oddaliłem je przez wyługowanie gruntów na zimno stężonym kwasem solnym; następnie odmywałem wodą tak długo, póki nie powróciła reakcja obojętna, wysuszyłem w 120° C. i w tym stanie używałem.

Część tych gruntów, już wytrawionych, wypalałem na silnym ogniu (czteropłomiennej gazowej lampki) tak długo, póki barwa się nie ustaliła, przeszedłszy w żółtą lub mniej więcej szaro-czerwonawą.

Zmiany, jakim te ziemie podlegały, były: w pierwszym przypadku utrata alkali, wapna, magnezji, glinki, krzemionki rozpuszczalnej i t. p.; w drugim zaś oprócz nieobecności poprzednich składników ubytek części organicznych i niewielka fizyczna zmiana powierzchni cząstek gruntu.

25 g ziemi oblane 100 cent. kub. = 0·183 bezwodnika.

	Ziemia					
	B	A	D	E	F	G
Naturalna	0·095	0·077	0·060	0·045	0·031	0·025
Ługowana	0·069	0·051	0·025	0·020	0·024	0·008
Ługowana i palona . .	0·043	0·030	0·017	0·008	0·016	0·006

Z tej tablicy widać, że wszystkie ziemie przez ługowanie i palenie traciły na sile absorbcyjnej, lecz nie w jednym stosunku.

F. Wiadomo, że w popiołach większej części roślin ilość potażu przewyższa masę sody; opierając się na tem, sądzono, że przy absorbcji grunt okaże też większą skłonność zatrzymywania tego pierwszego alkali. Liebig wykazał nawet prawdziwość tej hipotezy na solach kwasu krzemnego. Jeżeli jednak ziemia ma możność chłonięcia w większej ilości potażu, aniżeli sody, to, jak przekonałem się doświadczeniem, bynajmniej fakt ten nie wpływa na różnicę absorbowania kwasu fosfornego, gdy ten jest w związku z alkaljami. A mianowicie: używszy roztworu fosforanu potażu stężenia w 100 cent. kub. = 0·172 bezwodnika fosfornego, otrzymałem następujące wypadki:

50	g	ziemi	B	naturalnej	zatrzymało	0·084	g	kwasu
»	»	»	A	»	»	0·070	»	»
»	»	»	»	ługowanej	»	0·058	»	»
»	«	»	»	ługowanej i palonej	»	0·030	»	»
»	»	»	D	naturalnej	»	0·054	»	»
»	»	»	E	»	»	0·039	»	»
»	»	»	F	»	»	0·026	»	»
»	»	»	G	»	»	0·016	»	»

Wziąwszy pod uwagę tylko dwie cyfry, t. j. 0·084 dla fosforanu potażu i z poprzednich tablic 0·095 dla fosforanu sody, i wprowadzając jeszcze niejaką poprawkę z powodu małej różnicy stężenia płynów, zobaczymy, że zatrzymywanie kwasu fosfornego od jakości alkali bynajmniej nie zależy; to powtarza się i na reszcie podanych rezultatów.

G. Przeważnemi składnikami każdej ziemi ornej są: glina, okruszyny rozkładających się feldspatów, ziarnka krzemionkowego piasku, próchnica, węglan wapna, magnezji i gips, wreszcie małe ilości wodanu tlenniku żelaza i glinka; inne części wchodzą już w skład ziemi w bardzo nieznacznych ilościach.

Chcąc dojść, którym z części składowych gruntu przypisywać głównie należy własność absorbowania kwasu fosfornego, potworzyłem mieszaniny z piasku kwarcowego, wyługowanego kwasem i wypalonego, oraz ze składników ziemi, branych pojedynczo. Ciała te nalewałem równemi objętościami płynu jednakowego stężenia.

15 g piasku i 10 g ciała próbowanego, oblane 100 cent. kub. = 0·204 bezwodnika fosfornego.

1. Próchnica, wypłukana z ziemi ogrodowej, zatrzymała	g	0·016	czyli	7·8 %
2. Krzemian glinki (glina biała)	»	0·028	»	14·0 »
3. Węglan wapna (kreda proszkowana) . .	»	0·039	»	19·1 »
4. Próchno dębowe	»	0·086	»	42·1 »
5. Siarczan wapna (gips)	»	0·188	»	92·1 »
6. Glinka	»	0·200	»	98·0 «
7. Piasek krzemionkowy, palony i ługowany kwasem	»	0·000	»	0·0 «

Cyfry powyższe naprowadziły mnie na przypuszczenie, że kwas fosforny dlatego silniej zostaje zatrzymany przez glinkę i wapno, aniżeli przez krzemian glinki lub próchnicę, że wchodzi z temi ciałami w połączenia chemiczne; badania, które poniżej opiszę, zupełnie potwierdziły te moje mniemania.

H. Przekonałem się mianowicie, że fosforan sody, wprowadzony do ziemi zawierającej sól wapna, np. węglan, ulega tam w części rozkładowi, przyczem tworzy się nierozpuszczalny fosforan wapna i węglan sody, który, jak skądinąd wiadomo, jako taki jest absorbowany przez ziemię.

Stwierdzony fakt należało tylko bliżej zbadać. W tym celu pewną ilość ziemi lub ciała próbowanego oblewałem roztworem fosforanu, którego znałem zawartość tak kwasu jak i sody; po dłuższem zetknięciu z ziemią płyn zlewałem i w nim obydwa te składniki ilościowo oznaczałem.

Alkali ważyłem w postaci siarczanu, przychodząc do niego następującym sposobem: do roztworu, w którym znajdował się fosforan sody przeważnie, a obok niego małe ilości węglanu lub siarczanu sody, ślady wapna i magnezji, wreszcie materje organiczne, dodawałem po ogrzaniu azotanu baryty, przyczem opadał osad siarczanu, fosforanu, węglanu i próchnianu baryty; płyn odfiltrowany traktowałem dwukrotnie węglanem amonji i po oddaleniu osadu dodawałem kwasu siarczanego, którego nadmiar oddalałem przez odparowanie i silne wypalenie. Przy odpędzaniu kwasu siarczanego nie używałem węglanu amonji, gdyż miałem do czynienia z małemi ilościami osadów, z których równie dobrze i bez tego środka kwas mógł być odpędzony.

a) Na 25 g czarnoziemu B nalałem 100 cent. kub. płynu, w którym było 1·012 kwasu fosfornego i 1·248 potażu; roztwór badany po zlaniu zawierał 0·672 kwasu i 0·934 potażu; obok tego więc, że nastąpiło pochłonięcie pewnych ilości obu składników, miał miejsce jeszcze i rozkład fosforanu potażu, jak to okazuje zmieniony stosunek między temi ciałami, uważanemi w roztworze przed i po nalaniu go na ziemię, przyczem kwasu więcej jak alkali zostało zatrzymane.

b) Do 15 g czarnoziemu B domieszałem 10 g węglanu wapna, na to nalałem 100 cent. kub. fosforanu sody, zawierającego kwasu 0·880 i sody 0·871; po 48 godzinach płyn zawierał 0·024 kwasu i 0·745 sody. Widzimy więc, jak ogromną różnicę w absorbcji kwasu fosfornego sprawiło dodanie do gruntu węglanu wapna; chłonięcie sody było stosunkowo bardzo niewielkie, alkali przytem zostało w płynie w postaci węglanu.

c) Dodanie gipsu sprawiło tenże sam skutek, nalano bowiem roztwór

0·880 kwasu i 0·871 sody, znaleziono zaś później:
0·024 » 0·094 »

I. Ważnem jest zachowywanie się gliny (krzemianu glinki) z rozcieńczonym roztworem fosforanu sody. Już w części pierw-

szej podaliśmy skrócony przegląd doświadczeń Eichhorna, który na sproszkowane zeolity działał roztworami niektórych soli alkalicznych i spostrzegł przytem podstawianie się alkali za zasady, wchodzące w skład tych podwójnych krzemianów. Podobnie czynne zachowanie się dostrzegłem na fosforanie sody odnośnie do gliny, tylko prawdopodobnie nie miało tu miejsca podstawienie dla utworzenia jakiegoś bardziej skomplikowanego związku, lecz rozkład podwójny.

25 g gliny białej oblałem 100 cent. kub. roztworu, w którym znajdowało się kwasu 0·984 i potażu 1·21; po 48 godzinach znalazłem, że glina pochłonęła 0·1144 g kwasu. Dla przekonania się, czy kwas ten zatrzymany został jako sól alkaliczna, czy też utworzył z częściami gliny związek nierozpuszczalny, nalałem na glinę i płyn we flaszce pozostały 100 cent. kub. kwasu azotnego; po 24 godzinach zetknięcia ciecz zlałem i oprócz kwasu fosfornego i potażu znalazłem w niej jeszcze krzemionkę i glinkę, z których drugą ilościowo oznaczyłem na 0·182 g.

Ponieważ ta sama glina ługowana już była kwasem przed użyciem, nie zawierała więc części wolnych takich, z któremiby kwas fosforny łączyć się mógł bezpośrednio; te wytworzone zostały dopiero pod wpływem użytej soli alkalicznej.

Natura zaszłej tu reakcji wyjaśnia się tem, że w roztworze soli, nalanym na glinę, znalazłem krzemionkę; glinka zaś przeszła w roztwór dopiero po ługowaniu kwasem; jasną więc jest rzeczą, iż utworzył się krzemian rozpuszczalny potażu i fosforan glinki, chociaż obok nich mogły powstać jeszcze takie połączenia, o jakich Way wspomina [1].

Ponieważ mogła się wyrodzić wątpliwość, czy znaleziona glinka nie znajdowała się w stanie wolnym w glinie, chociaż ta była poprzednio digerowana z kwasem solnym, ługowałem glinę kwasem azotnym (przed traktowaniem solą fosforną) i wprawdzie znalazłem glinkę, ale w ilościach tak małych, że te pod wagę

[1] O podwójnych rozkładach, jakie zachodzą między solami stałemi i przesiąkającemi grunta w postaci roztworów, liczne w dziełach, o chemji rolniczej traktujących, znajdujemy wzmianki. Wyczerpujący zbiór faktów tego rodzaju mieści się w »Chemie der Ackerkrume« Muldera (1. B., s. 304). Że jednakowoż o działaniu fosforanów alkalicznych na krzemiany podwójne niema tam mowy, postrzeżenia więc moje podaję tutaj jako jednę z podstaw, na której się opiera wyjaśnienie natury absorbcji.

brane być nie mogły; pomimo tego w rezultatach wprowadzałem odpowiednią poprawkę.

Doświadczenie powyższe powtarzałem z gliną, nieługowaną kwasem (t. j. naturalną), a od ilości znalezionej wtedy glinki odejmowałem tę, jaka w stanie wolnym w glinie się znajduje; ostateczny rezultat był ten, co poprzednio.

K. Ponieważ Way i Liebig twierdzą, jakoby wszystek kwas fosforny mógł być przez ziemię zatrzymany, a Brustlejn znów znalazł przy solach amonji, że ślady tego alkali zawsze znajdują się w roztworze, przechodzącym przez ziemię, postanowiłem sprawdzić, czy wypadki Brustlejna nie dadzą się rozciągnąć do kwasu fosfornego.

I rzeczywiście doświadczenia moje, które poniżej podaję, jak mi się zdaje, wątpić nie pozwalają, że tak Way jak i Liebig nie mają słuszności i że kwas fosforny *nigdy* wszystek z płynu przez ziemię zabrany być nie może; że prawdopodobnie istnieje jakiś punkt równowagi między siłą przyciągania ziemi i rozpuszczalną wody — punkt, poza który absorbcja nie przekracza.

Próba 1-sza. 48 g czarnoziemu A oblałem małą objętością (40 cent. kub.) fosforanu sody takiego stężenia, że na 15.000 wag wody przypadała 1 waga bezwodnika fosfornego; po 24 godzinach odfiltrowałem płynu, co się dało, i próbowałem trzema odczynnikami, t. j. octanem uranu, siarczanem magnezji wobec amonji i wreszcie molibdenianem amonji; wszystkie one wykazały obecność kwasu fosfornego, pomimo że płyn pierwotny był tak rozcieńczony i tak mało użyłem go w stosunku do ziemi, że zaledwo parę centymetrów odcedzić się dało.

Próba 2-ga. Ten sam roztwór stał przez 4 dni nalany na ił wiślany; wypadek był ten sam co poprzednio.

Próba 3-cia. Ziemia wapienna zachowała się podobnie.

Próba 4-ta. Chcąc zyskać pewność co do wyników doświadczeń poprzednich, zmieniłem sposób postępowania, a mianowicie: napełniłem iłem wiślanym klosz, opatrzony otworem na środku dna wklęsłego, wysoki na 12 cali, którego objętość wynosiła przeszło dwa litry; na tę ziemię nalałem 700 cent. kub. roztworu, w którym znajdowało się w rozpuszczeniu 0·03 bezwodnika fosfornego; płynu tego odciekło 200 cent. kub., które nalałem powtórnie na 150 g świeżej ziemi. Po kilku godzinach odcedziłem 80 cent. kub. cieczy, tę odparowałem do małej objętości i w niej

molibdenianem amonji wykryłem kwas fosforny. Dla zobaczenia, czy kwas tu znajdowany istnieje w połączeniu z sodą, czy też może pochodzi od rozpuszczającego się fosforanu wapna, płyn po odcedzeniu z ziemi odparowałem na kąpieli wodnej, osad otrzymany zwilżyłem kilkunastoma kroplami wody i przefiltrowałem; to powtórzyłem jeszcze dwa razy i wreszcie w roztworze znalazłem kwas fosforny, ale ani śladu wapna.

L. Ostatnie moje doświadczenie wyświetla, o ile mi się zdaje, naturę absorbcyjną ziemi odnośnie do kwasu fosfornego. Do postawienia wniosków w tym względzie przyszedłem następującą drogą: chciałem się mianowicie przekonać, czy raz zatrzymany kwas fosforny może być wyługowany wodą i do jakiego stopnia. Nalawszy ił wiślany, nasycony fosforanem sody (patrz dośw. C), 300 cent. kub. wody destylowanej, razem to wymieszałem i pozostawiłem na 24 godzin do odstania; po zlaniu płynu tenże odparowałem do małej objętości i zamianowałem kwas fosforny. Tak długo wskazaną tu drogą postępowałem, póki w cieczy odlewanej octan uranu dawał chociaż słaby osad; miało to miejsce przez ciąg pięciu nalań (t. j. przy użyciu 1·5 litra wody); później przy szóstem, siódmem i ósmem octan uranu nie dawał reakcji na kwas fosforny, chociaż molibdenjan amonji wykazywał jego ślady. Ślady te mogły być rzeczywiście cząstkami ługującego się fosforanu sody, a może też pochodziły od rozpuszczonego fosforanu wapna, gdyż małe ilości tej zasady były w płynie obecne.

Po	1-m	nalaniu	znalazłem	w płynie	0·0340	kwasu fosfornego
»	2-m	»	»	»	0·0114	» »
»	3-m	»	»	»	0·0042	» »
»	4-m	»	»	»	0·0011	» »
»	5-m	»	»	»	0·0004	» »
»	6-m	»	»	»	ślady	» »
»	7-m	»	»	»	ślady	» »

wyługowano razem 0·0511 kwasu fosfornego.

Ziemia ogółem zatrzymała 0·0580 (patrz dośw. C)
wyługowano 0·0511
pozostało w ziemi 0·0069

Przypuszczałem, opierając się na poprzednich doświadczeniach, że niewydobyty z gruntu kwas fosforny, został w nim zatrzymany, jako związek trudno w wodzie rozpuszczalny fosforanu

wapna, glinki i żelaza (ciał tych w użytej ziemi około 0·4 g się znajdowało). O słuszności mego mniemania przekonałem się, wytrawiwszy ziemię, już odmytą wodą, kwasem azotnym: roztwór stąd otrzymany dał bardzo obfity osad z molibdenjanem amonji. Tak więc, według wszelkiego prawdopodobieństwa, kwas fosforny, który był w ziemi zawarty w postaci fosforanu alkalicznego, został wyługowany, a pozostał ustalony do pewnego stopnia tylko ten, który nierozpuszczalne związki utworzył.

To doświadczenie naprowadza na wniosek, że absorbcja kwasu fosfornego jest dwojakiej natury: chemicznej i fizycznej. Faktem jest pochłonięcie 0·058 kwasu, z której to ilości 0·051 było z odmienną siłą zatrzymane, jak resztujące 0·0069.

Z dotychczasowych badaczy jedni przyjmowali, stosownie do swego widzenia rzeczy, absorbcję fizyczną, inni upatrywali wpływy chemicznej natury; żaden jednak z nich, jak widzieliśmy, nie uzasadnił swych mniemań tak, że kwestja ta została nierozstrzygniętą.

Opierając się na powyższych wypadkach, udowodniłem zatrzymywanie kwasu fosfornego, z chemicznej natury tego ciała wynikające, jednakowoż wykazałem, że przyciąganie to nie rozciągało się do całej ilości zatrzymywanego kwasu. Jeżeli więc kwas fosforny w znacznie większej części nie został związany chemicznie, jakimże sposobem zatrzymany został? — oto nie inaczej, jak z powodu powierzchniowego przyciągania, zachodzącego między ciałem rozpuszczonem i niektóremi składnikami gruntu. Od czego to fizyczne przyciąganie zależy, dotychczas nie wiadomo. Doświadczenia, które przeprowadziłem z węglem, tłuczonym pumeksem, szkłem i piaskiem kwarcowym z jednej strony, a roztworem fosforanu sody z drugiej, przekonały, że ta sól bynajmniej przez wyliczone ciała, mające powierzchnię zbitą, twardą i obtopioną, absorbowaną nie jest. Próchnica znów, przy której nie można przypuszczać tworzenia się jakichkolwiek związków nierozpuszczalnych, absorbowała sól z roztworu, i to w tem znaczniejszej ilości, im była w stanie większego podzielenia. Próchno dębowe budowy gąbczastej chłonęło fosforan sody daleko silniej, aniżeli próchnica wypłókana z ziemi ogrodowej. Ta ostatnia składała się ze zmienionych kawałków gałązek, liści i korzonków, a więc była dosyć zbita, czyli innemi słowy, jednakowa jej waga przedstawiała mniejszą powierzchnię zetknięcia, aniżeli to miało miejsce przy próchnie dębowem.

Tak wielka różnica w sile absorbcyjnej (patrz dośw. G) dwóch odmian próchnicy, które zresztą mało się różnią pod względem chemicznego składu, może tylko wpływać na potwierdzenie mniemania o istnieniu absorbcji fizycznej.

Streszczam rezultaty moich postrzeżeń w następujących twierdzeniach:

1. Jeżeli nastąpi zetknięcie ziemi ornej z roztworem fosforanu alkalicznego, to część kwasu fosfornego zostanie przez ziemię zatrzymana.

2. Kwas fosforny z równą łatwością absorbowany jest z fosforanu sody jak z fosforanu potażu.

3. Jakkolwiek rozcieńczonym byłby roztwór soli i jakikolwiek byłby stosunek jego do ziemi, nigdy kwas fosforny w całości zatrzymanym nie jest.

4. Ze wzrostem procentowości piasku (krzemionkowego) siła absorbcyjna odnośnie do kwasu fosfornego zmniejsza się, a ze wzrostem procentowości wapna, gliny, glinki i materyj próchnicowych — rośnie.

5. Z powiększeniem się czasu zetknięcia roztworu z ziemią absorbcja nieco wzrasta, jednakowoż to prawo stosuje się tylko do roztworów rozcieńczonych.

6. W miarę zwiększania się stężenia płynu absorbcja się zwiększa, ale wolniej, niż stężenie roztworu.

7. Woda ługuje zabsorbowany kwas fosforny tylko do pewnego punktu, poza którym ługowanie prawie ustaje.

8. Fosforan alkaliczny przy zetknięciu z gruntem nie zostaje zatrzymanym jako taki, lecz ulega po części rozkładowi. Rozkład spowodowanym jest obecnością węglanu i siarczanu wapna, glinki i wodanu tlennika żelaza, wreszcie krzemianu glinki.

9. Absorbcja kwasu fosfornego w gruncie jest dwojaka: chemiczna i fizyczna, t. j. następuje wskutek tworzenia się związków nierozpuszczalnych i powierzchniowego przyciągania, a stosownie do natury ziemi raz jedna, to znów druga przeważa.

CZĘŚĆ III.

Znaczenie fizjologiczne własności absorbcyjnej ziemi ornej.

Dostrzeżenie absorbcyjnej własności zrodziło kwestję, w jaki mianowicie sposób rośliny czerpią pożywienie z ziemi, skoro to

w wodzie deszczowej w bardzo małej tylko rozpuszcza się ilości. Dawniej pytania tego nie zadawano sobie wcale, bo najprostszą wydawało się rzeczą, że wilgoć, która stale ziemię przejmuje, rozpuszcza materje roślinom potrzebne i wraz z niemi jest przez rośliny pochłanianą. Teraz jednak niektórzy naturaliści twierdzić zaczynają, że woda sama przez się nie jest w stanie rozpuścić tyle soli mineralnych, ile ich do wzrostu roślin potrzeba, lecz że do tego współudział korzeni jest rzeczą nieodzowną.

Tak np. Liebig mówi[1]: »*Es muss in diesem Falle die Aufnahme derselben erfolgen, durch eine in den Wurzeln der Pflanzen thätige, mitwirkende Ursache, wodurch das die Wurzeln umgebende Wasser, das Vermögen erst empfängt gewisse Mineralbestandtheile zu lösen, die es für sich allein nicht auflöst*«, a gdzieindziej[2]: »*Die Wiesen und wildwachsenden Pflanzen empfangen aber keinen Dünger, und so wahrscheinlich es auch erscheint, dass auch diese ihre unverbrennlichen Bestandtheile nicht aus einer Lösung derselben empfangen, welche den Boden durchdringt, sondern dass ihre Wurzeln, wie die der Culturgewächsen, diese Nahrungsmittel direct den Theilen des Bodens entziehen müssen*«, albo znowu[3]: »*Es ist wahrscheinlich, dass die grösse Anzahl der Culturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direct von der Ackerkrume zu empfangen, und dass ihr Bestehen gefährdet wird, dass sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandtheile in einer Lösung zugeführt werden*«. W innem swem dziele tak się wyraża[4]: »*daraus folgt, da nur Wasser, Boden und Pflanze in Betracht kommen können, dass das directe Auflösungsvermögen des Wassers für Kali, bedeutungslos für die Pflanze ist, und dass die Pflanze selbst unter Mitwirkung des Wassers, das ihr nothwendige Kali auflöslich haben muss*«.

Z tych kilku zdań Liebiga, dosłownie przytoczonych, pokazuje się, że badacz ten przyjmuje działanie wody samo przez się za niewystarczające do rozpuszczania materyj mineralnych i uznaje współudział korzeni za konieczny czynnik. W jaki sposób to następuje, Liebig nie objaśnia wcale, owszem, sam wyznaje, że zrobienie sobie dokładnego w tym względzie wyobrażenia nader jest

[1] Ann. d. Chem. u. Phm. B. 105, s. 113.
[2] Tamże, s. 117.
[3] Tamże, s. 139.
[4] Die Chemie (Liebiga) 2 T., s. 110 i 111.

trudne[1]: »*es ist sehr schwer sich eine Vorstellung zu machen, in welcher Weise die Pflanzen mitwirken um die Auflösung der Mineralbestandtheile zu bewerkstelligen*«, a nieco niżej: »*die Schwierigkeit der Erklärung darf zunächst nicht abhalten, die Thatsachen an sich nach allen Richtungen hin festzustellen, um den Umfang ihres Einflusses zu ermitteln*«.

Bez wątpienia, jeżeli fakt jaki stoi na niezachwianych podstawach, jeżeli doświadczenia wyraźnie go wskazują, to przyjąć i uznać go należy bez względu na to, czy sobie z niego zdać sprawę umiemy, czy nie. Ale jeżeli podstawy, na których się opiera, są wątpliwe, jeżeli rozumowanie, które do ustalenia go prowadzi, nie odpowiada wymaganiom ściśle umiejętnej metody, to mimowoli budzi się podejrzenie, czy rezultaty, do których ono wiedzie, są bezwarunkowo pewne.

Rozbierzmy tedy zasady, na jakich opiera się twierdzenie Liebiga.

Analizy wód drenowych i lizymetrowych, wykonane przez Grahama, Millera, Zoellera, Krockera i innych, a które Liebig za osnowę do swego rozumowania przyjmuje, okazały, że sole mineralne, stanowiące istotną część pożywienia roślin, w nieznacznej tylko ilości znajdują się w roztworze. Biorąc pod uwagę te rozbiory, Liebig oblicza, że gdyby $^1/_3$ całej wody deszczowej, spadającej w ciągu miesięcy najsilniejszej wegetacji, była przez rośliny takie, jak np. kartofle lub buraki, pochłonięta, to jeszcze nie wprowadziłaby w nie jednego funta potażu na powierzchni hektara, kiedy tymczasem zbiór kartofli z tej samej przestrzeni ziemi zabiera około 200, a zbiór buraków około 400 f. tegoż alkali.

Z tego obliczenia wydaje się Liebigowi być rzeczą niewątpliwą, że bez współudziału roślin woda nie jest w stanie rozpuścić takiej ilości potażu, jakiej one potrzebują.

Wniosek ten byłby słuszny jedynie wtedy, gdyby dowiedzionem było, że woda, którą pochłaniają rośliny, zawiera takie same ilości ciał, jakie znajdowano w odpływach drenowych. Tymczasem przeciwko temu twierdzeniu wiele będzie można zarzucić, opierając się mianowicie na następujących (z części 2-giej wziętych) faktach:

[1] An. B. 105, s. 139.

A. Ilość ługującego się potażu nie jest proporcjonalną do objętości użytej wody, ale stosunkowo większą przy mniejszej jej objętości, niż przy większej.

B. Im czas zetknięcia się wody z ziemią jest dłuższy, tem ilość wyługowanego potażu jest większa.

Opierając się na tych dwóch danych, wnosić możemy, że ta, stosunkowo niewielka ilość wody, jaka stale wilgotność ziemi utrzymuje, zawiera nierównie więcej rozpuszczonych soli mineralnych, aniżeli woda drenowa, która w najnieprzyjaźniejszych do rozpuszczania znajduje się warunkach. Albowiem:

1) Woda w drenach zbiera się tylko wtedy, gdy deszcz przesyci ziemię wilgocią. Grunt wówczas znajduje się w zetknięciu ze znaczniejszą objętością płynu, a tem samem (według faktu pierwszego, na którym się opieramy) danej jej objętości odstąpić musi nierównie mniej soli mineralnych, aniżeli przy zwykłych warunkach wilgotności.

2) Woda drenowa dotyka ziemi przez czas krótki, tem samem (według B) małą tylko ilość soli rozpuścić jest w stanie.

Zupełnie inaczej rzecz się ma z ową wilgocią, która jest przez rośliny wsysana:

1. znajduje się ona w bardzo małej objętości względnie do ilości ziemi, a przytem

2. zostaje w ścisłem zetknięciu z gruntem, bo jest przez niego niejako tak samo absorbowaną, jak inne pokarmy roślinne. Obydwa te warunki korzystnie wpływają na nasycenie cieczy rozpuszczalnemi ciałami.

Obliczenia więc Liebiga podług powyższego na mylnem opierają się przypuszczeniu[1].

[1] Do jakich rezultatów doprowadza bezkrytyczne przyjęcie teorji Liebiga, za przykład służyć może nielogiczność, jaką popełnił Schütze (Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und der Ertragsfähigkeit des Bodens, Ann. d. Ch. u. Pharm. VI Sup. B. 1868, 34, s. 345). Mówi on, że jedno cięcie lasu sosnowego przy stoletniej kolei zabiera z morga 1 centnar kwasu fosfornego. Według obliczeń Liebiga powierzchnia korzeni sosen na morgu rosnących tylko z $^1/_{100}$ ziemi rodzajnej pozostaje w zetknięciu; dla dostarczenia więc tego 1 cent. kub. kwasu potrzeba, żeby grunt zawierał go 100 razy więcej, t. j. 100 cent. kub., bo jak wiadomo, mówi Schütze: »pokarmy roślin za nieruchome uważać należy«. Tymczasem ziemia leśna 2-ej i 3-ej klasy zawiera na morgu do głębokości, jakiej sięgają korzenie roślin, 50 cent. kub. kwasu fosfornego. Stąd Schütze wnioskuje, że nastąpić tu musi ogło-

Dedukcyjne wywody z pojęcia, jakie sobie o własności absorbcyjnej zrobić możemy, również nie wypadają korzystniej dla tej nowej teorji.

Jaką jest natura tej własności odnośnie do alkaljów, tego nie wiemy, w każdym jednak razie musi być:

1) albo wyłącznie chemiczna,
2) » wyłącznie fizyczna,
3) » fizyczna i chemiczna razem.

Rozbierzmy wnioski, jakie płyną z każdej z tych trzech możliwości z osobna:

1. *Jeżeli własność absorbcyjna zależy wyłącznie od przyczyn chemicznych*, to uważać ją musimy jako wynik tworzenia się związków nierozpuszczalnych ciała chłonionego. We względzie ługowania tego ciała wodą można zrobić dwa przypuszczenia: albo

a) związki, tworzące się przy absorbcji wprost rozpuszczają się w wodzie i jako takie zostają przez rośliny zaasymilowane,

b) albo też ulegają powolnemu rozkładowi i dopiero produkta rozkładu służą do użytku roślinom.

Wyłączne przyjęcie pierwszego przypuszczenia jest rzeczywiście w sprzeczności z faktami, na których oparliśmy krytykę teorji Liebiga, ale za to drugie jest z niemi w zupełnej zgodzie.

Gdyby związki, przy absorbcji powstające, rozpuszczały się w wodzie i tylko dla trudnej roztwarzalności ługowane z ziemi być nie mogły, to rzeczywiście nie istniałby żaden widoczny powód, dla któregoby rozpuszczalność ich nie miała być proporcjonalną do ilości działającej wody; znakomity wpływ czasu na ługowanie trudnyby był do wyjaśnienia, wody drenowe w tym razie służyćby mogły za miarę w ocenianiu składu chemicznego wilgoci, stale utrzymywanej przez ziemię, a rozumowania Liebiga byłyby słuszne. Ale zupełnie co innego ma miejsce przy przyjęciu drugiego zdania, a mianowicie: że związki, których tworzenie się jest przyczyną absorbcji, doznają pod wpływem wody i powietrza powolnego rozkładu i że dopiero produkta tego działania

dzenie drzewa (Verhungerung)? Ależ w zebranem drzewie znajdował się 1 cent. kub. kwasu, skądże więc sosny tę ilość zaczerpnęły, jeżeli jej ziemia nie była w stanie dostarczyć? Jedno z dwojga przypuścić musimy, że albo obliczenia są fałszywe, albo zdanie o nieruchomości pokarmów roślinnych błędne.

roztwarzają się w wodzie i wraz z nią przechodzą do roślin. Z przyjęciem takiego przypuszczenia zgadzają się wszystkie obserwowane fakta, a krytyka teorji Liebiga znajduje tu racjonalne podstawy.

Że ilość alkaljów, jakie się w wodzie rozpuszczają, od jej objętości wcale nie zależy — jest rzeczą zupełnie naturalną, bo podwójna ilość wody nigdy nie może przecie sprowadzić dwa razy większego rozkładu owych związków; tego żadne naturalne prawa nie wymagają. Że jednak ilość rozkładającego się ciała zależy do pewnego stopnia od objętości wody i to tłumaczy się z łatwością. Gdy bowiem rozkład nastąpi o tyle, że płyn, otaczający cząstkę ziemi, zawiera już pewną ilość rozpuszczonego związku, dalsze działanie jest utrudnione; woda z mniejszą już na ciało wpływa energją, a przytem reakcje przeciwne rozkładowi mogłyby wtedy nastąpić. Rozkład więc zostaje na chwilę wstrzymany, gdy jednak korzenie roślin pochłoną już płyn niejako nasycony, gdy nadto ciecz ta świeżą wodą zastąpioną zostanie, następuje zaraz możność przedłużania się procesu.

Wpływ czasu znajduje tu również swoje usprawiedliwienie. Im dłużej woda w zetknięciu z ziemią pozostaje, im dłużej na nią oddziaływa, tem też silniej nasycić się może materjami mineralnemi. Wobec tego przypuszczenia zupełnie dziwić nas nie może, że wody drenowe i lisymetrowe tak mało stosunkowo potażu i innych pokarmów roślinnych zawierają. Rozkład, jaki nastąpił w czasie zetknięcia z ziemią, nie mógł być do ilości wody proporcjonalny, a nawet był utrudniony przez brak powietrza; czas zetknięcia był znów nadzwyczaj krótki, bo gdy grunt raz nasyci się wodą, to nadmiar jej szybko już przecieka. To też woda, w podłoże przesiąkająca (jaką jest np. drenowa), mogła rozpuścić tylko tę ilość soli mineralnych, która znajdowała się w roztworze wilgoci ziemnej, albo niewiele tylko od niej większą.

2. *Jeżeli własność absorbcyjna jest wyłącznie fizycznej natury.* Wystawmy sobie cząstkę ziemi *a*, na którą oddziaływa roztwór ciała *b*, to w tym przypadku dadzą się wyróżnić 4 przyciągania:

1) między *a* i *b*,
2) między *a* i wodą,
3) między wodą pochłoniętą i *b*,
4) między wodą pozostałą i *b*.

Skutkiem działania siły pierwszej cząstka *a* okryje się warstewką płynu, który stanowić będzie dla niej rodzaj osłonki: a) Jeżeli przyciąganie między *a* i *b* jest mniejsze, aniżeli między *a* i wodą, to płyn odciekający stałby się gęstszy od osłonek. b) W razie, gdy atrakcja *a* do *b* jest taka sama, jak *a* do wody, to grunt będzie w zetknięciu z warstwami płynu równego z całym roztworem stężenia. c) Gdy wreszcie przyciąganie *a* do *b* jest silniejsze, jak *a* do wody, to cząstka *a* okryje się osłonką roztworu gęstszego, aniżeli pozostały, a warstewki tej powłoki stawać się będą coraz rzadszemi, w miarę położenia swego od środka ku powierzchni. Owoż, jeżeli w gruncie następuje absorbcja (co np. dla alkali i kwasu fosfornego ma miejsce), to ma miejsce trzeci z wyliczonych przypadków.

Gdy wilgotność gruntu wzrasta nadmiernie, to jasnem jest, że nie ten roztwór ścieka, który się znajduje wewnątrz powłok, ale przeciwnie ten, który tworzy ich zewnętrzną osłonę.

Pobieranie roztworów przez korzenie roślin odbywa się przy współdziałaniu delikatnych komórek, które botanicy włoskami korzeniowemi nazywają (Wurzelhaare). Przyciąganie między ściankami tych włosków a roztworami spowodowywa dyfuzję. Ponieważ przyciąganie to nie jest jednakowe względem wszystkich ciał, stąd więc pochodzi, że woda, przez ścianki włosków przesiękająca, zawiera materje poprzednio w niej rozpuszczone w innym ilościowym stosunku, jak to miało miejsce w gruncie[1]. Przez tę różnicę wyjaśnia się po części[2] tak zwana siła wyboru (Wahlvermögen), roślinom właściwa. To np. tłumaczy, dlaczego w roślinach znajduje się mniej sody jak potażu, pomimo, że ostatni trudniej się ługuje.

Tak więc, włoski korzeniowe ściągają owe osłonki wodne, a wraz z niemi materje pożywne. Przywrócenie naruszonej tym sposobem równowagi wilgotności w gruncie powoduje prąd płynu, od cząstek ziemi bardziej oddalonych ku włoskom korzeniowym. Widzimy więc, że nie posługując się żadną tajemniczą siłą, którą

[1] Handbuch der Phisiologischen Botanik, herausgegeben von W. Hofmeister. 4 B. Phisiologie der Pflanzen von prof. J. Sachs. Leipzig 1865, s. 161.

[2] Mówimy »po części«, bo to nie jest rzeczą bezwzględną. Rośliny mogą pochłaniać nieużyteczne, a nawet szkodliwe dla siebie ciała, ale jeżeli ich tylko do swego wzrostu nie potrzebują, to takowe napowrót oddają ziemi za pośrednictwem korzeni.

Liebig korzeniom przypisuje, objaśnić można żywienie się roślin; określając zaś absorbcję jako własność wyłącznie fizyczną, łatwo wytłumaczyć, dlaczego odpływy drenowe nie mogą być brane za normę zgęszczenia roztworów, krążących wewnątrz ziemi.

3. *Jeżeli przyczyna absorbcji alkaljów jest mieszana, to jest chemiczna i fizyczna.* W tym razie część ciał pożywnych zostaje przez ziemię zatrzymana fizycznie, druga zaś wchodzi w połączenie nierozpuszczalne, będące przyczyną chemicznej absorbcji.

W miarę, jak rośliny zabierają alkalja fizycznie utrzymywane, następuje rozkład nierozpuszczalnych związków, a produkta tego działania przylegają mechanicznie do ziemi. Zatem znów idzie pochłanianie przez korzenie, rozkład i t. d.

Woda przy ulewnych deszczach nie może zabrać wiele alkali z części, fizycznie przez ziemię zabsorbowanych, a to z powodu przeważnego przyciągania ich przez ziemię; ze związków zaś nierozpuszczalnych nie bierze dlatego, że one same przez się rozkładowi nie ulegają.

To, co dotąd powiedzieliśmy, zdaje się wystarczać do wykazania, że teorja pobierania pokarmów przez rośliny, jaką wskutek odkrycia własności absorbcyjnej ziemi postawił Liebig, słuszną nie jest, a raczej jest zbyt jednostronną. Nie chcemy przeto rozumieć, aby wogóle korzenie nie wpływały na otaczające je cząstki ziemi; owszem, być może, że one z różnych powodów, jak np. przez kwaśne wydzieliny, ułatwiają rozpuszczanie się niektórych materyj (pod tym względem doświadczenia Sachsa[1] i Knopa zdają się nie pozostawiać wątpliwości). Usiłowaliśmy tylko wykazać, że zdania takiego, jak np. «*dass das directe Auflösungsvermögen des Wassers für Kali bedeutungslos für die Pflanze ist*«[2], w żaden sposób za prawdziwe przyjąć nie można.

W każdym razie własność absorbcyjną uważać musimy za regulatora pokarmów roślinnych; chroni ona korzenie zarówno od zbytniego napływu soli mineralnych, jak i od zupełnego ich braku. Bez niej powierzchnia globu inną od dzisiejszej miałaby postać[3].

[1] Str. 188 i następne w dziele Sachsa, powyżej cytowanem.

[2] Die Chemie etc. Liebiga, 2 T., s. 110.

[3] Doświadczenia robiliśmy w pracowni Chemji Technicznej b. Szkoły Głównej Warszawskiej w zimie r. 1868/9.

Description de nos expériences sur le pouvoir absorbant de la terre arable et revue des recherches sur ce sujet.

(Travail exécuté en commun avec Maximilien Dobrski[1]).
[Edition de la »Gazeta Rolnicza« (»Journal d'Agriculture«) Varsovie 1870].

Le fait que, lorsqu'elles n'ont pas été épuisées par l'intervention de l'homme, les couches superficielles du sol sont toujours plus riches en sels minéraux servant de nourriture aux plantes, que les couches du sous-sol, est notoire et généralement connu. Ce phénomène n'est possible qu'à condition que le sol dispose d'un pouvoir qui explique l'absorption et la rétention des sels en question, car s'il en était autrement, les eaux pluviales laveraient chaque parcelle soluble dans de l'eau et l'emporteraient à la profondeur où elles pénètrent elles-mêmes.

Depuis l'année 1836, on commença à s'occuper des manifestations de cette force, qu'étudièrent les auteurs suivants, dont nous donnons les noms d'après l'ordre chronologique de leurs recherches: Joh. Ph. Bronner, Thompson, Huxtable, Way, Eichhorn, Johnson, Liebig, Henneberg, Stohman, Peters, Brustlein et Gorup-Besanez.

Désirant présenter la question qui nous intéresse sous son aspect actuel, nous relaterons les faits observés par ces auteurs, puis nous nous entretiendrons des conclusions et des théories qu'ils ont tenté de développer en s'appuyant sur leurs recherches, enfin

[1] Le présent travail n'a été publié qu'en polonais, c'est pourquoi il est resté inconnu à l'étranger. Pour permettre aux lecteurs d'en connaître le sujet, nous donnons les principaux résultats auxquels aboutirent ses auteurs. (Note des éditeurs).

nous décrirons les résultats des expériences, par lesquelles nous avons tâché d'élargir les idées en rapport avec le pouvoir absorbant du sol.

Conformément à ce programme, la présente étude comprend les parties suivantes:

Première Partie
1. L'analyse des expériences de Bronner, de Huxtable et de Thompson
2. « « « « Way et d'Eichhorn
3. « « « « Liebig
4. « « « « Henneberg et Stohman
5. « « « « Brustlein
6. « « « « Gorup-Besanez
7. Les observations sur la dissolution des composants du sol dans l'eau pluviale.

Deuxième Partie
Nos expériences sur l'absorption
- de la potasse et de la soude (E. Godlewski) tirées des hydrates et des carbonates, des sulfates et des chlorures;
- de l'acide phosphorique, lorsque celui-ci est lié aux alcalis (M. Dobrski).

Troisième Partie. L'importance physiologique du pouvoir absorbant de la terre arable.

Deuxième Partie

Nos expériences sur le pouvoir absorbant du sol.

Nous avons fait des recherches sur les sols suivants:

A) terre noire de la commune de Klonów (district de Miechów, Pologne du Congrès);

B) terre noire de la commune de Hołowanieskie (district de Humań, gouvernement de Podolie);

C) sol calcaire de la commune de Marchocice (district de Miechów);

D) sol argileux de la commune de Marchocice;

E) glaise tirée de la Vistule;

F) sol sableux;

G) sable provenant des collines arides dans les environs de Varsovie.

I. Expériences sur l'absorption de la potasse et de la soude.

J'ai toujours appliqué dans mes expériences la méthode de Henneberg et de Brustlein, consistant à ajouter un volume déterminé de solution, de sel potassique ou sodique d'une certaine concentration, à une quantité de terre préalablement pesée. J'agitais ensuite le mélange et l'abandonnais jusqu'au lendemain, après quoi je décantais le liquide pour y doser les composants que contenait un volume donné, en particulier les substances qui s'y trouvaient avant d'y avoir introduit la terre. Après avoir calculé la quantité de ces composants pour le volume intégral du liquide, je pouvais me rendre compte de la diminution qu'avait subie la substance dissoute. Or la différence entre la quantité primitive de celle-ci et le contenu actuel, correspondait précisément à l'absorption.

Dans les recherches sur l'absorption de la soude, on se servait de solutions d'hydrate, de sulfate et de chlorure, contenant environ 2·5 g de soude anhydre, tandis que dans les expériences en rapport avec la potasse, on employait en dehors des sels analogues, également du carbonate de potasse.

Les concentrations des liquides potassiques étaient soit équivalentes, soit égales aux concentrations des solutions sodiques correspondantes. Ainsi, les liquides potassiques plus concentrés contenaient environ 3·65 g de potasse anhydre par litre et il y avait 2·5 g de cette substance dans le même volume des solutions plus diluées. Pour des raisons que nous apprendrons dans la suite, 25 g de terre correspondaient toujours à 200 cm^3 de solution.

En étudiant la façon dont se comporte la terre par rapport au carbonate de potasse, j'ai tâché de me rendre compte en même temps, dans quelle mesure la potasse absorbée par le sol pouvait en être lessivée par l'eau et dans quelles conditions ce lessivage devenait plus facile. En dehors des expériences sur des sols naturels, j'en ai fait d'autres sur des sols dont la composition avait été artificiellement modifiée, par le fait de leur enlever l'alumine, l'oxyde de fer et le carbonate de chaux, au moyen d'un lessivage avec de l'acide chlorhydrique, suivi d'un lavage. Enfin, j'ai étudié des sols qui avaient été lessivés et calcinés.

L'auteur décrit ensuite dans les détails ses expériences et donne de très nombreux résultats d'analyses. La description des recherches est suivie du résumé que voici:

1) L'absorption de la potasse et de la soude que la terre tire des solutions des composés de ces substances, est un fait avéré.

2) Tous les sols n'absorbent pas les alcalis avec la même force. Je n'ai pas réussi à définir plus exactement les causes qui déterminent les différences de cette force, mais on peut considérer comme certain que l'augmentation de la quantité de sable siliceux dans la terre, fait diminuer le pouvoir absorbant.

3) L'absorption dépend dans une très large mesure du rapport entre les quantités de terre et de liquide, à tel point qu'il peut arriver qu'une plus petite quantité de terre absorbe plus d'alcali du même volume de liquide, que ne le fait une quantité plus forte. C'est pourquoi, il faut toujours employer surabondamment du liquide, lorsqu'on veut être en présence de faits certains et comparables.

4) L'eau peut lessiver de nouveau la potasse, que contient une terre saturée de cet alcali.

5) La quantité de potasse lessivée n'est pas en raison directe de la quantité absorbée, vu qu'elle est relativement plus élevée quand il s'agit de plus petites quantités.

6) La quantité de potasse lessivée n'est pas en raison directe de la masse de l'eau employée à la fois au lessivage, car des volumes relativement plus faibles d'eau lessivent des quantités relativement plus fortes de cette substance.

7) La durée du contact de l'eau avec la terre qui contient la potasse absorbée, exerce une très forte influence sur la quantité de l'alcali lessivé, de sorte que la même quantité d'eau dissout plus de potasse absorbée pendant un temps plus long que pendant un temps plus court.

8) Les sulfates et les chlorures de potasse et de soude ne sont pas absorbés intégralement, vu qu'ils sont décomposés, de sorte que seule la base est retenue dans le sol, tandis que l'acide ne l'est pas du tout ou du moins en très petite quantité.

9) La décomposition des sulfates et des chlorures s'explique par l'action des carbonates des terres alcalines, surtout et presque exclusivement par celle du carbonate de chaux.

10) La coopération de la force absorbante, est indispensable pour assurer la décomposition, que le carbonate de chaux est incapable de déclancher par lui-même.

11) La quantité de sel décomposé est indépendante de la

quantité de carbonate de chaux que contient la terre, mais dépend exclusivement de la force absorbante dont celle-ci est douée, à condition toutefois que la quantité de ce carbonate ne soit pas inférieure à celle qui est nécessaire à opérer une décomposition correspondant à la force d'absorption.

12) La décomposition n'a lieu que dans la mesure où le carbonate d'alcali, formé à cette occasion, est absorbé; elle ne se produit absolument pas au-delà, et après avoir tiré le liquide de la terre, celui-ci est presque neutre, de sorte qu'il ne manifeste que de légères traces d'alcalinité.

13) Le sol privé de carbonate de chaux par l'action de l'acide chlorhydrique, ne perd pas nécessairement la faculté de décomposer le sulfate de potasse, mais en tout cas, il en dispose à un bien plus faible degré que le sol qui contient de cette substance. Néanmoins, si le pouvoir d'absorption est intense, la décomposition du sulfate de potasse se produit dans une certaine mesure; l'alcali est absorbé et le surplus d'acide libre reste dans la solution.

14) La potasse et la soude ne sont pas tirées avec la même facilité de tous leurs composés, car les hydrates et les carbonates cèdent plus facilement ces substances que les sulfates et les chlorures. Ce phénomène s'explique par l'influence qu'exerce la concentration du liquide sur l'absorption.

15) Le rapport entre les quantités de potasse et de soude, tirées par la même terre, de solutions de leurs hydrates d'une concentration égale, est presque constant dans les mêmes conditions et très rapproché du rapport d'équivalence.

16) Le rapport entre l'absorption de la potasse et de la soude tirées d'hydrates, lorsqu'on se sert d'un liquide d'une concentration équivalente, n'est que peu constant, et l'on voit la terre absorber plus de potasse que ne le réclamerait le rapport entre les équivalents.

17) Le rapport entre l'absorption de la potasse et de la soude, tirées de solutions de sulfates et de chlorures d'une concentration égale (relativement à KO et NaO), et à plus forte raison, d'une concentration équivalente, est moins constant que celui entre l'absorption agissant sur les hydrates. La potasse est plus fortement absorbée dans ces conditions qu'elle ne le serait si l'absorption se produisait conformément au rapport entre les équivalents.

18) Il n'est guère possible de définir avec certitude le caractère du pouvoir absorbant de la terre par rapport à la potasse et à la

soude, car les données relatives à cette question sont encore insuffisantes.

Je finis la description de mes expériences par le résumé que je viens de donner ci-dessus. Je ne prétend nullement qu'elles épuisent la question; bien au contraire, beaucoup de faits importants n'ont même pas été effleurés, p. ex. l'influence qu'exerce la concentration du liquide sur la quantité d'alcali retenue par la terre etc.; mais je n'avais pas la prétention de résoudre définitivement le problème étudié. Il faudrait pour y arriver au moins plusieurs années de recherches, d'autant plus que la question la plus importante, relative à l'explication des causes qui déterminent l'absorption, n'a pas encore été abordée et qu'elle offre un vaste champ d'investigation aux recherches futures.

II. De l'absorption de l'acide phosphorique des phosphates d'alcalis.

Les recherches sur la façon de se comporter de l'acide phosphorique dans le sol, lorsqu'on l'y introduit sous forme d'un composé soluble, m'ont permis de définir plus exactement la nature du pouvoir absorbant. Comme nous l'avons vu, cette tentative se heurtait à plus de difficultés, lorsqu'il s'agissait de recherches sur des substances douées d'une autre nature et d'autres propriétés chimiques.

Comme la façon de procéder dans mes expériences était analogue à la méthode appliquée dans les travaux précédents, je négligerai de décrire les détails, pour me borner aux faits les plus importants.

Après avoir décrit ses expériences, l'auteur résume comme suit les résultats obtenus:

1) Lorsque la terre arable est en contact avec la solution d'un phosphate d'alcali, une partie de l'acide phosphorique est retenue par le sol.

2) L'acide phosphorique est tout aussi facilement tiré du phosphate de soude que du phosphate de potasse.

3) Quelle que soit le degré de dilution de la solution du sel et quel que soit le rapport entre celle-ci et la terre, l'acide phosphorique n'est jamais intégralement retenu par le sol.

4) Plus le taux du sable siliceux est élevé pour la terre, plus la force d'absorption diminue pour l'acide phosphorique; en revanche

on la voit augmenter, à mesure que s'élève le taux de la chaux, de l'argile, de l'alumine et de l'humus.

5) Plus la durée du contact de la solution et de la terre se prolonge, plus on voit légèrement augmenter l'absorption. Cette loi n'est cependant applicable qu'aux solutions étendues.

6) Plus le liquide devient concentré, plus l'absorption est intense. Cet accroissement d'intensité est cependant plus lent que l'augmentation du degré de la concentration de la solution.

7) L'eau ne lessive l'acide phosphorique absorbé que jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle le lessivage est presque complètement arrêté.

8) Le phosphate d'alcali n'est pas retenu comme tel par la terre, lorsqu'il est en contact avec celle-ci, car il est en partie décomposé. Cette décompositon est attribuable au carbonate et au sulfate de chaux, à l'alumine, à l'oxyde ferrique hydraté, enfin au silicate d'alumine.

9) L'absorption de l'acide phosphorique par le sol est de deux espèces, dont l'une chimique, l'autre physique; en d'autres termes, elle a lieu grâce à la formation de composés insolubles et grâce à l'attraction superficielle. L'action de l'un ou de l'autre facteur l'emporte suivant la nature du sol.

Troisième Partie.

L'importance physiologique du pouvoir absorbant de la terre arable.

Les observations sur le pouvoir absorbant du sol firent surgir la question de savoir comment les plantes tirent leurs aliments de la terre, surtout que de très petites quantités de ceux-ci se dissolvent dans l'eau pluviale. On ne se posait en général pas cette question autrefois, car la supposition la plus plausible consistait à admettre que l'humidité qu'on trouve régulièrement dans le sol, dissout les substances nécessaires aux plantes et que celles-ci l'absorbent en même temps que ces matières. A présent, certains naturalistes commencent cependant à affirmer que l'eau est incapable en elle-même de dissoudre les quantités de sels minéraux nécessaires à la croissance des plantes et que la coopération des racines est indispensable pour atteindre ce résultat.

Voici p. ex. comment s'explique Liebig[1] sur ce sujet: »*Es muss*

[1] Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 105, p. 113.

in diesem Falle die Aufnahme derselben erfolgen, durch eine in den Wurzeln der Pflanzen thätige, mitwirkende Ursache, wodurch das die Wurzeln umgebende Wasser, das Vermögen erst empfängt, gewisse Mineralbestandtheile zu lösen, die es für sich allein nicht auflöst«. Il dit encore[1]: »*Die Wiesen und wildwachsenden Pflanzen empfangen aber keinen Dünger, und so wahrscheinlich es auch erscheint, dass auch diese ihre unverbrennlichen Bestandtheile nicht aus einer Lösung derselben empfangen, welche den Boden durchdringt, sondern dass ihre Wurzeln, wie die der Culturgewächse, diese Nahrungsmittel direct den Theilen des Bodens entziehen müssen«;* ou bien[2]: »*Es ist wahrscheinlich, dass die grösste Anzahl der Culturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direct von der Ackerkrume zu empfangen, und dass ihr Bestehen gefährdet wird, dass sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandtheile in einer Lösung zugeführt werden«.* Dans un autre ouvrage[3] nous le voyons dire: »*Daraus folgt, da nur Wasser, Boden und Pflanze in Betracht kommen können, dass das directe Auflösungvermögen des Wassers für Kali, bedeutungslos für die Pflanze ist, und dass die Pflanze selbst unter Mitwirkung des Wassers, das ihr nothwendige Kali auflöslich haben muss«.*

Il appert de ces passages que nous avons textuellement cité d'après Liebig, que suivant cet auteur l'eau ne suffit pas par elle-même à dissoudre les substances minérales et qu'il considère la coopération des racines comme indispensable. Liebig n'explique pas l'action de ce facteur, bien au contraire, il reconnaît lui-même qu'il est très difficile de se représenter exactement la façon dont il agit[4]: »*es ist sehr schwer sich eine Vorstellung zu machen, in welcher Weise die Pflanzen mitwirken um die Auflösung der Mineralbestandtheile zu bewerkstelligen«.* Un peu plus loin, il s'exprime dans ces termes: »*die Schwierigkeit der Erklärung darf zunächst nicht abhalten, die Thatsachen an sich nach allen Richtungen hin festzustellen um den Umfang ihres Einflusses zu ermitteln«.*

Si un fait pareil s'appuie sur des observations absolument exactes, si les expériences confirment nettement son existence, il faut certainement l'admettre comme tel et le tenir pour vrai, sans

[1] Ann. d. Chem. u. Pharm. B. 105 p. 117.
[2] Ibid. p. 139.
[3] Die Chemie. T. 2, p. 110 et 111.
[4] An. B. 105, p. 139.

égard des difficultés que peut offrir son explication. Pourtant, si les données sur lesquelles s'appuie l'affirmation de ce fait sont douteuses, si le raisonnement par lequel nous établissons sa réalité, ne répond pas aux postulats d'une méthode scientifique rigoureuse, nous voyons malgré nous surgir des doutes, si les conséquences qui en découlent sont absolument certaines.

Soumettons par conséquent à l'analyse critique les principes sur lesquels repose la thèse de Liebig.

Les analyses des eaux de drainage et des eaux du lysimètre, exécutées par Graham, Miller, Zoeller, Krocker et d'autres, sur lesquelles Liebig appuie son raisonnement, nous ont appris que les sels minéraux constituant la partie essentielle de l'alimentation des plantes, ne se trouvent qu'en petite quantité dans la solution. Liebig tient compte de ces analyses et calcule que si un tiers de toute l'eau pluviale tombée sur le sol pendant les mois correspondant à la végétation la plus intense, était absorbé par des plantes comme la betterave ou la pomme de terre, cette eau ne suffirait même pas à les pourvoir d'une livre de potasse par hectare, tandis que les pommes de terre récoltées dans la même étendue de terrain, en tirent environ 200 livres de cet alcali et la récolte de betteraves en renferme près de 400 livres.

Ce calcul paraît fournir à Liebig une preuve irréfutable que sans la coopération des plantes, l'eau est incapable de dissoudre la quantité de potasse dont elles ont besoin.

Cette conclusion ne serait juste qu'à condition de prouver que l'eau absorbée par les plantes contient les mêmes quantités de substances nutritives qu'on avait trouvées dans les eaux de drainage. On peut toutefois soulever de nombreuses objections contre cette affirmation, si l'on veut s'appuyer sur les faits suivants, que nous empruntons à la deuxième partie du présent travail:

A) la quantité de potasse lessivée n'est pas proportionnelle au volume de l'eau dont on s'est servi, car elle est relativement plus élevée lorsque ce volume est plus petit que quand il est plus grand;

B) plus le contact de l'eau avec le sol est long, plus on voit augmenter la quantité de potasse lessivée.

Nous pouvons conclure en nous appuyant sur ces deux données, que la quantité relativement faible d'eau qui entretient continuellement l'humidité du sol, contient incomparablement plus de sels

minéraux en solution, que l'eau de drainage qui offre les conditions les moins favorables à la dissolution de ces substances. En effet:

1) L'eau ne s'écoule dans les drains que quand la terre est saturée d'humidité par la pluie. Le sol est alors en contact avec un plus grand volume de liquide, aussi (d'accord avec la première donnée sur laquelle nous nous appuyons), doit-il céder à un certain volume d'eau, incomparablement moins de sels minéraux que dans des conditions ordinaires d'humidité.

2) L'eau de drainage n'est en contact avec le sol que pendant peu de temps, c'est pourquoi (d'accord avec B), elle n'est en état de dissoudre qu'une petite quantité de sels minéraux.

Il en est tout autrement de l'humidité absorbée par les plantes. En effet,

1) le volume de l'eau auquel elle correspond, est très faible par rapport à la quantité de terre, et puis,

2) cette eau constituant l'humidité, est en contact intime avec le sol, parce qu'elle est, pour ainsi dire, absorbée par celui-ci à l'égal des autres aliments dont se nourrissent les plantes. Ces deux conditions exercent une action favorable à la saturation du liquide par des substances solubles.

Les calculs de Liebig s'appuient par conséquent d'après ce qui précède sur des suppositions erronées[1].

Les raisonnements déductifs découlant de l'idée que nous pouvons nous faire du pouvoir absorbant, ne sont pas plus favorables à la nouvelle théorie.

[1] L'illogisme de l'opinion de Schütze (Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und der Ertragsfähigkeit des Bodens. Ann. d. Chem. und Pharm. VI, Sup. B. 1868, 34, p. 345) peuvent servir d'exemple des résultats auxquels peut mener la théorie de Liebig, lorsqu'on l'applique sans discernement. Schütze prétend qu'une coupe de forêt de pins, dont l'aménagement prévoit le defrichement annuel de la centième partie de son aire, tire du sol 1 quintal d'acide phosphorique pour une surface donnée. D'après les calculs de Liebig, la surface des racines des pins qui croissent sur la même surface de terrain, n'est en contact qu'avec 1/100 de terre fertile; par conséquent, pour fournir ce quintal d'acide phosphorique, il faudrait que le sol en contînt cent fois autant, c'est-à-dire 100 quintaux, car on sait, comme dit Schütze, qu'»il faut considérer les substances dont se nourrissent les plantes comme incapables de changer de place«. En attendant, la terre forestière de 2e et de 3e classe, contient pour la surface donnée 50 quintaux d'acide phosphorique, jusqu'au niveau où s'étendent les racines. Est-ce de ce fait que Schütze conclut que les arbres doivent dépérir d'inanition? (»Verhungerung«)

Nous ignorons le caractère de ce pouvoir par rapport aux alcalis, en tout cas il doit être de nature:

1) soit exclusivement chimique,

2) soit exclusivement physique,

3) soit chimique et physique à la fois.

Passons à l'analyse des conclusions qu'entraîne chacune de ces trois possibilités.

1) *Si le pouvoir absorbant dépend uniquement de facteurs chimiques*, nous devons le considérer comme le résultat de la formation de composés insolubles de la substance absorbée. En ce qui concerne le lessivage de cette substance par l'eau, il est possible de faire les deux suppositions suivantes:

a) ou bien les composés formés à l'occasion de l'absorption sont directement dissous dans l'eau, pour être assimilés comme tels par les plantes;

b) ou bien il subissent une décomposition lente et ce ne sont que les produits de celle-ci qui servent d'aliments aux plantes.

Si l'on admet exclusivement la première supposition, on est effectivement en contradiction avec les faits sur lesquels s'appuie notre critique de la théorie de Liebig; en revanche, la seconde s'accorde parfaitement avec eux.

Si les composés, formés du fait de l'absorption, étaient solubles dans l'eau et ne pouvaient être lessivés du sol qu'à cause de leur faible degré de solubilité, il n'y aurait vraiment pas de raison pourquoi cette solubilité ne serait pas en raison directe de la quantité d'eau. L'influence considérable qu'exerce le temps sur le lessivage serait difficile à expliquer, les eaux de drainage pourraient servir dans ce cas-là de mesure permettant de connaître la composition chimique du liquide qui est à la base de l'humidité continuellement entretenue par la terre, et le raisonnement de Liebig serait juste. On se trouve cependant en présence d'un aspect tout autre de la question, lorsqu'on admet la seconde alternative, suivant laquelle les composés dont la formation explique

Mais il oublie que le bois fourni par la coupe contenait 1 quintal d'acide phosphorique; d'où les arbres ont-ils donc puisé cette quantité, si le sol n'était pas en état de la livrer? Nous sommes par conséquent en présence de deux alternatives: ou bien les calculs de Liebig sont inexacts, ou l'opinion, suivant laquelle les aliments dont se nourrissent les plantes sont incapables de changer de place, est fausse.

l'absorption, se décomposent lentement sous l'action de l'eau et de l'air et que ce ne sont que les produits de cette décomposition qui se dissolvent dans l'eau pour passer avec elle dans les plantes. Tous les faits observés s'accordent avec cette supposition et la critique de la théorie de Liebig repose ainsi sur des bases rationnelles.

Il est évident que la quantité d'alcalis dissous par l'eau est absolument indépendante de son volume, car une quantité d'eau deux fois aussi grande ne peut certes pas entraîner une décomposition deux fois plus forte de ces substances. Aucune loi de la nature ne réclame qu'il en soit ainsi. Néanmoins, on peut expliquer également sans difficulté que la quantité de la substance en train de se décomposer, dépend dans une certaine mesure du volume d'eau. En effet, lorsque la décomposition est assez avancée pour que le liquide entourant la parcelle de terre contienne déjà une certaine quantité du composé en solution, l'action dissolvante devient difficile; l'eau agit moins énergiquement sur la substance en question et les réactions opposées à la dissolution pourraient se produire dans ces conditions. La décomposition est donc arrêtée pour un instant, néanmoins, lorsque les racines des plantes ont absorbé le liquide pour ainsi dire saturé, puis lorsque celui-ci est remplacé par de l'eau fraîche, la durée du processus peut être prolongée.

L'influence du temps s'explique également dans ces conditions. Plus l'eau est longtemps en contact avec le sol, plus son action sur celui-ci se prolonge, plus elle peut être saturée de substances minérales. Si nous admettons cette supposition, nous ne saurions nous étonner de voir que les eaux de drainage et les eaux du lysimètre contiennent des quantités relativement si faibles de potasse et d'autres substances nécessaires aux plantes. La décomposition qui avait lieu pendant le contact avec la terre, ne pouvait pas être proportionnelle à la quantité d'eau; elle était même rendue difficile par suite du manque d'air. D'autre part, la durée du contact était très courte, car une fois que le sol est imprégné d'eau, l'excédent de celle-ci s'écoule rapidement. Aussi l'eau s'infiltrant dans le sous-sol (comme p. ex. l'eau de drainage), ne pouvait-elle dissoudre que la quantité de sels minéraux en solution dans l'eau constituant l'humidité de la terre, ou du moins une quantité pas très sensiblement supérieure.

2) *Admettons que le pouvoir absorbant soit exclusivement phy-*

sique. Examinons le cas d'une parcelle de terre *a*, sur laquelle agit une solution de la substance *b*. Nous pouvons distinguer alors quatre genres d'attractions:

une attraction entre *a* et *b*,
une autre entre *a* et l'eau,
une troisième entre l'eau absorbée et *b*, enfin,
une quatrième entre le reste de l'eau et *b*.

Par suite de l'action de la première attraction, la parcelle *a* s'entourera d'une fine couche de liquide, qui constituera pour elle une sorte d'enveloppe protectrice: a) si la force d'attraction entre *a* et *b* était moins forte qu'entre *a* et l'eau, le liquide qui s'écoule deviendrait plus concentré que les enveloppes; b) lorsque l'attraction entre *a* et *b* est la même que celle entre *a* et l'eau, le sol sera en contact avec des couches d'un liquide dont la concentration sera égale à celle de toute la solution; enfin c) lorsque l'attraction entre *a* et *b* est supérieure à celle entre *a* et l'eau, la parcelle *a* se couvrira d'une enveloppe de solution plus concentrée que le reste de celle-ci et les couches de cette enveloppe deviendrons de plus en plus diluées, à mesure qu'elles seront plus éloignées du centre et plus rapprochées de la périphérie. Or, si l'absorption se produit dans le sol (comme c'est p. ex. le cas pour les alcalis et l'acide phosphorique), on est en présence de la troisième possibilité prévue ci-dessus.

Lorsque l'humidité du sol augmente dans de très fortes proportions, il est clair que ce n'est pas la solution à l'intérieur des enveloppes qui s'écoule, mais bien celle qui forme leur couche extérieure.

L'absorption des solutions par les racines se produit avec le concours de cellules très délicates que les botanistes appellent »poils des radicelles« (»Wurzelhaare«). L'attraction entre les parois de ces poils et la solution est la cause de la diffusion. Comme cette attraction n'est pas la même par rapport à toutes les substances, il en résulte que l'eau qui pénètre à travers les parois des poils absorbants, contient les matières qui y'étaient préalablement dissoutes, dans une autre proportion que celle qu'on observe pour le sol[1]. Cette différence explique en partie[2] ce qu'on a appelé

[1] Handbuch der Physiologischen Botanik herausgegeben von W. Hofmeister. 4. B. Physiologie der Pflanzen von Prof. J. Sachs. Leipzig 1865, p. 161.

[2] Nous disons »en partie«, car il ne s'agit pas là d'un pouvoir absolu.

le pouvoir d'élection des plantes (»Wahlvermögen«). C'est ce pouvoir qui nous permet de comprendre p. ex., comment il se fait que les plantes contiennent moins de soude que de potasse, quoique cette dernière substance soit plus difficile à lessiver.

Ainsi les poils absorbants des radicelles absorbent ces enveloppes aqueuses et s'assimilent en même temps les substances nutritives. L'équilibre de l'humidité, troublé de cette façon dans le sol, est de nouveau rétabli par un courant de liquide partant des parcelles de terre plus éloignées, pour se diriger vers les poils absorbants.

Nous voyons par conséquent que sans faire intervenir la force mystérieuse que Liebig attribue aux racines, il est possible de se rendre compte de la nutrition des plantes. Si nous définissons l'absorption comme une propriété purement physique, nous arrivons à expliquer aisément, pourquoi les eaux de drainage ne sauraient être considérées comme mesure permettant d'établir la concentration des solutions en circulation dans le sol.

3. *Supposons que l'absorption des alcalis soit due à une cause mixte, chimique et physique à la fois.* S'il en est ainsi, une partie des substances nutritives est retenue dans le sol par des forces physiques, tandis que l'autre forme un composé insoluble, qui est la cause de l'absorption chimique.

A mesure que les plantes absorbent des alcalis retenus dans le sol par des forces physiques, on assiste à la désagrégation des composées insolubles et l'on voit les produits de cette action mécaniquement liés au sol. Il s'ensuit une absorption par les racines, une décomposition etc.

L'eau des averses est incapable d'emporter une grande partie de la quantité d'alcalis que le sol avait préalablement retenus physiquement, parce que ces substances sont fortement attirées par la terre; elle n'en enlève non plus pas beaucoup aux composés insolubles, vu qu'ils ne sont pas sujets en eux-mêmes à la décomposition.

Ce que nous venons de dire sur ce sujet paraît suffisant pour montrer que la théorie de l'assimilation des substances nutritives par les plantes, que Liebig a fondée à la suite de la découverte du pouvoir absorbant du sol, ne saurait être considérée comme

Les plantes peuvent absorber des substances qui leur sont inutiles, voire même nuisibles, toutefois si ces matières ne sont pas nécessaires à leur croissance, elles les cèdent à leur tour au sol par l'intermédiaire des racines.

exacte, ou du moins qu'elle ne tient compte que d'un côté de la question. Nous ne voulons pas dire par là, que les racines n'agissent pas en général sur les parcelles de terres dont elles sont entourées; bien au contraire, il se pourrait que par différents moyens, p. ex. par des sécrétions acides, elles facilitassent la dissolution de certaines substances (les expériences de Sachs et de Knop semblent ne pas permettre de doutes à cet égard), toutefois nous avons tâché de fournir la preuve que des affirmations dans le genre de celle qui soutient »*dass das directe Auflösungsvermögen des Wassers für Kali bedeutungslos für die Pflanze ist*«[1], ne sauraient dans aucun cas passer pour exactes.

Quoi qu'on en dise, nous devons considérer le pouvoir absorbant comme un régulateur de l'assimilation des substances nutritives par les plantes; en effet, il protège les racines contre un afflux surabondant de sels minéraux, comme il les empêche de souffrir du manque absolu de ces substances. Sans cette propriété, la surface du globe terrestre se présenterait sous un aspect différent de celui qu'elle a aujourd'hui[2].

[1] Liebig. Die Chemie etc. t. 2, p. 110.

[2] Nous avons exécuté nos expériences en hiver 1868/9 au laboratoire de Chimie Technique de l'ancienne École Centrale à Varsovie.

Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalt der Luft.

(Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg, Bd I, 1873, p. 343—370).

1. Historisches.

Die Frage, in wie weit die Assimilationsthätigkeit der Blätter von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängt, wurde bis jetzt nicht näher untersucht. Das Wenige, was mir hierüber in der Literatur bekannt geworden, möge hier eine kurze Besprechung finden.

Percival[1] beobachtete, dass eine Minze in einem mit Kohlensäure geschwängerten Luftstrome besser wuchs, als ein anderes dem Strome reiner Luft ausgesetztes Exemplar.

Saussure[2] suchte Percival's Resultate zu bestätigen und ausserdem die Frage zu lösen, welches Verhältniss der der Luft beigemengten Kohlensäure das günstigste für die Pflanze sei. Er liess gekeimte Erbsen gleichzeitig unter 8 mit Wasser gesperrten Recipienten vegetiren. In jedem Apparate wurden 3 Pflänzchen aufgestellt, und zwar so, dass nur die Wurzeln in das Wasser eintauchten. Das Volumen der Atmosphäre unter jedem Recipienten betrug 99 CC, die Zusammensetzung desselben war aber in jedem Apparate eine andere und zwar: einerseits reine Luft, anderseits Luft, welche 1/12, 1/8, 1/4, 1/2, 2/3, 3/4 Kohlensäure enthielt, und endlich reine Kohlensäure. Die Apparate wurden täglich 5 bis 6 Stunden den directen Sonnenstrahlen aus-

[1] Memoires de la Société de Manchester, vol. 2 — citirt nach Saussure, Rech. chim. s. la végét. 1804. S. 29.

[2] Recherches chimiques sur la végétation. Paris 1804, p. 29—34.

gesetzt. Gleichzeitig wurden 8 ähnliche Apparate beständig im schwachen diffusen Lichte gehalten. Es erwies sich, dass im Schatten auch die geringste Beimengung von Kohlensäure (hier 8%) zur atmosphärischen Luft schädlich auf die Vegetation einwirkte, und um so schädlicher, je grösser die beigegebene Menge war. Von den Pflanzen, welche insolirt wurden, gediehen die in einer Atmosphäre von 8% Kohlensäure wachsenden am besten, besser als die in reiner Luft, grössere Kohlensäuregehalte aber haben auch hier schädlich gewirkt. In reiner Kohlensäure, wie auch in der Atmosphäre von 75% und 66% Kohlensäuregehalt starben die Pflänzchen bald ab.

Diese Versuche sind insofern wichtig, als sie zeigen, dass grössere Quantitäten der der Luft beigemengten Kohlensäure schädlich auf die Vegetation einwirken, und was besonders hervorzuheben ist, und worauf wir noch später zurückkommen werden, diese nachtheilige Wirkung stärker im schwachen diffusen als im directen Sonnenlichte ist. Was nun die Beweiskraft für die durch geringere Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft stattfindende Begünstigung der Vegetation anbetrifft, so bleiben diese Versuche hinter dem Percival'schen zurück. Denn es ist selbstverständlich, dass unter einem geschlossenen Recipienten, wo kein Wiederersatz der verbrauchten Kohlensäure (wenn man von der Diffusion durch das sperrende Wasser absieht) möglich war, die Pflanzen aus Mangel an derselben litten, und es kann nicht Wunder nehmen, dass sie sich schwächer entwickelten, als die, welchen auch ein gewisses Quantum der Kohlensäure zur Verfügung stand.

Somit hat Saussure die gestellte Aufgabe nur zum Theil gelöst. Er hat nachgewiesen, dass eine Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft über 8% schädlich auf die Vegetation einwirkt, nicht aber, dass eine Steigerung von 1/20% (gewöhnliche Luft) bis 8% das Wachsthum begünstigt. In dieser letzten Hinsicht haben Percival's Versuche vor dem Saussure'schen den Vorzug, dass die Luft durch den Strom erneuert wurde, und somit der Wiederersatz der zersetzten Kohlensäure möglich war.

Saussure hat die Meinung ausgesprochen, dass die Kohlensäure nur dann für die Vegetation im Lichte nützlich ist, wenn die Atmosphäre gleichzeitig freien Sauerstoff enthält[1]. Diese

[1] Rech. chim. s. la vég. p. 33.

Angaben wurden von Boussingault geprüft. Er liess[1] verschiedene Blätter einerseits in reiner Kohlensäure, anderseits in Mischungen derselben mit verschiedenen indifferenten Gasen von der Sonne bescheinen und bestimmte die Menge der zersetzten Kohlensäure. Diese Experimente erwiesen, dass in reiner Kohlensäure unter dem gewöhnlichen Drucke die Sauerstoffausscheidung zwar nicht gänzlich aufgehoben, aber sehr gehemmt wird. Diese Hemmung ist aber keine Folge des Mangels an Sauerstoff, sondern sie rührt von dem zu starken Drucke der Kohlensäure her. In der That, wenn die Kohlensäure mit irgend einem indifferenten Gase gemengt war, sei es N, oder CO, C_2H_4 oder H, war die zersetzende Thätigkeit der Blätter eben so lebhaft, als wenn die Blätter in einer Mischung atmosphärischer Luft und Kohlensäure fungirten. Aehnlich wie die Vermischung mit einem indifferenten Gase, wirkt die Verminderung des Druckes. Auch reine Kohlensäure wird leicht durch die Blätter unter geringem Drucke zersetzt. Aus diesen Experimenten Boussingault's kann man schon schliessen, dass eine Steigerung der partiären Pressung der Kohlensäure über eine gewisse Grenze schädlich auf die zersetzende Thätigkeit der Blätter einwirkt. Diese Grenze hat, so weit mir wenigstens bekannt, weder Boussingault noch irgend Jemand zu bestimmen gesucht. Noch weniger hat man sich mit der Frage beschäftigt, ob und in wie weit eine geringere Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft über den gewöhnlichen (1/20%) von Einfluss auf die zersetzende Thätigkeit der Blätter ist.

Nur Pfeffer[2] hat sich bei seiner Arbeit: »Ueber die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen« die Frage vorgelegt, »ob gleiche Mengen Kohlensäure zersetzt werden, wenn der Luft etwa 1 oder 12 Procent dieses Gases beigemengt sind«. Er hat zwei Versuche angestellt, bei dem ersten wurden zwei, bei dem zweiten drei Blätter von Prunus laurocerasus insolirt. Die Kohlensäuregehalte waren in erstem 8,7% und 39,2%, in zweitem Versuche 10,2%, 18,7% und 38,8%; die zersetzten Kohlensäuremengen im ersten 3,46 und 3,11 CC., im zweiten 3,30, 3,30 und 3,17. Diese Versuche zeigen, dass eine Steigerung des Kohlensäuregehalts der Luft von 8% auf 16%

[1] Comptes rendus 1865 T. 60, p. 872. Agronomie, chimie agricole et physiologie 1868. T. 4, p. 269.

[2] Arbeiten des botanischen Institutes zu Würzburg, Heft I. 1870, p. 33.

ohne merklichen Einfluss auf die Sauerstoffausscheidung der Blätter von Prunus laurocerasus ist, ausserhalb dieser Grenzen gestatten dieselben jedoch keinen Schluss.

Bei mir handelte es sich um die Feststellung der Frage, ob und wie weit eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft die Sauerstoffausscheidung begünstigt, und um eine annähernde Bestimmung der Grenze, wo sie dieselbe zu hemmen beginnt.

Die Beantwortung dieser Fragen ist auch, abgesehen von dem Interesse, welches sie an und für sich hat, für die Methode weiterer Untersuchungen über die Sauerstoffausscheidung von Wichtigkeit[1]. Leider erschöpfen meine Versuche, so zahlreich sie auch sind, das Thema nicht.

2. Methode und Fehlerquellen.

Meine Versuche wurden sämmtlich im letzten Sommersemester im botanischen Institut zu Würzburg ausgeführt. Ich arbeitete mit denselben Apparaten, welche Pfeffer bei seinen Untersuchungen vor zwei Jahren benutzt hatte. Die Methode war vollkommen dieselbe, welche Pfeffer in seiner oben erwähnten Arbeit ausführlich beschreibt; sämmtliche von ihm angegebenen Vorsichtmassregeln wurden von mir beobachtet. Da Pfeffer die Methode und die Prüfung derselben mit allen Einzelheiten beschrieben hat, so wäre es zwecklos, diese Beschreibung hier wieder zu geben; dagegen will ich aber auf einige Fehlerquellen hindeuten, welche bei meinen Untersuchungen in Betracht kamen.

1) Damit sich die Apparate möglichst schnell mit Wasserdämpfen sättigten, habe ich dieselben immer vor dem Gebrauche mit Wasser bespült und noch feucht zum Versuche benutzt. Das Gasvolumen wurde aber dadurch um den Raum der an den Wänden haftenden Feuchtigkeit zu hoch abgelesen. Da dieser Fehler, welcher etwa 0,2 C.C. betragen konnte, sich bei allen Ablesungen wiederholte, so habe ich ihn ausser Acht gelassen, nur wenn während der Insolation ein Theil dieser Feuchtigkeit sich auf der Quecksilberfläche ansammelte, wurde dieselbe von

[1] Pfeffer l. c., p. 35.

dem entsprechenden Gasvolumen abgezogen. Um den Fehler möglichst klein und gleichförmig zu machen, wurde für die grösste Reinlichkeit der Apparate gesorgt.

2) Die mögliche Ungleichheit des Einfallswinkels des Lichtes bei der Insolation, besonders bei directen Sonnenstrahlen, konnte von einem nicht unbedeutenden Einflusse auf die Resultate sein: Ein senkrecht beleuchtetes Blatt musste mehr Kohlensäure zersetzen als ein etwas schief zur Richtung der Sonnenstrahlen gestelltes. Daher wurde für die gleichmässige Exposition der Blätter Sorge getragen. Die Apparate wurden schief gestellt, damit das Licht beinahe senkrecht auf die Blätterfläche fiel. Trotzdem kam es manchmal vor, dass ein Blatt durch Veränderung der Gewebespannung in Folge der Verdunstung sich während der Insolation krümmte und seine ursprüngliche Stellung gegen das Licht veränderte. Die Fälle wurden notirt und sind bei den entsprechenden Versuchen angegeben.

3) Ein ganz unbedeutender Fehler, der, wie man sich leicht durch Rechnung überzeugen kann, nie über 0,03 C. C. steigen konnte, entstand dadurch, dass sämmtliche Reductionen nach Bunsen's Tafeln, denen der Ausdehnungscoëfficient für Gas 0,0036 zu Grunde liegt, ausgeführt wurden, ohne zu berücksichtigen, dass der Ausdehnungscoëfficient für Kohlensäure etwas grösser ist und zwar nach Regnault's umfangreichen Versuchen 0,00371 beträgt.

4) Die grösste und die am meisten störende Fehlerquelle liegt aber in der individuellen Verschiedenheit der Blätter, alle andere oben angegebenen können im Vergleich mit dieser als verschwindend klein angesehen werden. Sie ist die Ursache, dass man sich, um eine Thatsache zu constatiren, nur auf zahlreiche und nie auf ein einziges Experiment stützen darf. Trotz aller Mühe, ist es mir selten gelungen, vier ganz ähnliche und niemals vier ganz gleiche Blätter zu finden. Selbst im Farbentone hat jedes Blatt etwas eigenthümliches, was selbstverständlich auf seine Zersetzungskraft von Einfluss sein kann. Bei den Versuchen mit Oleanderblättern musste ich sogar oft darauf verzichten, vier hinreichend ähnliche Blätter zu finden, und habe dann nur die Zersetzungen von je zwei ähnlichen Blättern mit einander verglichen.

5) In der Zusammenstellung der Versuche ist das Durchschnittsprocent der Kohlensäure in der Luft während der Insolation an-

gegeben und dasselbe der Betrachtung des Versuchs zu Grunde gelegt. Schon dass man nur den procentischen Kohlensäuregehalt der Luft berücksichtigt, ist nicht ganz vorwurfsfrei. Es kommt hier nicht sowohl darauf an, wie viel % Kohlensäure die Luft enthält, als vielmehr, wie man aus Boussingault's Versuchen schliessen kann, welchen partiären Druck dieselbe ausübt. Streng genommen sollte man also von der mittleren partiären Pressung der Kohlensäure und nicht von der procentischen Zusammensetzung der Luft reden. Da sich aber der Druck jeden Augenblick mit der Temperatur ändert, so habe ich der Einfachheit wegen den Kohlensäuregehalt in % angegeben, dafür aber wurde gesorgt, dass die Quecksilbersäule während der Insolation in verschiedenen Röhren möglichst gleiche Höhe hatte. Sie betrug gewöhnlich etwa 3 bis 4 Centimeter, wenn die Temperatur ungefähr 20° C. war.

Ein anderer Fehler liegt in der Art der Berechnung des mittleren Kohlensäuregehaltes der Luft selbst. Als solcher wurde die Mittelzahl zwischen der Kohlensäuremenge am Anfang und Ende des Experiments betrachtet. Enthielt die Luft vor der Insolation 4%, nach der Insolation 2%, so hat man $\frac{4+2}{2} = 3\%$ als mittleren Kohlensäuregehalt angenommen. Diese Art der Berechnung wäre aber nur dann vollkommen genau, wenn während der ganzen Insolationsdauer die Kohlensäurezersetzung mit gleicher Schnelligkeit vor sich ginge. Bei grösseren Kohlensäuregehalten ist das wenigstens wahrscheinlich, bei kleineren aber entschieden unmöglich. Denn in kohlensäurereicher Luft geht die Sauerstoffausscheidung schneller vor sich als in kohlensäureärmerer (wenn nur der Kohlensäuregehalt in beiden Fällen nicht zu gross ist); daher muss auch der Zersetzungsprocess in einer nicht zu viel Kohlensäure enthaltenden Luft anfangs lebhafter sein, um sich dann mit sinkendem Kohlensäuregehalte immer mehr zu verlangsamen. Somit sinkt auch der Kohlensäuregehalt nicht gleichmässig, sondern immer langsamer, und aus diesem Grunde ist die Mittelzahl zwischen dem anfänglichen und endlichen Kohlensäuregehalt etwas höher als die Zahl, welche den wirklichen mittleren Kohlensäuregehalt während der ganzen Insolationsdauer ausdrückt.

Dieser Fehler ist um so grösser, je kleiner der Kohlensäure-

gehalt überhaupt und je länger die Insolationsdauer war. Um ihn möglichst klein zu machen, habe ich (besonders in der zweiten Versuchsreihe) die Expositionszeit so weit als möglich beschränkt. Im direkten Sonnenlichte dauerte die Insolation meist nur $^1/_2$ Stunde. Eine weitere Beschränkung dieser Zeit konnte ohne Einfluss auf die Genauigkeit der Resultate nicht stattfinden.

Meine Versuche wurden hauptsächlich nur mit Blättern von drei Pflanzenarten ausgeführt. Diese sind: Glyceria spectabilis, Typha latifolia und Nerium Oleander. Es ist selbstverständlich, dass ein ganzes Blatt von Glyceria oder Typha nicht verwendet werden konnte. Versuch II zeigt die Vertheilung der Zersetzungskraft in den verschiedenen Blatttheilen, und zwar, dass dieselbe in der Mitte am stärksten ist, und nach der Spitze einerseits und nach der Basis anderseits abnimmt. Deswegen wurde die Spitze des Blattes von etwa 7 C. Länge weggeschnitten und von dem daran stossenden Theile Stücke von etwa 10 C. Länge zum Experimente verwendet.

Die Thatsache, dass eine mässige Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft auch eine lebhaftere Thätigkeit der Blätter bewirkt, habe ich zuerst an Glyceria spectabilis gefunden. Um dieselbe mit aller Sicherheit zu constatieren, habe ich bei einigen Experimenten den möglichen Einfluss der individuellen Blätterverschiedenheiten folgender Weise zu eliminiren gesucht. Der Versuch III zeigt, dass selbst bei unähnlichen Blättern, denen verschiedene Zersetzungskräfte zukommen, die Vertheilung derselben auf der Blattfläche eine ähnliche ist, und zwar nimmt dieselbe immer von der Spitze gegen die Mitte des Blattes hin zu. In diesem Experimente ist die Mittelzahl zwischen der Menge der zersetzten Kohlensäure von dem oberen Theile des ersten und unteren des zweiten Blattes nahezu gleich der mittleren Zersetzung von dem oberen Theile des zweiten und dem unteren des ersten Blattes.

Nun habe ich bei meinen Versuchen mit Glyceria zwei möglichst ähnliche Blätter ausgesucht, die Spitze derselben weggeschnitten und aus dem daran stossenden Theile zwei Stücke aus jedem Blatte zum Experimente gebraucht. Der obere Theil des einen und der untere des zweiten Blattes waren in einer kohlensäurereicheren, der obere des zweiten und der untere des ersten Blattes in einer kohlensäureärmeren Atmosphäre insolirt, und wur-

den dann Mittelzahlen zwischen den von den beiden ersten und den beiden letzten Blattstücken zersetzten Kohlensäuremengen mit einander verglichen. Durch dieses Verfahren wurde der störende Einfluss der Blattverschiedenheiten wenigstens zum Theil eliminirt, und die Unterschiede konnten fast ausschliesslich nur von einem gleichen Kohlensäuregehalte der Luft herrühren.

3. Zusammenstellung und Betrachtung der Versuche.

Jeder Versuch ist in einer besonderen kleinen Tabelle dargestellt. Es sind hier angegeben: das Volumen und die Fläche jedes Blattes, das absolute Gasvolumen und die Zusammensetzung desselben vor und nach der Exposition, die mittlere Kohlensäuremenge der Luft in %, die absolute Menge, welche nach der Berechnung von 1 Quadrat-Decimeter in 1 Stunde zersetzt wurde, und endlich die Differenzen der Volumina vor und nach der Exposition.

Erste Versuchsreihe:

Mit *Glyceria spectabilis.*

Versuch I. 28 Mai.

Spitzen von 4 ähnlichen Blättern. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Der Himmel mit weissen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur dann und wann brach. Temp. 19—23° C.

N^r	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1		31,97	74,75= 7,1 +67,65	75,32= 1,41+73,91	5,7	5,69	5,93	0,57
2		29,26	76,68=11,31+65,37	77,09= 3,42+73,67	9,5	7,89	8,98	0,41
3		29,88	76,18= 5,92+70,26	76,91= 1,3 +75,61	4,7	4,62	5,16	0,73
4		30,06	74,83=12,39+62,44	75,19= 5,02+70,17	11,5	7,37	8,17	0,36

Versuch II. 29 Mai.

Ein Blatt in vier Theile zerlegt: Nr. 1 die Spitze, Nr. 4 die Basis, Nr. 2 und 3 Mittelstücke. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Der Himmel wie im vorigen Versuche. Temp. 21—24° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,4	14,77	69,36= 8,32+61,04	69,65= 3,74+65,86	9,4	4,53	10,22	0,29
2	0,8	17,7	70,17= 8,62+61,55	70,55= 1,84+68,71	7,5	6,78	12,71	0,38
3	1,0	18,77	70,77= 8,96+61,81	71,13= 2,13+69,00	7,8	6,83	12,13	0,36
4	1,3	20,57	66,94= 7,52+59,42	67,51= 2,92+64,59	7,9	4,6	7,45	0,57

Versuch III. 30 Mai.

Von zwei ähnlichen Blättern wurden die äussersten Spitzen weggeschnitten, und dann zwei daran stossende Theile jedes Blattes zum Versuche genommen. Nr. 1 das obere, Nr. 2 das untere Stück des ersten, Nr. 3 das obere, Nr. 4 das untere Stück des zweiten Blattes. Exposition von 10 Uhr 45 Min. bis 1 Uhr 45 Min. Der Himmel war mit weissen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne oft brach. Temp. 22—28° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C.C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,4	18,41	72,53=10,35+62,18	72,91= 6,18+66,73	11,5	4,17	7,54	0,38
2	0,55	18,59	70,72=10,38+60,34	71,25= 4,86+66,39	10,7	5,52	9,84	0,53
3	0,45	18,89	73,97=10,62+63,35	74,27= 5,05+69,22	9,7	5,57	9,82	0,30
4	0,7	19,25	72,52=11,3 +61,22	73,11= 4,40+68,71	10,7	6,9	11,89	0,59

Mittelzahl der Kohlensäurezersetzung von Nr. 1 und 4—9,43 CC., der von Nr. 2 und 3—9,85 C. C. pro 1 Dm. Q. und in 1 Stunde.

Versuch IV. 31 Mai.

Stücke von zwei ähnlichen Blättern. Nr. 1 das obere, Nr. 2 das untere Stück des ersten, Nr. 3 das obere, Nr. 4 das untere Stück des zweiten Blattes. Exposition von 9 bis 12 Uhr. Während der ersten Stunde bewölkter Himmel, später fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 22—29° C. Nr. 1 und Nr. 2 haben sich während der Experimente ein Bischen vom Lichte abgedreht.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,4	16,30	69,80=13,14+56,76	70,13= 8,06+62,07	15,6	5,08	10,39	0,33
2	0,6	16,99	66,83= 5,84+60,99	67,00= 0,63+66,37	4,8	5,21	10,22	0,17
3	0,4	16,09	69,50= 6,57+62,93	69,61= 2,06+67,55	6,1	4,51	9,42	0,11
4	0,6	17,25	69,12=12,30+56,82	69,45= 5,88+63,57	13,2	6,42	12,41	0,33

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 14,1% — Zersetzung 11,4 C. C.
» 5,4% » 9,82 C. C.
pro 1 Q. D. in 1 Stunde.

Versuch V. 1 Juni.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,35	14,65	68,10=11,62+56,48	68,36= 8,18+60,18	14,5	3,44	7,82	0,26
2	0,6	15,20	68,36= 6,7 +61,66	68,63= 2,81+65,82	6,9	3,89	8,54	0,27
3	0,3	13,20	68,22= 6,22+62,00	68,27= 3,13+65,14	6,8	3,09	7,80	0,05
4	0,55	14,24	68,18=14,73+53,45	68,37=10,02+58,35	18,1	4,71	11,02	0,19

Blattstücke wie im vorigen Versuche. Exposition von 11 bis 2 Uhr. Während der ersten Hälfte dieser Zeit schien die Sonne fast ununterbrochen. Temp. 25° C. Später hat sich der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temp. 21° C.

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 16,3% — Zersetzung 9,42 C. C.
» 6,8% » 8,17 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VI. 2 Juni.

Blätter wie im vorigen Versuche. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 2 Uhr 20 Min. Der Himmel war die ganze Zeit hindurch mit grauen Wolken vollständig bedeckt. Temp. 20,3—21° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,3	15,01	69,79= 5,77+64,02	69,89= 3,74+66,15	6,8	2,03	4,50	0,10
2	0,5	15,68	69,66=11,84+57,82	69,91= 9,34+69,91	15,2	2,50	5,31	0,25
3	0,3	16,62	70,48=11,66+58,39	70,59= 9,48+70,59	15,0	2,18	4,37	0,11
4	0,6	17,04	65,71= 6,11+59,60	65,99= 3,32+65,99	7,0	2,79	5,45	0,28

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 15,1% — Zersetzung 4,89 C. C.
» 6,9% » 4,97 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VII. 3 Juni.

Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 10 Min. bis 3 Uhr 10 Min. Der Himmel mit weissen und grauen Wolken bedeckt. Temp. 22 bis 23° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,4	21,12	70,92= 5,23+65,79	71,02= 1,84+69,18	4,9	3,39	5,35	0,10
2	0,4	20,75	70,20=10,7 +60,50	70,31= 5,01+65,30	12,7	5,69	9,14	0,11
3	0,7	20,96	69,46= 8,99+60,47	69,68= 3,47+65,21	8,9	5,52	6,78	0,22
4	0,7	20,82	67,37= 4,55+62,77	67,60= 0,76+66,24	3,9	3,79	8,07	0,23

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 10,3% — Zersetzung 8,96 C. C.
» 4,4% » 5,71 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch VIII. 5 Juni.

Blattstücke wie oben. Exposition von 1 bis 5 Uhr. Trübes Wetter. Es regnete fast fortwährend. Temp. 18,5—19,8° C.

Nr	Blattvolumun	Blattfläche	Vor Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,5	22,6	68,72= 4,71+64,01	68,72= 2,62+66,10	5,3	2,09	2,31	0,00
2	0,5	23,7	69,51= 9,96+59,55	69,62= 8,19+61,43	12,9	1,77	1,71	0,11
3	0,8	21,23	71,71=11,02+69,69	71,68= 9,12+62,56	14	1,90	2,23	0,03
4	0,8	22,01	66,69= 4,58+62,11	66,80= 2,7 +64,10	5,4	1,88	2,13	0,11

Mittelzahl: Kohlensäuregehalt 5,4% — Zersetzung 2,22 C. C.
» 13,5% » 1,97 C. C.
pro 1 D. Q. in 1 Stunde.

Versuch IX. 8 Juni.

Mittlere Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 bis 3 Uhr 30 Min. Der Himmel mit weissen und grauen Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur selten brach. Temp. 22—24° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,4	18,7	68,42=12,66+55,76	68,54= 8,40+60,14	12,2	4,26	6,51	0,12
2	0,45	18,84	69,22= 5,05+64,17	69,39= 1,33+68,06	1,9	3,72	5,69	0,17
3	0,4	19,34	69,95= 5,31+64,64	70,15= 1,85+68,30	2,6	3,46	5,11	0,20
4	0,3	17,27	67,49=12,10+55,39	67,69= 8,16+59,53	12	3,94	6,52	0,20

Versuch X. 9 Juni.

Mittlere Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 9 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr 15 Min. Directe Sonnenstrahlen und bewölkter Himmel oft wechselnd. Temp. 22—25° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,55	21,07	72,75= 8,49+65,34	73,10= 2,35+70,75	8,1	5,06	8,00	0,35
2	0,5	21,82	71,20=12,05+59,15	71,51= 6,62+64,89	13,1	5,43	8,29	0,31
3	0,5	22,23	70,92=11,08+59,94	71,09= 5,51+65,48	11,6	5,57	8,36	0,17
4	0,55	20,9	66,95= 7,03+59,92	67,38= 7,89+64,49	7,4	4,14	6,12	0,43

Versuch XI. 10 Juni.

Vier ähnliche Blattstücke. Exposition beginnt um 11 Uhr 45 Min. und dauert 1½ Stunde für die Blattstücke Nr 1 und 2, und 3 Stunden für Nr 3 und 4. Bis 1 Uhr 30 Min. fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 25—31° C.; später hat sich der Himmel mit Wolken bedeckt und die Temp. sank bis auf 22° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,5	23,15	72,37=11,84+60,53	72,64= 8,84+63,80	14,4	3,00	8,64	0,27
2	0,5	22,89	65,95= 3,41+62,54	66,17= 1,28+64,89	3,5	2,13	6,21	0,22
3	0,4	21,12	69,40= 5,63+63,77	69,52= 2,43+67,09	5,8	3,2	5,05	0,12
4	0,5	20,38	70,10=11,29+58,87	70,07= 7,24+62,83	13,8	4,05	6,62	0,03

Versuch XII. 12 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 10 Min. bis 1 Uhr 40 Min. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 26—29,5° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,3	14,72	70,02=19,69+50,33	70,35=17,05+53,30	26	2,64	11,95	0,33
2	0,25	14,11	69,93=10,16+59,77	69,93= 7,29+62,64	12,6	2,87	13,56	0,00
3	0,3	15,62	67,56= 3,64+63,92	67,63= 1,68+65,95	3,9	1,96	8,31	0,07
4	0,3	14,97	67,16=12,68+54,48	67,40=10,07+57,43	17	2,61	11,62	0,24

Versuch XIII. 15 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 1 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Die Apparate wurden mit Papierschirmen beschattet. Temp. 25—29° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,4	18,65	68,80=12,31+56,49	69,09= 9,32+59,77	15,8	2,99	6,41	0,29
2	0,3	16,99	68,14= 4,80+63,34	68,27= 3,33+64,94	5,9	1,47	3,46	0,13
3	0,4	18,63	68,78=11,67+57,11	69,06= 8,46+60,60	14,6	3,21	6,89	0,28
4	0,38	18,71	64,29= 4,12+60,17	64,42= 2,72+61,70	5,3	1,40	3,00	0,13

Versuch XIV. 16 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr 15 Min. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 29—33° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,6	23,81	70,61=18,53+52,08	70,60=16,17+54,43	24,5	2,36	9,91	0,01
2	0,6	20	69,33=10,16+59,17	69,78= 7,08+62,70	12,6	3,08	15,4	0,45
3[1]	0,5	21,9	70,49= 5,32+65,17	70,62= 4,33+66,29	7	0,99	(4,5)	0,13
4	0,55	22,16	68,10= 3,13+64,97	68,33= 1,81+66,52	3,6	1,32	5,96	0,23

[1] Dieses Blatt hatte sich während der Insolation längs der Mittelrippe vollständig zusammengelegt, was der Grund seiner geringen Leistung war.

Versuch XV. 1 Juli.

Vier ähnliche Blattstücke. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr. Ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 28—31° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,38	18,75	68,16= 9,68+58,48	68,33= 9,28+59,05	13,9	0,40	4,27	0,17
2	0,38	18,30	68,23= 7,26+60,97	68,40= 6,72+61,68	10,4	0,54	5,35	0,17
3	0,44	19,44	68,57= 5,07+63,50	68,64= 4,61+64,03	7	0,46	4,73	0,07
4	0,4	18,07	68,17= 2,28+65,89	68,25= 2,09+66,16	3,1	0,19	2,10	0,08

Schon der erste Versuch dieser Reihe zeigt eine ganz ausgesprochene Abhängigkeit des Sauerstoffausscheidungsprocesses von dem Kohlensäuregehalte der Luft. Er zeigt, dass noch mit 5% Kohlensäuregehalts das Optimum nicht erreicht war. Da eine solche Abhängigkeit in dieser Form neulichst von Pfeffer verneint wurde, so habe ich mir alle Mühe gegeben, um dieselbe zunächst ganz unzweifelhaft festzustellen. Alle Versuche dieser Reihe, welche zu diesem Zwecke angestellt waren, zeigen übereinstimmend, dass die Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft bis zu einer gewissen Grenze auch eine lebhaftere Kohlensäurezersetzung bewirkt. Eine Ausnahme bilden hier nur die Experimente IV und VIII. In beiden waren die Zersetzungen in kohlensäurereicherer und ärmerer Luft nahezu einander gleich, ja in dem VIII Versuche hat Blattstück Nr 1 in einer 5% Kohlensäure enthaltenden Luft verhältnismässig bedeutend mehr geleistet, als Nr 2 in der Atmosphäre, welche 12% Kohlensäure enthielt. Beide Versuche und zwar ganz besonders der Versuch VIII waren an trüben Tagen angestellt, wo die Apparate keine directen Sonnenstrahlen, sondern nur diffuses Licht erhielten. Das zeigt, dass die stärkere Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft nur insofern die zersetzende Thätigkeit der Blätter begünstigt,

als das Licht von genügender Intensität ist. Bei directem Sonnenlichte scheint das Optimum des Kohlensäuregehaltes der Luft etwa zwischen 8% und 10% zu liegen, wenigstens eine Steigerung des Kohlensäuregehaltes über 7% hat noch günstig gewirkt (Versuch V und XV). Die Wirkung noch kohlensäurereicherer Luft war in dieser Versuchsreihe wenig untersucht, doch zeigt der Versuch XII schon bei 17% und noch mehr der Versuch XIV bei 24% eine Verminderung der zersetzenden Thätigkeit der Blätter.

Zweite Versuchsreihe:

mit *Typha latifolia.*

Versuch XVI. 14 Juni.

Stücke von drei ähnlichen Blättern. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 2 Uhr. Die Sonne bricht oft durch weisse Wolken, welche den Himmel bedecken. Temp. 24—26° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = = CO_2 + Luft	Gas — Vol. = = CO_2 + Luft				
1	0,6	15,14	68,70=11,99+56,71	68,88= 7,41+61,47	13,3	4,58	15,12	0,18
2	0,6	15,55	68,44=10,81+57,63	68,76= 5,38+63,38	11,5	5,43	17,5	0,32
3	0,6	15,68	66,69= 6,11+60,58	66,87= 0,48+66,39	4,9	5,63	18,02	0,18

Versuch XVII. 17 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr bis 1 Uhr 30 Min. Sonnenschein und bewölkter Himmel oft wechselnd. Temperatur 25—29° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,6	15,14	69,45=12,16+57,29	69,67= 9,43+60,24	15,5	2,73	12,02	0,22
2	0,65	16,27	69,57=12,59+56,98	69,86= 9,15+60,71	15,5	3,44	14,09	0,29
3	0,7	14,55	70,67= 6,33+64,34	70,80= 3,10+67,70	6,7	3,23	14,86	0,13
4	0,65	14,45	68,60= 6,83+61,77	68,73= 3,82+65,11	7,7	3,01	14,29	0,13

Versuch XVIII. 18 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 1 Uhr 15 M. Dauernder Sonnenschein etwas durch weisse durchsichtige Wolken gedämpft. Temp. 25—28° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,7	17,0	70,79= 9,40+61,39	70,84= 4,84+66,00	10	4,56	21,48	0,05
2[1]	0,8	16,3	69,18= 7,44+61,74	69,24= 2,63+66,61	7,3	4,81	23,53	0,06
3	0,7	17,05	71,03= 3,67+67,36	71,12= 0,37+70,75	2,9	3,30	15,48	0,09
4	0,8	16,11	67,71= 2.13+65,58	67.78= 0,16+67,62	1,7	1,97	9,21	0,07

[1] Dieses Blatt hat sich gegen das Ende des Experiments etwas gebogen.

Versuch XIX. 19 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 10 Min. bis 1 Uhr 25 Min. Der Himmel mit weissen Wolken bedeckt, nur dann und wann directer Sonnenschein. Temp. 23—26° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = = CO_2 + Luft	Gas — Vol. = = CO_2 + Luft				
1	0,95	18,22	70,27=20,72+49,55	70,32=18.65+51,67	28	2,07	9,09	0,05
2	0,95	18,29	69,79=10,68+59,11	70,02= 8,01+62,01	13,3	2,57	11,24	0,23
3	1,10	20,41	69,61= 6,17+63,44	69,84= 2,82+66,98	7,8	3,35	13,13	0,23
4	0,95	18,97	66,51= 2,54+63,97	66,63= 0,29+66,34	2,1	2,25	9,49	0,12

Versuch XX. 20 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr 40 Min. bis 1 Uhr 10 Min. Die Sonne theilweise durch weisse Wolken verschleiert. Temp. 26—30° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = = CO_2 + Luft	Gas — Vol. = = CO_2 + Luft				
1	0,8	15,45	68,36= 7,23+61,13	68,62= 5,87+62,85	9,6	1,36	17,61	0,26
2	0,75	15,5	67,45= 5,00+62,45	67,64= 3,46+64,18	6,3	1,57	20,26	0,19
3	0,7	15,68	67,83= 3,20+64,63	67,89= 1,53+66,36	3,6	1,67	21,30	0,06
4	0,75	15,32	67,98= 2,33+65,65	68,15= 1,28+66,87	2,6	1,05	13,71	0,17

Versuch XXI. 21 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 12 Uhr 45 M. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temp. 24° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,65	16,70	69,57= 7,03+62,54	69,59= 6,44+63,15	9,6	0,59	4,69	0,02
2	0,65	16,92	69,18= 3,74+65,44	69,22= 3,18+66,04	4,1	0,56	4,31	0,04
3	0,7	16,08	69,87= 2.52+67,35	69,94= 2,03+67,91	2,4	0,49	4,31	0,07
4	0,8	17,26	66,12= 1,28+64,84	66,22= 0,69+65,53	1,5	0,59	4,5	0,10

Versuch XXII. 22 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 40 Min. bis 2 Uhr 10 Min. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt, trübes Wetter. Temp. 22° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,7	14,93	72,73=27,35+45,38	72,80=26,36+46,44	36,7	0,99	2,39	0,07
2	0,65	14,93	69,59=15,59+54,00	69,59=14,48+52,11	21,2	1,11	2,99	0,00
3	0,65	15,34	69,10=10,43+58,67	69,20= 9,14+60,06	14,2	1,29	3,33	0,10
4	0,6	14,6	66,15= 7,11+59,04	66,10= 5,89+60,21	10	1,22	3,35	0,05

Versuch XXIII. 23 Juni.

Vier Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 12 Uhr 5 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 28—30° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,45	12,93	74,24=29,71+44,53	74,23=28,16+46,17	39,1	1,55	15,95	0,01
2	0,45	14,12	71,07=19,38+51,69	71,17=17,3 +53,87	25,8	2,00	18,88	0,10
3	0,53	13,05	69,87=12,93+56,94	69,99=11,34+58,65	17,3	1,59	16,18	0,12
4	0,5	14,04	66,35= 5,55+60,80	66,45= 3,28+63,17	6,7	2,27	21,56	0,10

Versuch XXIV. 24 Juni.

Die Blattstücke wie oben. Exposition von 11 Uhr 20 Min. bis 11 Uhr 50 Min. Wolkenloser Himmel. Temp. 29—31° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,7	16,86	68,08= 5,04+63,04	68,26= 2,94+65,32	5,8	2,10	24,17	0,18
2	0,8	16,99	69,05= 3,74+65,31	69,17= 2,22+66,95	4,3	1,52	17,9	0,12
3	0,7	16,67	69,35= 2,50+66,85	69,55= 1,14+68,41	2,6	1,36	16,31	0,20
4	0,7	17,03	65,85= 1,18+64,67	65,96= 0,39+65,57	1,2	0,79	9,28	0,11

Versuch XXV. 26 Juni.

Stücke von vier Blättern wie oben. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr 30 Min. Der Himmel mit grauen Wolken bedeckt. Temperatur 22—22,5° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,75	14,22	73,43=31,09+42,34	73,55=30,79+42,76	42,3	0,30	1,05	0,12
2	0,75	13,83	70,49=18,9 +51,59	70,69=18,12+52,57	26,5	0,78	2,81	0,20
3	0,7	13,58	68,29=10,35+57,92	68,56= 9,27+59,29	14,5	1,08	3,99	0,27
4	0,7	14,11	65,87= 6,90+58,96	66,12= 5,69+60,43	9,5	1,21	4,28	0,25

Versuch XXVI. 27 Juni.

Stücke von vier Blättern wie oben. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr 15 Min. Die Sonne nur selten von weissen Wolken verschleiert. Temp. 22—28° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas — Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,42	12,12	69,07= 7,26+61,81	69,18= 5,17+63,90	9	2,09	23,20	0,11
2	0,44	12,30	67,23= 2,29+64,94	67,37= 1,3 +66,07	2,6	0,99	10,73	0,14
3	0,45	13,18	65,86= 4,7 +60,16	66,05= 2,14+63,91	5,3	2,56	25,92	0,19
4[1]	0,40	12,05	67,47= 3,67+63,80	67,51= 1,84+65,67	4,1	1,83	20,24	0,04

[1] Dieses Blatt hat sich etwas während der Insolation gebogen.

Versuch XXVII. 30 Juni.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 10 Uhr 20 Min. bis 10 Uhr 50 Min. Wolkenloser Himmel. Temp. 28—32° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,7	15,52	68,23= 5,21+63,02	68,36= 3,11+65,25	6,1	2,1	26,42	0,13
2	0,7	15,46	70,93= 8,56+62,37	71,32= 6,27+65,05	10,4	2,29	29,62	0,39
3	0,7	15,12	69,56= 5,77+63,79	69,79= 3,58+66,21	7,3	2,19	28,97	0,23
4	0,75	14,9	63,52= 6,87+56,65	63,90= 4,73+59,17	9,1	2,14	28,7	0,38

Versuch XXVIII. 3 Juli.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 20 Min. Der Himmel war mit Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur dann und wann brach. Temp. 22—26° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,7	15,96	72,65=25,47+47,18	72,81=24,15+48,66	34,0	1,32	8,33	0,16
2	0,77	16,71	70,53=17,43+53,10	70,68=15,70+54,98	23,5	1,73	10,35	0,15
3	0,77	16,37	68,39= 6,44+61,95	68,55= 4,39+64,16	8,0	2,05	12,52	0,16
4	0,72	15,96	63,83= 2,98+60,85	64,02= 1,34+62,68	3,4	1,64	10,21	0,19

Versuch XXIX. 4 Juli.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 12 Uhr 40 Min. Der Himmel vollständig mit weissen Wolken bedeckt. Temp. 23—25° C.

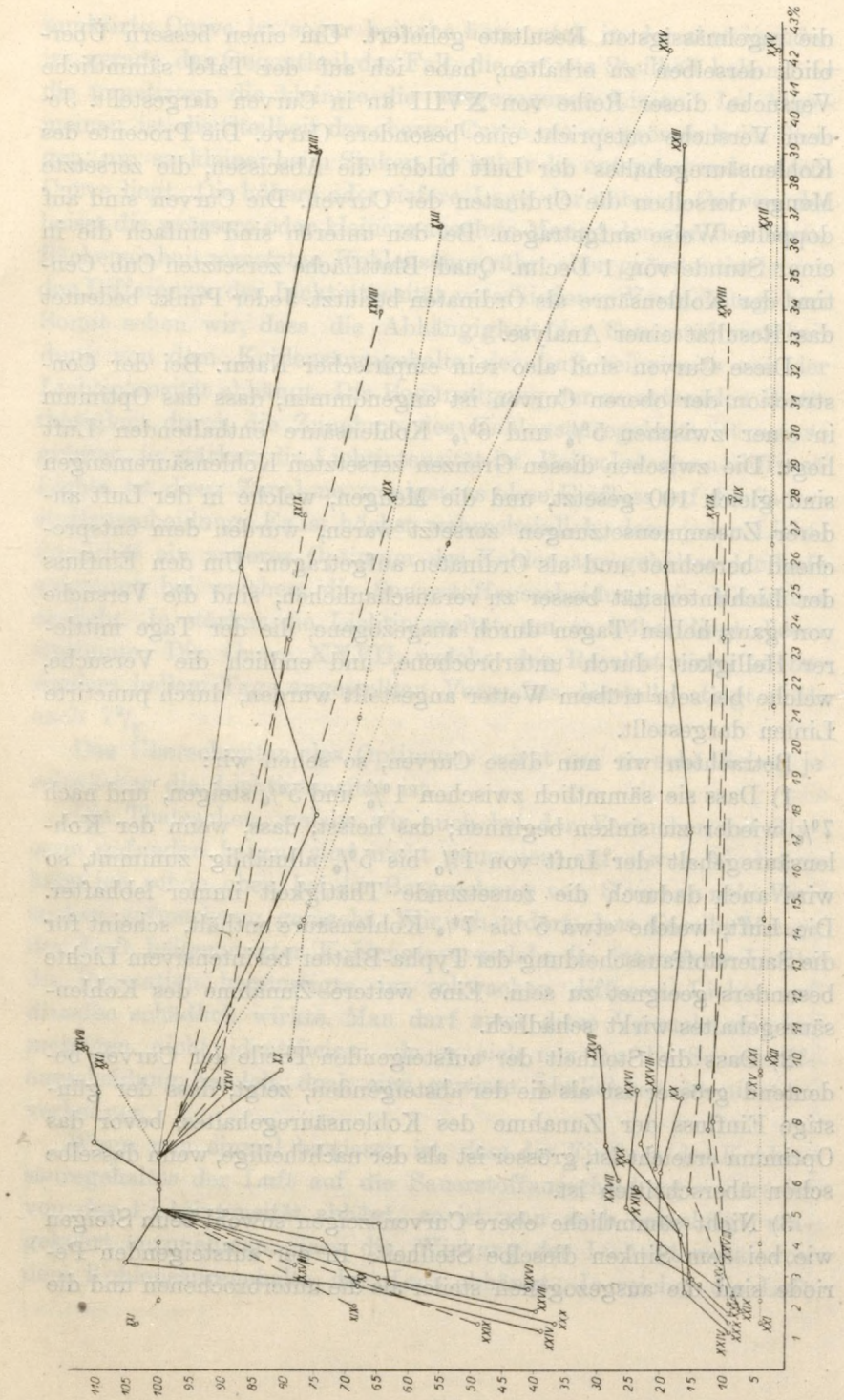
Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,7	18,22	70,23=20,22+50,01	70,36=18,09+52,27	27,4	2,13	11,69	0,13
2	0,7	17,08	68,35= 7,36+60,99	68,56= 4,94+63,62	9,1	2,42	14,16	0,22
3	0,75	18,08	68,56= 5,31+63,25	68,71= 2,49+66,22	5,7	2,82	15,6	0,15
4	0,7	16,65	64,14= 1,86+62,28	64,26= 0,52+63,74	1,8	1,24	7,44	0,12

Versuch XXX.

Stücke von vier ähnlichen Blättern. Exposition von 10 Uhr 30 Min. bis 10 Uhr 50 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 29—31° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,75	15,68	67,42= 5,19+62,23	67,53= 3,87+63,66	6,7	1,32	25,25	0,11
2	0,6	15	68,06= 3,60+64,46	68,19= 2,78+65,41	4,6	0,82	16,4	0,13
3	0,7	16,16	68,22= 2,38+65,84	68,35= 1,42+66,93	2,8	0,86	15,9	0,13
4	0,67	14,95	64,84= 1,25+63,59	64,98= 0,78+64,20	1,5	0,47	9,43	0,14

Die Versuche mit den Blättern von Typha latifolia, welche in dieser Versuchsreihe zusammengestellt sind, haben von allen



die regelmässigsten Resultate geliefert. Um einen bessern Überblick derselben zu erhalten, habe ich auf der Tafel sämmtliche Versuche dieser Reihe von XVIII an in Curven dargestellt. Jedem Versuche entspricht eine besondere Curve. Die Procente des Kohlensäuregehaltes der Luft bilden die Abscissen, die zersetzte Menge derselben die Ordinaten der Curven. Die Curven sind auf doppelte Weise aufgetragen. Bei den unteren sind einfach die in einer Stunde von 1 Decim. Quad. Blattfläche zersetzten Cub. Centim. der Kohlensäure als Ordinaten benutzt. Jeder Punkt bedeutet das Resultat einer Analyse.

Diese Curven sind also rein empirischer Natur. Bei der Construction der oberen Curven ist angenommen, dass das Optimum in einer zwischen 5% und 6% Kohlensäure enthaltenden Luft liegt. Die zwischen diesen Grenzen zersetzten Kohlensäuremengen sind gleich 100 gesetzt, und die Mengen, welche in der Luft anderer Zusammensetzungen zersetzt waren, wurden dem entsprechend berechnet und als Ordinaten aufgetragen. Um den Einfluss der Lichtintensität besser zu veranschaulichen, sind die Versuche von ganz hellen Tagen durch ausgezogene, die der Tage mittlerer Helligkeit durch unterbrochene, und endlich die Versuche, welche bei sehr trübem Wetter angestellt wurden, durch punctirte Linien dargestellt.

Betrachten wir nun diese Curven, so sehen wir:

1) Dass sie sämmtlich zwischen 1% und 5% steigen, und nach 7% wieder zu sinken beginnen; das heisst, dass, wenn der Kohlensäuregehalt der Luft von 1% bis 5% allmählig zunimmt, so wird auch dadurch die zersetzende Thätigkeit immer lebhafter. Die Luft, welche etwa 5 bis 7% Kohlensäure enthält, scheint für die Sauerstoffausscheidung der Typha-Blätter bei intensivem Lichte besonders geeignet zu sein. Eine weitere Zunahme des Kohlensäuregehaltes wirkt schädlich.

2) Dass die Steilheit der aufsteigenden Theile der Curven bedeutend grösser ist als die der absteigenden, zeigt, dass der günstige Einfluss der Zunahme des Kohlensäuregehaltes, bevor das Optimum erreicht ist, grösser ist als der nachtheilige, wenn dasselbe schon überschritten ist.

3) Nicht sämmtliche obere Curven zeigen sowohl beim Steigen wie bei dem Sinken dieselbe Steilheit. In der aufsteigenden Periode sind die ausgezogenen steiler als die unterbrochenen und die

punktirte Curve ist sogar beinahe horizontal, in der absteigenden ist gerade das Gegentheil der Fall, die grösste Steilheit haben hier die punctirten, die kleinste die ausgezogenen Linien. Im Allgemeinen ist die Steilheit der oberen Curve um so grösser beim Steigen, um so kleiner beim Sinken, je höher die entsprechende untere Curve liegt. Die höhere oder tiefere Lage der unteren Curven, das heisst die grössere oder kleinere absolute Menge der von der Blattflächeneinheit zersetzten Kohlensäure rührt aber grösstentheils von den Differenzen der Lichtintensität verschiedener Versuchstage her. Somit sehen wir, dass die Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung von dem Kohlensäuregehalte der Luft seinerseits von der Lichtintensität abhängt. Die Begünstigung der zersetzenden Blatthätigkeit durch die Zunahme des Kohlensäuregehalts ist um so grösser, je stärker die Lichtintensität ist. Bei schwachem diffusen Lichte ist diese Zunahme wenigstens ohne Einfluss auf die Sauerstoffausscheidung. Es ist höchst wahrscheinlich, dass jeder Lichtintensität ein anderes Optimum des Kohlensäuregehaltes der Luft zukommt, bei welchem die Sauerstoffausscheidung ein Maximum erreicht. Je stärker die Lichtintensität, um so höher liegt dieses Optimum. Die Curve XXVII, welche das Resultat eines an besonders hellem Tage angestellten Versuches darstellt, steigt noch nach 7%.

Das Überschreiten des Optimums wirkt um so schädlicher, je schwächer die Lichtintensität ist.

Die Thatsachen, welche wir auch bei den Versuchen mit Glyceria gefunden haben, sind nicht ganz neu, auf etwas Ähnliches habe ich schon oben bei der Besprechung von Saussure's Versuchen aufmerksam gemacht. Wir sahen dort, dass dieselbe Menge der Luft beigemengter Kohlensäure, welche im intensiven Lichte die Vegetation begünstigte, im schwachen diffusen Lichte auf dieselbe schädlich wirkte. Man darf zwar diese Versuche mit den meinigen nicht identificiren, da es sich nur um die Sauerstoffausscheidung handelt, doch eine gewisse Ähnlichkeit ist nicht zu verkennen.

Wenn nun einmal bewiesen ist, dass der Einfluss des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Sauerstoffausscheidung seinerseits von der Lichtintensität abhägt, so ist man auch berechtigt, umgekehrt anzunehmen, dass die Wirkung der Lichtintensität von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängt. Je reicher die Luft

an Kohlensäure ist, desto grösser ist die Wirkung der Lichtintensität. Ein Blick auf die unteren Curven macht das sofort anschaulich. Die Differenzen zwischen den Ordinaten einzelner Curven rühren hauptsächlich von der Ungleichheit der Lichtintensität an verschiedenen Tagen, an welchen die entsprechenden Versuche angestellt waren, her. Diese Differenzen wachsen aber mit der Abscissengrösse. Zwischen 5% und 6% sind sie bedeutend grösser, als zwischen 1% und 2% (vergleichen wir nur die Curven XXI, XIX und XXX), das heisst, die Sauerstoffausscheidung in einer Luft, welche 5% bis 6% Kohlensäure enthält, wird durch eine stärkere Lichtintensität mehr beschleunigt, als in der Luft, welcher nur 1% bis 2% Kohlensäure beigemengt ist. Daraus folgt aber, dass eine allgemein gültige einfache Beziehung der Lichtintensität zur Sauerstoffausscheidung unmöglich ist, und wenn man auch eine solche Beziehung in einigen Fällen gefunden hat (Wolkoff's Versuche), so darf man dieses Resultat keineswegs verallgemeinern. Mayer[1] sucht die Proportionalität der Sauerstoffausscheidung mit der Lichtintensität theoretisch zu begründen, indem er sich darauf stützt, dass zwischen der zur Wirksamkeit gelangenden Kraftgrösse und der Grösse der geleisteten Arbeit eine Proportionalität bestehen müsse. Dagegen ist aber einzuwenden, dass die zur Wirkung gelangende Lichtmenge nicht nothwendig der Lichtintensität proportional sein muss; schon die Schnelligkeit der Diffusionsvorgänge musste hier eine Grenze setzen. Meine Versuche zeigen aber, dass eine solche Proportionalität nur unter gewissen Umständen bestehen konnte, unter anderen aber nicht. Bestände sie z. B. in einer 6% Kohlensäure enthaltenden Luft, so konnte sie in einer nur 2% Kohlensäure enthaltenden Luft nicht bestehen. Daraus ist aber der weitere Schluss zu ziehen, dass man aus den Versuchen, welche über die Wirkung der Lichtintensität in künstlicher kohlensäurereicherer Atmosphäre angestellt sind, nicht ohne Weiteres auf die Verhältnisse im Freien schliessen darf. Der Einfluss der Lichtintensität auf die Sauerstoffausscheidung ist im Freien, wo kaum 1/20% Kohlensäure vorhanden ist, wahrscheinlich viel kleiner, als in unseren Experimenten in kohlensäurereicherer künstlicher Atmosphäre. Wollten wir die Wirkung verschiedener Lichtintensitäten auf die Kohlensäurezersetzung im

[1] Lehrbuch der Agriculturchemie. Heidelberg, 1871, S. 29.

Freien studiren, so müssten wir nach einer von der bisherigen ganz verschiedenen Methode suchen.

Was die Ursache des Einflusses des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Sauerstoffausscheidung anbetrifft, so ist diese wahrscheinlich in dem Einflusse der partiären Pressungen einzelner Gase auf die Diffusions- und Absorptions-Erscheinungen derselben zu suchen.

Die Zersetzung der Kohlensäure im Blatte zerstört das Gleichgewicht zwischen den partiären Pressungen der äusseren und der inneren Atmosphäre. Die Differenzen dieser Pressungen sind um so grösser, je lebhafter die Zersetzung und je kohlensäurereicher die äussere Atmosphäre ist. Je grösser aber diese Differenzen sind, desto schneller gehen die Diffusionsvorgänge vor sich, somit muss diese Schnelligkeit sowohl von der Lichtintensität als von dem Kohlensäuregehalte der Luft abhängen, und beide diese Einflüsse müssen sich gegenseitig bedingen. Die Schnelligkeit der Diffusionsvorgänge muss aber wieder auf den Zersetzungsprocess von Einfluss sein. Damit kann aber nicht erklärt werden, warum ein zu grosser Kohlensäuregehalt der Luft schädlich auf die Sauerstoffausscheidung einwirkt, vielleicht erschwert er die Athmung, wodurch die Blätter weniger lebensfähig werden, was jedoch eine blosse Vermuthung ist.

Dritte Versuchsreihe:

mit *Nerium Oleander*.

Versuch XXXI. 2 Juli.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 50 Min. Sonnenschein und bewölkter Himmel abwechselnd. Temperatur 24—27° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas – Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas – Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2, C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,75	16,98	72,16=25,47+54,98	72,34=22,11+51,03	33	3,36	13,18	0,18
2	0,7	16,23	69,41= 7,09+62,32	69,61= 3,78+65,93	7,8	3,31	13,60	0,20
3	0,75	17,81	68,37= 4,07+64,98	68,61= 0,75+67,86	3,5	3,32	12,42	0,24
4	0,6	16,3	64,84= 3,19+61,65	65,01= 0,18+65,83	2,6	3,01	12,31	0,17

Versuch XXXII. 5 Juli.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 50 Min. Der Himmel wie bei vorigem Versuche. Temp. 23—26° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,75	18,46	72,83=26,61+46,22	72,90=23,69+49,21	34,4	2,92	10,54	0,07
2	0,8	19,7	69,24=21,20+48,04	69,38=18,3 +51,08	28,5	2,90	9,99	0,14
3	0,8	17,5	69,37=14,42+55,95	69,53=10,41+59,12	18,6	3,01	11,47	0,16
4	0,78	18,07	66,32= 9,48+56,84	66,43= 6,65+59,78	12,6	2,83	10,51	0,11

Versuch XXXIII. 8 Juli.

Drei ähnliche Blätter. Exposition von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	1,03	24,08	68,19= 6,81+61,30	68,45= 5,32+63,13	8,9	1,49	12,37	0,26
2	0,78	18,25	67,01= 3,67+63,34	67,12= 2,63+63,50	4,7	1,04	11,40	0,11
3	0,8	18,51	67,12= 2,03+65,09	67,16= 1,25+65,91	2,5	0,78	8,43	0,04

Versuch XXXIV. 11 August.

Vier der Farbe und der Dicke nach ähnliche Blätter. Exposition von 1 Uhr bis 3 Uhr. Wegen des bewölkten Himmels nur diffuses Licht.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,95	20,4	70,28=20,22+50,06	70,23=19,23+51,00	28,2	0,99	2,42	0,05
2	0,95	20,5	69,88=13,59+56,29	70,14=12,30+57,84	18,5	1,29	3,23	0,26
3	0,85	17,98	69,81= 9,89+59,92	69,98= 8,59+61,39	13,2	1,30	3,62	0,17
4	0,85	18,20	66,51= 3,16+63,35	66,72= 1,51+65,21	3,6	1,65	4,31	0,21

Versuch XXXV. 13 August.

Vier ähnliche Blätter. Exposition von 10 Uhr 20 Min. bis 10 Uhr 50 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 25—27° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas—Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,5	13,11	69,61=16,16+53,45	69,64=15,13+54,51	22,3	1,03	15,72	0,03
2	0,5	12,83	69,57= 7,71+61,86	69,54= 6,49+63,05	10,2	1,22	19,02	0,03
3	0,5	12,79	69,63= 3,91+65,72	69,51= 2,73+66,78	4,8	1,18	18,44	0,12
4	0,5	12'41	67,61= 2,11+65,50	67,54= 7,03+66,51	2,3	0,97	15,55	0,07

Versuch XXXVI. 15 August.

Zwei Paare ähnlicher Blätter. Nr 1 ähnlich dem Nr 2, Nr 3 ähnlich dem Nr 4. Exposition von 10 Uhr 50 Min. bis 11 Uhr 20 Min. Dauernder Sonnenschein.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,8	17,89	70,00 = 7,01 + 62,99	70,13 = 5,17 + 64,96	8,7	1,84	20,56	0,13
2	0,8	17,97	69,05 = 2,17 + 66,88	69,09 = 0,61 + 68,48	2	1,46	16,25	0,04
3	0,7	15,0	69,77 = 6,57 + 63,20	69,81 = 5,24 + 64,57	8,4	1,33	17,73	0,04
4	0,73	15,8	65,71 = 2,16 + 63,55	65,77 = 1,07 + 64,70	2,4	1,09	13,79	0,06

Versuch XXXVII. 16 August.

Zwei Paare Blätter wie vorstehend. Exposition von 11 Uhr bis 11 Uhr 30 Min. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,8	19,36	69,58 = 7,81 + 61,77	69,71 = 6,30 + 63,41	10,1	1,51	15,6	0,13
2	0,8	18,40	69,61 = 1,94 + 67,67	69,77 = 0,78 + 68,99	1,9	1,16	12,6	0,16
3	0,78	17,19	69,89 = 7,89 + 62,00	70,02 = 6,60 + 63,42	10,4	1,29	15,01	0,13
4	0,8	16,50	65,50 = 1,78 + 63,72	65,71 = 0,56 + 65,15	1,8	1,22	14,78	0,21

Versuch XXXVIII. 17 August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr bis 11 Uhr 30 M. Dauernder Sonnenschein. Temp. 30—32° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,95	20,82	69,29= 7,99+61,30	69,49= 6,36+63,13	10,4	1,63	15,66	0,20
2	1,0	21,18	65,52= 1,97+63,55	65,64= 0,65+64,99	1,8	1,32	12,46	0,12
3	0,95	18,81	69,81= 8,73+61,08	69,99= 7,38+62,61	11,7	1,35	14,36	0,18
4	0,95	20,11	69,27= 3,62+65,65	69,41= 2,16+67,25	4,1	1,46	14,02	0,14

Versuch XXXIX. 18 August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr 5 Min. bis 12 Uhr 35 Min. Die Sonne oft von weissen Wolken umschleiert. Temp. 23—30° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Nach Exposition: Gas — Vol. = CO_2 + Luft	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
1	0,7	17,05	69,43= 8,33+61,10	69,59= 7,85+61,74	11,7	3,48	5,63	0,16
2	0,73	15,8	69,10= 1,73+67,37	69,27= 1,33+67,94	2,2	0,40	5,06	0,17
3	0,65	15,8	69,59= 8,34+61,21	69,87= 7,89+61,98	11,6	0,43	5,44	0,32
4	0,65	14,9	66,02= 3,15+62,87	66,28= 2,67+63,61	4,4	0,48	6,44	0,26

Versuch XL. 21 August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr 50 Min. bis 12 Uhr 50 M. Die Sonne nur selten von weissen Wolken verschleiert. Die Apparate wurden mit Papierschirmen beschattet.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,7	14,9	68,83= 8,16+60,67	69,07= 6,95+62,15	10,9	1,21	8,12	0,24
2	0,7	15,08	69,01= 2,31+66,70	69,15= 1,01+68,13	2,9	1,3	8,61	0,14
3	0,7	14,18	69,15= 8,79+60,36	69,37= 7,56+61,81	11,8	1,23	8,67	0,22
4	0,7	13,29	65,13= 1,76+63,37	65,37= 0,95+64,42	1,9	0,81	6,09	0,24

Versuch XLI. 22 August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 Uhr 15 Min. bis 12 Uhr. Ununterbrochener Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 30—31° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,65	14,00	68,46= 7,26+61,20	68,61= 6,21+62,40	9,8	1,05	10,00	0,15
2	0,6	13,64	68,71= 1,68+67,03	68,78= 0,58+68,20	1,8	1,10	10,74	0,07
3	0,53	12,30	69,59= 7,99+61,60	69,61= 6,72+62,89	10,6	1,27	13,77	0,02
4	0,55	12,67	65,29= 1,72+63,57	65,32= 0,82+64,50	1,9	0,90	9,47	0,03

Versuch XLII. 23 August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr bis 12 Uhr 40 M. Dauernder Sonnenschein. Temp. 31—32° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,67	17,72	68,63= 6,08+62,55	68,81= 4,95+63,86	8,0	1,13	9,56	0,18
2	0,7	15,8	68,48= 0,93+67,55	68,49= 0,10+68,39	0,8	0,83	7,88	0,01
3	0,6	14,45	69,51= 5,97+63,54	69,72= 5,06+64,66	8,0	0,91	9.44	0,21
4	0,6	14,1	66,51= 1,13+65,38	66,59= 0,24+66,35	1,0	0,89	9,46	0,08

Versuch XLIII. 24 August.

Blätter wie oben. Exposition von 11 bis 12 Uhr. Dauernder Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 27—30° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D. Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,7	14,51	70,38= 1,41+62,97	70,46= 0,87+69,59	1,6	0,54	3,72	0,08
2	0,67	14,44	69,96= 6,49+63,47	70,19= 5,33+64,84	8,4	1,16	8,05	0,23
3	0 7	13,55	70,29= 1,46+68,83	70,42= 0,89+69,53	1,7	0,57	4,21	0,13
4	0,7	13,67	67,04= 6,63+60,41	67,35= 5,39+61,96	8,9	1,24	9,07	0,31

Versuch XLIV. 25 August.

Blätter wie oben. Exposition von 12 Uhr 37 Min. bis 1 Uhr 37 M. Dauernder Sonnenschein. Ein Papierschirm beschattet die Apparate. Temp. 29—31° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas—Vol. = CO_2 + Luft	Gas—Vol. = CO_2 + Luft				
1	0,8	18,25	69,09= 1,90+67,19	69,18= 0,42+68,76	1,6	1,48	8,11	0,09
2	0,8	17,47	69,15= 6,89+62,26	69,21= 4,63+64,58	8,3	2,26	12,94	0,06
3	0,8	17,29	69,55= 1,6 +67,95	69,69= 0,35+69,34	1,4	1,25	7,2	0,14
4	0,8	16,58	65,60= 5 9 +59,70	65,81= 3,75+62,06	7	2.15	12,96	0,21

Durch diese Versuchsreihe wollte ich mich überzeugen, in wie weit die an Glyceria und Typha erhaltenen Resultate sich auf andere Pflanzen übertragen lassen. Im Allgemeinen sind die Resultate dieselben, wie in den beiden ersten Versuchsreihen, doch enthalten sie viel mehr Unregelmässigkeiten. Das Optimum scheint für Oleander etwas tiefer zu liegen als bei Typha. Nicht alle Versuche sind entscheidend genug. Die Versuche XXXIII, XXXVI, XLIII, XLIV zeigen eine auffallend grössere Zersetzung in kohlensäurereicherer als in kohlensäureärmerer Luft, der Versuch XXIV zeigt sehr schön den schädlichen Einfluss zu grosser Kohlensäurequantitäten bei geringer Lichtintensität, im Experimente XXXII bei stärkerem Lichte hat auch ein Kohlensäuregehalt von 36% nicht geschadet. Andere Versuche sind zum Theil zweifelhaft ausgefallen, so hauptsächlich die Versuche XXXI, XLI und XLII, es ist aber wohl zu bemerken, dass auch hier nicht etwa Schwankungen nach beiden Seiten vorhanden sind, denn nirgends war die Zersetzung bei geringerem Kohlensäuregehalte stärker als bei höherem.

Von anderen Pflanzen habe ich noch einen Versuch mit Prunus laurocerasus, und einen mit Myagrum perfoliatum ausgeführt.

Versuch XLV. 11 Juni.

Drei ähnliche Blätter von Prunus laurocerasus. Exposition von 9 bis 11 Uhr. Fast ununterbrochener Sonnenschein. Temp. 23—29° C.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,95	29,11	67,80= 4,59+63,21	68,01= 2,03+65,98	4,9	2,56	4,05	0,21
2	0,95	27,83	66,80=10,82+55,98	67,06= 8,24+58,82	14,2	2,56	4,60	0,26
3	0,97	16,86	64,80=11,65+60.73	65,02= 2,31+62,71	4,3	1,76	3,24	0,22

Versuch XLVI. 25 Juni.

Drei Blätter von Myagrum perfoliatum. Exposition von 12 Uhr 20 Min. bis 1 Uhr 5 Min. Die Sonne etwas mit weissen Wolken gedämpft.

Nr	Blattvolumen	Blattfläche	Vor Exposition	Nach Exposition	Mittlerer Kohlensäuregehalt der Luft in %	Zersetzte CO_2 C. C.	Zersetzte CO_2 pr. 1 D.Q. u. 1 Std. berechnet C. C.	Differenz der Volumina
			Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft	Gas – Vol. = $= CO_2 +$ Luft				
1	0,35	9,22	66,64= 2,22+64,50	66,72= 1,07+65,65	2,5	1,15	16,49	0,08
2	0,35	8,5	67,51= 6,09+61,42	67.50= 4,98+52,52	8,2	1.11	17,41	0,01
3	0,33	9,01	67,95= 2,09+65,86	67,86= 0,97+66,89	2,3	1,12	16,55	0 06

Wenn man überhaupt aus diesen vereinzelten Versuchen irgend einen Schluss ziehen darf, so kann man vermuthen, dass für

Prunus laurocerasus das Optimum der Kohlensäuregehalte der Luft nicht unter 4%, für Myagrum perfoliatum aber tiefer liegt.

Resultate: Die durch die eben beschriebenen Versuche erlangten Resultate will ich nun in folgenden Sätzen kurz zusammenfassen:

1) Die Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft bis zu einer gewissen Grenze (Optimum) begünstigt die Sauerstoffausscheidung, über diese Grenze hinaus wirkt sie darauf mehr oder weniger schädlich.

2) Das Optimum liegt für verschiedene Pflanzen verschieden hoch, für Glyceria spectabilis an hellen Tagen etwa zwischen 8 und 10%, für Typha latifolia zwischen 5 und 7%, für Oleander wahrscheinlich noch etwas tiefer [1].

3) Die Begünstigung der Sauerstoffausscheidung durch eine gewisse Zunahme an Kohlensäuregehalt der Luft unterhalb des Optimums ist viel grösser, als die Hemmung derselben durch eine ähnliche Zunahme oberhalb des Optimums.

4) Je stärker die Lichtintensität ist, desto mehr wird die Sauerstoffausscheidung durch die Zunahme des Kohlensäuregehaltes bis zum Optimum begünstigt, und bei Überschreiten des Optimums desto weniger gehemmt.

5) Aus dem Satze 4 folgt, dass der Einfluss der Lichtintensität auf die Sauerstoffausscheidung um so grösser ist, je mehr Kohlensäure der Luft beigemengt ist.

Nur weitere Untersuchungen können zeigen, in wie weit diese Sätze für verschiedene Pflanzen eine allgemeine Geltung haben, und wie sich die Verhältnisse bei ganz geringem Kohlensäuregehalte zwischen 1/20% bis 1% gestalten.

Krakau, 25 October 1872.

[1] In Folge des oben erörterten Fehlers in der Art der Berechnung des mittleren Kohlensäuregehaltes der Luft sind vielleicht die Optima für Glyceria und Typha etwas zu hoch angegeben. Doch nach dem Versuche XIII kann das Optimum für Glyceria keineswegs unter 5%, nach den Versuchen XXV und XXX für Typha nicht unter 4% liegen, denn noch nach der Beendigung des Experimentes waren die Blätter, welche weniger Kohlensäure zersetzten, in einer Atmosphäre, welche in erstem Falle nahezu 5, in letztem nahezu 4% Kohlensäure enthielt.

Abhängigkeit der Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von dem Kohlensäuregehalt der Luft.

Vorläufige Mittheilung.

(Flora, 1873, pp. 382—387).

In meiner Arbeit über die Sauerstoffausscheidung [1] habe ich gezeigt, dass dieselbe im hohen Grade von dem Kohlensäuregehalt der Luft beeinflusst ist, dass die Sauerstoffabscheidung sehr beschleunigt wird, wenn der Kohlensäuregehalt der Luft zunimmt, dass sie das Maximum erreicht, wenn die Luft etwa 6—10% Kohlensäure enthält; und dass sie wieder sinkt, wenn die Luft noch reicher an Kohlensäure wird. Weiter zeigte ich, dass diese Verhältnisse ihrerseits von der Lichtintensität abhängen, dass die Beschleunigung der Sauerstoffausscheidung durch den grösseren Kohlensäurereichthum der Luft um so deutlicher hervortritt, je stärker die Lichtintensität ist, und dass sehr grosse Kohlensäurequanta um so schädlicher wirken, je schwächer das Licht ist. Diese Resultate waren aber mit einzelnen von der Pflanze abgesonderten Blättern, oder auch Blattstücken erlangt, was einige Bedenken erwecken konnte, wenn man sie auf die Verhältnisse im Freien übertragen wollte. Es war somit wünschenswerth, diese Resultate auch auf einem andern Weg zu prüfen.

Es ist nun seit den in der Ernährungsphysiologie epochemachenden Arbeiten von Sachs [2] bekannt, dass die Stärke, welche in Chlorophyllkörnern fast constant auftritt, ein Assimilationsproduct derselben ist. Da nun die Sauerstoffausscheidung ein äusseres Merkmal der Assimilation ist, so müssen alle Bedingungen, welche die Sauerstoffausscheidung begünstigen, auch die Stärke-

[1] Arbeiten des botan. Instit. zu Würzburg Heft III, 1873.

[2] Bot. Zeit. 1862, S. 44, u. 1864, N. 38.

bildung in den Chlorophyllkörnern fördern, und alle, welche die Sauerstoffausscheidung erschweren, auch die Stärkebildung hemmen; folglich, wenn die, von mir bezüglich des Einflusses des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Sauerstoffausscheidung erlangten Resultate richtig sind, so muss auch die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von dem Kohlensäuregehalt der Luft abhängen. Dies veranlasste mich, die Sache einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Die Untersuchungen sind bei weitem noch nicht abgeschlossen, ich will daher jetzt nur die Hauptresultate kurz mittheilen, indem ich die ausführliche Beschreibung der Versuche einer ausführlicheren späteren Abhandlung vorbehalte.

Die bisherigen Versuche habe ich nur an den Keimpflanzen von *Raphanus sativus* angestellt. Die Methode der Untersuchung war folgende: Ich liess die im Wasser aufgequollenen Samen in kleinen Blumentöpfen in gewöhnlicher Gartenerde am Fenster keimen, und nachdem die Cotyledonen ausgewachsen waren, was etwa nach 8 Tagen erfolgte, stellte ich die Töpfe ins Dunkle, damit die Stärke aus den Chlorophyllkörnern aufgelöst werde. Bei der hohen Temperatur des Sommers wurden die Chlorophyllkörner nach 24-stündigem Verweilen im Dunkeln gewöhnlich schon vollkommen stärkefrei. Jetzt wurden die Töpfe in gewöhnliche Trinkgläser gestellt, sammt denselben auf einen Teller gebracht und darauf eine tubulirte Glasglocke gestülpt. Die Glocken sind 26 Centm. hoch und haben 13 Centm. Durchmesser und etwas mehr als 4 Liter Volumen. Längs der Glocke ist ein Papierstreifen mit Theilung angeklebt. Der Tubus wird mit einfach durchbohrtem Kautschukpfropf geschlossen, in welchem eine kurze Glasröhre steckt. Auf dieser letzten ist eine kleine Kautschukröhre aufgesetzt, welche man mit einem Glasstöpsel schliessen kann. Jetzt giesse ich Wasser auf den Teller, und hebe es durch Saugung bis zu einem gewissen Theilstriche, dann verbinde ich die Kautschukröhre mit der Kohlensäureentbindungsflasche, und nachdem die gewünschte Kohlensäuremenge in der Glocke eingetreten ist, schliesse ich die kleine Röhre mit dem Glasstöpsel. Selbstverständlich, unmittelbar vor dem Versuche nehme ich aus jedem Töpfchen einige Blattstücke, um mich zu überzeugen, dass sie wirklich in den Chlorophyllkörnern keine Stärke enthalten. Nun stelle ich die Apparate ins Licht, um nach einiger Zeit die Blätter wieder auf Stärke zu untersuchen. Die Nachweisung der

Stärke geschieht nach der bekannten Methode. Um die Stärkebildung in kohlensäurereicherer Atmosphäre mit der in der freien Luft vergleichen zu können, stelle ich bei jedem Versuche einen Topf frei an das Fenster. Das Fenster ist während der Versuchsdauer immer geöffnet. Wie erwähnt, sind die bisherigen Versuche nur mit Keimpflanzen von *Raphanus sativus*, und zwar ausschliesslich an den Cotyledonen angestellt. Natürlich werde ich sie bei Fortsetzung der Versuche auch auf Laubblätter und auf andere Pflanzen ausdehnen.

Ich will nun die Resultate an einigen aus der grossen Zahl der Versuche herausgenommenen Beispielen erörtern.

Den 7. Juli um 11 Uhr Früh wurde ein Topf in einer 8% Kohlensäure enthaltenden Luft und ein anderer frei an das Fenster gestellt. Die Sonne schien fast ununterbrochen. Temperatur 29—30° C.

Nach $^1/_4$ Stunde wurden Blattstücke aus einem jeden Topfe genommen, dann wurde sofort unter die Glocke wieder Kohlensäure geleitet und der Apparat wieder an's Fenster gestellt. Diese Manipulation dauerte 5 Minuten und wurde in einem finstern Raum vorgenommen. Nach weiterer $^1/_4$ Stunde wurden wieder Blattstücke genommen und wieder Kohlensäure eingeführt. Dann dauerte die Exposition $^1/_2$ Stunde, und nun wurde der Versuch abgeschlossen.

Die Untersuchung der abgenommenen Blätter ergab nun Folgendes:

a) Für die Pflanzen in kohlensäurereicher Luft:

nach $^1/_4$ Stunde: kleine Stärkekörner in allen Zellen, sowohl der Palisaden, als des Schwammparenchym; die Schnitte nach der Anwendung des Reagens für das blosse Auge schwach violett.

Nach $^1/_2$ Stunde: Stärkekörner reichlich in allen Parenchymzellen; Schnitte für das blosse Auge stark violett.

Nach 1 Stunde: Sämmtliche Zellen von Stärke so überfüllt, dass die Schnitte nach der Reaction fast schwarz erscheinen.

b) Für die Pflänzchen im Freien:

Nach $^1/_4$ Stunde: keine Spur Stärke.

Nach $^1/_2$ Stunde: Spuren von Stärke in einigen Palisadenzellen des Blattrandes.

Nach 1 Stunde: kleine Stärkekörner in allen Parenchymzellen, die Schnitte für das blosse Auge schwach violett, beinahe

so wie die Schnitte aus den Cotyledonen der Pflänzchen des 1. Topfes nach $^1/_4$ Stunde Insolation, oder vielleicht etwas schwächer.

Aus diesen wie aus zahlreichen anderen Versuchen kann man mit voller Bestimmtheit schliessen, dass die Cotyledonen von *Raphanus* in einer 8% Kohlensäure enthaltenden Luft bei intensivem Licht etwa 4—5 mal schneller Stärke in ihren Chlorophyllkörnern bilden, als in gewöhnlicher Luft.

Dagegen habe ich mich überzeugt, dass im diffusen Lichte die Stärkebildung nicht mehr als um das Doppelte durch die Zunahme des Kohlensäuregehalts der Luft bis zu 8% beschleunigt wird.

Was nun die Wirkung sehr grosser Kohlensäuremengen in der Luft auf die Stärkebildung anbetrifft, so ist dieselbe ebenfalls der Wirkung derselben auf die Sauerstoffausscheidung analog, da auch hier zu grosse Kohlensäurequanta schädlich sind, und auch hier scheint diese schädliche Wirkung im diffusen Lichte stärker zu sein, als in directen Sonnenstrahlen. Von ganz besonderem Interesse ist aber das, dass die Stärkebildung durch die sehr kohlensäurereiche Luft nicht in allen Zellen gleich gehemmt wird. Sie unterbleibt im Palisadenparenchym viel merklicher, als im Schwammparenchym und am wenigsten wird sie in der Umgebung des Gefässbündels gehemmt, z. B. am 16. Juli um 3 Uhr 30 M. wurden 3 Töpfe exponirt: 1) in freie Luft, 2) in 8% CO_2 enthaltende, 3) in 26% enthaltende Luft. Die Exposition dauerte $1^1/_2$ Stunden unter fast ununterbrochenem Sonnenschein. Temp. 25 – 26° C. Die Untersuchung der Cotyledonen ergab folgendes:

1) Stärke ziemlich reichlich in allen Zellen, überall gleichmässig nur am Rande reicher.

2) Die Zellen mit Stärke so überfüllt, dass die Abschnitte nach der Reaction fast schwarz sind.

3) Die Schnitte für das blosse Auge schwach violett. Die Stärke ziemlich reichlich nur in der Umgebung der Gefässbündel namentlich im Schwammparenchym, sehr sparsam und nur in unteren Schichten des Palisadenparenchym, in den zwei oberen Zellschichten desselben fast keine Spuren von Stärke.

In einem anderen Fall wurden bei zweistündiger Exposition in directen Sonnenstrahlen in den Cotyledonen der frei stehenden Pflänzchen sehr namhafte Stärkemengen in den Chlorophyllkörnern gebildet, während in der Luft, welche 30% Kohlensäure

enthielt, kaum merkliche Mengen in dem die Gefässbündel umgebenden Schwammparenchym gebildet wurden, das ganze Palisadenparenchym dagegen enthielt keine Spur von Stärke. Im Allgemeinen ist die Lagerung der Stärkekörner, welche in sehr kohlensäurereicher Atmosphäre entstehen, eine ähnliche, wie bei der Lagerung derselben während der fortschreitenden Auflösung der Stärke in der Dunkelheit, wenn vorher sämmtliche Chlorophyllkörner reichlich Stärke enthielten, da ja auch hier die Stärke zunächst aus dem Palisadenparenchym entschwindet, dann aus dem Schwammparenchym und endlich auch aus der Umgebung der Gefässbündel. Ob diese Aehnlichkeit nur eine zufällige oder auch ursächliche ist, wird vielleicht die Fortsetzung meiner Untersuchungen zeigen, jetzt gebe ich nur das Thatsächliche an und enthalte mich jedes Urtheils, wie man diese verschiedene Wirkung des hohen Kohlensäuregehalts der Luft auf die Stärkesammlung in verschiedenen Zellen denken soll.

Ich habe mir nun auch die Frage vorgelegt, was vorkommen wird, wenn man den Zutritt der Kohlensäure vollkommen unterbricht, und dann das Pflänzchen ins Licht setzt. Dass unter diesen Bedingungen die Stärkebildung gänzlich unterbleiben muss, liegt auf der Hand, es bleibt aber fraglich, ob die schon in Chlorophyllkörnern vorhandene Stärke aufgelöst wird oder nicht; mit anderen Worten: ob die Auflösung der Stärke aus den Chlorophyllkörnern nur in Dunkelheit oder auch im Lichte vor sich geht, und wir die Ansammlung der Stärke in Chlorophyllkörnern nur deshalb beobachten können, weil die Bildung der Stärke schneller erfolgt, als deren Auflösung. Um dies zu entscheiden, liess ich in gewöhnlichem oder geglühtem und mit Nährstoffflüssigkeit gesättigtem Sande, die Samen von *Raphanus sativus* keimen, und nachdem die Cotyledonen ausgewachsen waren, und reichlich Stärke in den Chlorophyllkörnern gebildet hatten, stellte ich sie in eine kohlensäurefreie Atmosphäre. Ich stellte nämlich wie bei den vorigen Versuchen den Topf in ein gewöhnliches Trinkglas und sammt demselben auf einen Teller, dann goss ich auf den letzten concentrirte Kalilauge und stülpte darauf die oben erwähnte tubulirte Glasglocke. Der mit einem einfach durchbohrten Pfropfe geschlossene Tubus war mit einem Schenkel einer U-förmigen Glasröhre, welche mit in Kalilauge gesättigten Pumexstückchen gefüllt war, verbunden. Der andere Schenkel

war geöffnet, um den Luftzutritt zu gestatten. Somit konnte durch die U-förmige Röhre Luft, nicht aber Kohlensäure unter die Glocke eindringen. Jetzt stellte ich den Apparat ins Licht, und nach einiger Zeit wurden die Cotyledonen auf Stärke untersucht.

Auf diese Weise habe ich mich überzeugt, dass die Stärkeeinschlüsse der Chlorophyllkörner sich im Lichte ganz ebenso verhalten, wie in Dunkelheit, nämlich dass sie aufgelöst werden. So habe ich z. B. den Apparat um 9 Uhr Abends zusammengestellt. Die Cotyledonen waren so mit Stärke überfüllt, dass die Schnitte sich nach Jodreaction schwarzblau färbten. Um 4 Uhr Morgens war noch die Stärke in allen Zellen äusserst reichlich vorhanden, die Schnitte wurden nach der Reaction noch tief blau. Der Apparat stand an einem nach Süd-Ost gerichteten Fenster. Der Tag war hell und sonnig. Bis 4 Uhr Nachmittag wurde die Stärke fast gänzlich aufgelöst, so dass nur geringe Mengen derselben in der Nähe der Gefässbündel noch vorhanden waren Nachdem die Stärke so im Lichte aufgelöst wurde, bildete sie sich von neuem, wenn ich das Töpfchen wieder frei ans Fenster stellte. Ich konnte auf diese Weise in directen Sonnenstrahlen beliebig oft die Bildung und die Auflösung der Stärke in den Chlorophyllkörnern an den Pflänzchen desselben Topfes beobachten. Sogar scheint die Auflösung der Stärke bei den insolirten Pflänzchen schneller vor sich gehen, als bei denen im Dunkeln, was wahrscheinlich in der höheren Temperatur der ersteren seinen Grund hat.

Ich habe auch versucht den ganzen Keimungsprocess ohne Kohlensäurezutritt im Lichte vor sich gehen zu lassen, und überzeugte mich, dass derselbe ganz normal vor sich geht. Keine Ueberverlängerung der Stengel, keine Missbildung der Cotyledonen ist zu bemerken [1]. Die Chlorophyllkörner sind vollkommen ausgebildet und von ganz normalem Farbenton. Der ganze sichtbare Unterschied von den frei vegetirenden Pflänzchen liegt darin, dass, nachdem die Reservestoffe aus den Cotyledonen verbraucht worden sind, sie keine Spur Stärke mehr enthalten, während die frei vegetirenden die Stärke reichlich bilden.

[1] Selbstverständlich, wenn der Versuch zu lange dauert, gehen die Pflänzchen zu Grunde.

Diese Versuche zeigen also:

1) Dass ohne Kohlensäurezutritt keine Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern möglich ist, was ja auch aus der von Sachs begründeten Anschauungsweise für die Rolle der Stärke in den Chlorophyllkörnern mit Nothwendigkeit folgt.

2) Dass die Auflösung der Stärke aus den Chlorophyllkörnern nicht nur in Dunkelheit, sondern auch im vollen Lichte vor sich geht, und dass wir somit nur den Ueberschuss der gebildeten über die aufgelöste Stärke beobachten können.

3) Dass man aus der Abwesenheit der Stärke in den Chlorophyllkörnern unter gewissen Bedingungen nicht auf das Nichtvorhandensein des Assimilationsprocesses unter diesen Bedingungen schliessen kann.

4) Dass die Formveränderung der etiolirten Pflanzen nicht in dem Unterbleiben des Assimilationsprocesses zu suchen ist.

Krakau, im Juli 1873.

O metodzie oznaczania szybkości przyswajania zapomocą obliczania pęcherzyków gazowych, wydobywających się z rośliny pod wodą.

(Rozprawy i sprawozdania z posiedzeń Wydziału Matematyczno-przyrodniczego Akademji Umiejętności, Tom I, 1874, str. 210—246).

Rozkład gazu kwasu węglowego i wody przez części zielone roślin, oraz wytwarzanie z tych mineralnych składników nowej materji organicznej jest niewątpliwie najważniejszą sprawą życia roślinnego. To też od czasu kiedy Sénébier i Saussure istnienie tej sprawy udowodnili, zaczęto się nią gorliwie zajmować i badać z jednej strony przyrodę samejże sprawy, a z drugiej warunki zewnętrzne, wobec których taż najłatwiej odbywać się może. Aby jednak oznaczyć, jak różne warunki na rozkład gazu kwasu węglowego wpływają, potrzeba było przynajmniej ocenić względną szybkość tego rozkładu. Powstały też z biegiem czasu rozmaite metody, zmierzające do oznaczenia tej szybkości.

Ze wszystkich tych metod najłatwiejszą i w wykonaniu najprostszą, a przez to dziś może najwięcej używaną, jest metoda rachowania pęcherzyków gazowych, wydobywających się z rośliny pod wodą, podana po raz pierwszy przez Sachsa.

Jeżeli jakąkolwiek roślinę wodną o świeżym przekroju łodygi umieścimy w wodzie, zawierającej rozpuszczony gaz kwas węglowy, i wystawimy ją na działanie światła, zobaczymy wkrótce, że z przekroju wydobywać się będą jeden za drugim bąbelki. Zważając ich ilość w danym czasie, przekonamy się: że, jeżeli nie zmieniają się warunki zewnętrzne, jak oświetlenia i ciepłoty, ilość ich będzie stałą; jeżeli zaś oświetlenie będzie silniejsze lub słabsze, to i liczba pęcherzyków, w tym samym czasie wydobywających się, będzie większą albo mniejszą.

Na tem spostrzeżeniu Sachs oparł swoją metodę oznaczania względnej szybkości sprawy przyswajania wśród różnych zewnętrznych warunków. Metoda ta zatem polega na porównaniu liczby pęcherzyków, wydobywających się przy rozmaitych zewnętrznych warunkach w danym czasie.

Ma ona dwie ważne dobre strony, których żadna inna metoda nie posiada:

1) Wszystkie doświadczenia robi się z jedną i tąż samą rośliną, przez co unikamy najważniejszego i najtrudniejszego do usunięcia źródła błędów, to jest wpływu indywidualności rośliny. We wszystkich innych metodach musimy w porównawczych doświadczeniach używać kilku roślin lub liści, z których każdy badamy w odmiennych warunkach; kto zaś robił podobne doświadczenia, ten wie, jak trudno znaleść dwie rośliny, a nawet dwa liście zupełnie do siebie podobne. Dlatego zawsze pozostaje wątpliwość, czy dostrzeżone różnice wypadków zależą wyłącznie od różnych wpływów, na jakie rośliny wystawione były? czy też, przynajmniej w części, od osobniczych właściwości samychże roślin? Dlatego w takich badaniach tylko z całego szeregu doświadczeń, a nie z małej ich liczby, pewne wnioski wyprowadzać można. Przy liczeniu pęcherzyków używamy jednej i tej samej rośliny, którą tylko kolejno w rozmaitych umieszczamy warunkach, wzgląd zatem indywidualności wcale tu wypadku nie zmienia.

2) Możemy mieć ciągłą kontrolę, że zdolność przyswajająca rośliny i uboczne warunki zewnętrzne nie uległy zmianie: doświadczenia bowiem robimy w bardzo krótkich po sobie odstępach czasu, a powracając do tychże samych warunków, te same powinniśmy otrzymać wypadki. Przypuśćmy np., że chcemy porównać szybkość przyswajania pod wpływem bezpośrednim promieni słonecznych i w cieniu. Umieszczamy więc najprzód roślinę w słońcu, a zostawiwszy ją chwilę w spokoju, liczymy ilość pęcherzyków, wydobywających się np. w ciągu minuty. Liczenie powtarzamy kilka razy i przekonywamy się, że liczba pęcherzyków ciągle jest jednakową, np. w ciągu minuty 60. Przenosimy roślinę do cienia i po chwili znów liczymy kilkakrotnie i narachowujemy np. 20 pęcherzyków w ciągu minuty. Jeżeli teraz napowrót roślinę na słońce przeniesiemy, to powinniśmy znów 60 pęcherzyków na minutę naliczyć, co też zazwy-

czaj bywa rzeczywiście. Tym sposobem mamy zupełną pewność, że przyczyną dostrzeżonej różnicy 40 pęcherzyków na minutę było jedynie różne oświetlenie.

Liczenie pęcherzyków daje większą rękojmię dokładności, niż zbieranie i rozbiór gazów z rośliny wodnej się wydzielających; albowiem gazy te, przechodząc przez wodę, wskutek wymiany (dyfuzji) zmieniają swój skład tak, że te, które rozbieramy, nie mają już tego samego składu, jaki miały, gdy wydobywały się z rośliny. W czasie rachowania pęcherzyków zmiany, jakim pęcherzyk ulega, przechodząc przez wodę, są nam zupełnie obojętne, bo idzie nam tylko o to, aby ilość pęcherzyków, wydzielających się w danym czasie, była proporcjonalną do rozłożonego w tymże czasie gazu kwasu węglowego; to też trudno pojąć, dlaczego N. H. Müller[1] w zmianach, jakim pęcherzyk przy przechodzeniu przez wodę ulega, chciał widzieć słabą stronę metody Sachsa.

Rzeczywista niedokładność metody rachowania pęcherzyków może mieć źródło w takich tylko względach, które zmieniają nie skład chemiczny pęcherzyków gazowych, ale ich liczbę. Oczywistą jest rzeczą, że dyfuzja między pęcherzykami przez wodę przechodzącemi a gazami w wodzie rozpuszczonemi na tę liczbę wpływać nie może, te tylko bowiem sprawy ilość pęcherzyków mogą zwiększyć lub zmniejszyć, które zmieniają objętość gazów jeszcze w przestworach międzykomórkowych rośliny zawartych. Sprawy zatem wymianowe czyli dyfuzyjne pomiędzy gazami rozpuszczonemi w wodzie a zawartemi w roślinie mogą w istocie wpłynąć na wypadki otrzymywane przez rachowanie pęcherzyków. Ażeby więc osądzić, o ile metoda, którą się zajmujemy, daje nam rękojmię dokładności, rozważmy bliżej powyżej wzmiankowane sprawy.

Dajmy na to, że roślina jest wystawiona na światło w wodzie, zawierającej w roztworze powietrze i kwas węglowy. Gazy te przenikają błony komórkowe i wchodzą do wnętrza komórek, najprzód przyskórkowych, a następnie i głębszych, opatrzonych zielenią; tu gaz kwas węglowy ulega rozkładowi, a tlen z niego

[1] Pringsheim's *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*. T. VII, s. 499 i 500.

się uwalnia. Teraz więc w komórce znajduje się więcej tlenu a mniej gazu kwasu węglowego, aniżeli w wodzie otaczającej, musi więc nastąpić dążenie do przywrócenia równowagi. Ale że z powodu większej rozpuszczalności gazu kwasu węglowego wymiana jego prędzej się odbywa niż tlenu, więc daleko większa ilość gazu kwasu węglowego przejdzie z wody do komórki, niż tlenu wyjdzie z tej ostatniej do wody; nadmiar więc tlenu zostanie wypchnięty do przestworów międzykomórkowych. Wszakże rozkład gazu kwasu węglowego w komórce ciągle się odbywa, ciągle więc nowa jego ilość z zewnątrz do komórki przypływa i ciągle tlen, z tego rozkładu uwolniony, częścią wprost wnika do wody, częścią zostaje do przestworów międzykomórkowych wpędzanym. Tym sposobem w tych przestworach gromadzi się coraz większa ilość tlenu. Ale od chwili, gdy gaz ten w przestworach zbierać się zaczyna, do spraw wymianowanych, któreśmy poznali, przybywa nowa, to jest pomiędzy nim a gazami zawartemi w komórkach.

Tak więc mamy do rozważenia następujące prądy dyfuzji:

1) Prąd gazu kwasu węglowego z wody do komórek.

2) Prąd azotu z wody do komórek.

3) Prąd tlenu z komórek do wody.

4) Prąd tlenu z komórek do przestworów międzykomórkowych.

5) Prąd gazu kwasu węglowego z komórek do tlenu, zawartego w przestworach międzykomórkowych.

6) Prąd azotu z komórek do tlenu, zawartego w tychże przestworach.

Dla lepszego rozważenia skutku wszystkich tych spraw oznaczmy: ilość tlenu, w danym czasie z rozkładu gazu kwasu węglowego w roślinie powstającego, przez O; ilość tlenu, jaka w tymże czasie z komórek wprost do wody wnika, przez w; ilość gazu kwasu węglowego, wnikającego jednocześnie z komórek do przestworów międzykomórkowych, przez e; ilość azotu, w tymże czasie wydostającego się z komórek do przestworów, przez n; wreszcie ogólną ilość gazów, zbierających się w ciągu tegoż samego czasu w przestworach międzykomórkowych, przez V. Liczba wydobywających się pęcherzyków zależy oczywiście bezpośrednio od wielkości tegoż V[1]. Należy zatem zbadać, od czego to V zawisło.

[1] Ilość wyraża się tu wszędzie w objętości odpowiedniej tej ciepłocie, przy której robi się doświadczenie.

Widocznem jest, że V składa się: z tlenu wywiązanego w komórkach, zmniejszonego tą jego ilością, która z komórek wprost wynika do wody, a zwiększonego gazem kwasem węglowym i azotem, dostającemi się z komórek do przestworów międzykomórkowych: a przeto

$$V = O + (e + n - w).$$

W badaniu szybkości przyswajania możemy mieć cel dwojaki: albo może nam chodzić o szybkość bezwzględną, z jaką rozkład gazu kwasu węglowego się odbywa; albo o zależność dzielności sprawy przyswajania od różnych warunków, a tem samem o szybkość względną. Metoda rachowania pęcherzyków była dotąd prawie wyłącznie używaną w tym ostatnim celu; niektórym tylko chodziło jedynie o to, ażeby z wydobywania się, lub przeciwnie, z braku pęcherzyków wnosić, czy wogóle wśród pewnych warunków odbywa się jeszcze przyswajanie.

Oznaczenie szybkości bezwzględnej przez liczenie pęcherzyków nie byłoby bezwarunkowo niepodobnem, ile że z liczby pęcherzyków i ich wielkości (którą z ich średnicy obliczyćby można) dałaby się oznaczyć bezwzględna objętość wydzielających się w danym czasie gazów.

Głównem naszem zadaniem musi być atoli wykazanie, o ile metoda rachowania pęcherzyków mogłaby dawać wypadki dokładne, gdy idzie o oznaczenie względnej szybkości przyswajania. Gdy jednak pytanie to jest więcej skomplikowane, a zatem i trudniejsze, żeby zatem ułatwić sobie jego rozwiązanie, zastanowimy się najpierw nad warunkami dokładności metody rachowania pęcherzyków przy oznaczaniu bezwzględnej szybkości przyswajania.

I.

Liczba pęcherzyków jako miara bezwzględnej szybkości przyswajania.

Pierwszym warunkiem, pod jakim liczenie pęcherzyków użyćby się dało do ocenienia bezwzględnej szybkości przyswajania, jest to, aby pęcherzyki wydobywały się z jednego tylko miejsca, to jest z tego, w którem są rachowane. Jeżeli ten warunek jest dopełniony, wtedy liczba pęcherzyków wydobywających się, pomnożona przez ich wielkość, musi być $= V$. Wiemy zaś, że

$$V = O + (e + n - w).$$

Mogą się tu zdarzyć 3 przypadki: $e+n-w$ może być albo = zero, albo większe, albo mniejsze od niego.

1) Gdy $e+n-w=0$, wtedy (ale też i jedynie wtedy) rachowanie pęcherzyków, użyte do oznaczenia bezwzględnej szybkości przyswajania, dałoby wypadki zupełnie dokładne: bo tylko wtedy $V=O$, t. j. ilość wydzielających się w pęcherzykach gazów równa ilości tlenu, uwolnionego z rozkładu gazu kwasu węglowego.

2) Gdy $e+n-w>0$, czyli gdy $e+n>w$, wtedy i $V>O$; a rachowanie pęcherzyków musi wydawać wypadki od prawdziwych większe.

3) Gdy $e+n-w<0$, czyli gdy $e+n<w$, to i $V<O$; a rachowanie pęcherzyków wskaże wypadki za małe.

Zobaczmy teraz, jakie warunki na wartość $e+n-w$ wpływają?

A) *e* zależy:

1) od ilości gazu kwasu węglowego, rozpuszczonego w treści komórkowej, a więc:

a) od ilości gazu kwasu węglowego, zawartego w wodzie roślinę otaczającej, bo od tej ilości zależy szybkość, z jaką rozłożony gaz kwas węglowy nowym zostaje zastąpiony;

b) od powolności sprawy przyswajania; bo im ona wolniej się odbywa, tem treść komórek bardziej gazem kwasem węglowym wysycić się może.

2) Od ilości gazu kwasu węglowego, już w przestworach międzykomórkowych zawartego; bo im tlen w tych przestworach z większą ilością gazu kwasu węglowego już się pomieszał, tem wolniej nowa ilość tego ostatniego z komórek wynikać będzie. A zatem, im szybciej odprowadzanym będzie gromadzący się w przestworach gaz kwas węglowy, tem też szybciej przybywać go będzie; a że szybkość odprowadzania gazów, to jest ich wypchania z rośliny w kształcie pęcherzyków, zależy od szybkości przyswajania, więc tu znów szybkość przyswajania wpływać będzie na zwiększenie *e*.

Widzimy, że szybkość przyswajania, z jednej strony przez niedopuszczenie wysycenia się treści komórkowych gazem kwasem węglowym wpływa na zmniejszenie, z drugiej przez szybsze odprowadzanie gazów na zwiększenie wartości *e*; — sto-

sownie więc do tego, który z tych wpływów przeważa, może sprowadzić albo zwiększenie albo zmniejszenie wartości *e*.

B) *n* zależy:

1) od ilości azotu rozpuszczonego w wodzie, a więc od stopnia wysycenia wody powietrzem; bo im woda więcej go zawiera, tem azot, który z komórek przeszedł wskutek wynikania do przewodów powietrznych, prędzej nowym zastąpiony zostanie;

2) od szybkości sprawy przyswajania; od niej bowiem zawisła szybkość, z jaką gazy, a więc i azot, z przestworów wydalają się na zewnątrz; zaczem idzie, że równowaga między azotem, w tych gazach zawartym, a azotem, rozpuszczonym w treści komórkowej, tem dalszą będzie od ustalenia się, im przyswajanie prędzej się dokonywa.

C) *w* zależy:

od różnicy pomiędzy ilością tlenu rozpuszczonego w treści komórek i w wodzie otaczającej; a więc:

1) od ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie, czyli od stopnia, w jakim woda nie jest jeszcze wysycona powietrzem, bo im woda więcej już tlenu zawiera, tem trudniej tlen z komórek wynikać do niej może;

2) od ilości tlenu w treści komórek rozpuszczonego, a więc od szybkości przyswajania. Jednakże z powodu małej rozpuszczalności tlenu treść komórkowa bardzo prędko wysyca się tym gazem pod ciśnieniem jednej atmosfery; z przyczyny zaś łatwego wynikania tlenu przez błony do przestworów międzykomórkowych ciśnienie wewnątrz komórki nigdy prawdopodobnie do wiele większego nie dochodzi stopnia, w żadnym zaś razie do szybkości przyswajania nie jest proporcjonalnem; dlatego też i *w* do niego nie może być proporcjonalnem.

Tak więc wartość na $e + n - w$ zależy:

1) Od ilości gazu kwasu węglowego i powietrza, rozpuszczonych w wodzie użytej do doświadczenia.

2) Od szybkości sprawy przyswajania. Wielkość błędu, jaki popełniamy przy oznaczaniu szybkości przyswajania przez racho-

wanie pęcherzyków, zależy oczywiście od stosunku $e+n-w$ do O, a zatem wyrazi się ułamkiem $\frac{e+n-w}{O}$. Zastanówmy się przeto nad tem, jaka będzie wielkość tego ułamku przy większej lub mniejszej ilości gazów rozpuszczonych w wodzie, oraz przy silniejszej lub słabszej sprawie przyswajania.

Wielkość $\frac{e+n-w}{O}$ w rozmaitych warunkach.

1) *Jeżeli woda jest silnie wysycona powietrzem i gazem kwasem węglowym.*

W tym razie wielkość e i n będzie znaczną, w będzie bardzo małe; im więcej zatem gazu kwasu węglowego i powietrza zawierać będzie woda, tem $e+n-w$, a tem samem i $\frac{e+n-w}{O}$ będzie większe, przeto tem bardziej rachowanie pęcherzyków za wielkie wyda wypadki.

Widocznem jest przy tem, że błąd wypadnie tem większy, im przyswajanie będzie słabsze, bo tem mniejszym będzie mianownik ułamku (O), a tem większy jego licznik, (tem większe e, tem mniejsze w). Wprawdzie przy bardzo słabym rozkładzie gazu kwasu węglowego e według tego, cośmy wyżej powiedzieli, z powodu zbliżenia się do równowagi gazów, zawartych w przestworach i komórkach, może być mniejsze aniżeli w razie silniejszego przyswajania, i to tak, że w pierwszym razie $e+n-w$ będzie mniejsze niż w ostatnim; jednakże z powodu zmniejszania się mianownika ułamek $\frac{e+n-w}{O}$ pomimo to będzie przy powolniejszem przyswajaniu większy.

Przy silnem wysyceniu wody gazami może się nawet zdarzyć, że pomimo iż $O=0$, $e+n-w>0$, a więc $V>0$, t. j. że wydzielanie się pęcherzyków może trwać jeszcze, pomimo że przyswajanie już ustało. Ma to miejsce rzeczywiście wtedy, gdy z chwilą ustania rozkładu gazu kwasu węglowego równowaga pomiędzy gazami w przestworach a gazami rozpuszczonemi w treści komórek wyrównaną jeszcze nie jest. Jeżeli np. roślinę zanurzoną w wodzie, gazem kwasem węglowym i powietrzem silnie wysyconej, z pod wpływu słońca przeniesiemy

nagle do ciemności, wtedy, pomimo że rozkład gazu kwasu węglowego dla braku światła natychmiast ustać musi, pęcherzyki jakiś czas jeszcze wydobywać się będą. Van Tieghem, który to zjawisko pierwszy zauważył[1], utrzymywał zrazu, że światło jak przy fosforescencji zostaje tu przez roślinę zabsorbowanem i na czas jakiś zatrzymanem, i że za jego pomocą roślina dalej rozkładu gazu kwasu węglowego dokonywa. Przeciwko takiemu tłumaczeniu wystąpił zaraz Lecoq[2], a później i sam Van Tieghem odstąpił od pierwotnego swego zdania, błąd swój sprostował i swoje spostrzeżenia we właściwy sposób wytłumaczył[3].

Tak samo tłumaczy się inne spostrzeżenie Van Tieghema: że w świetle rozproszonem nie wydobywały się pęcherzyki, ale, gdy roślinę z pod promieni słonecznych przeniesiono do światła rozproszonego, wydzielanie się tychże dalej się przeciągało. Van Tieghem przypuszczał, że światło rozproszone, nie będąc w stanie wywołać rozkładu kwasu węglowego, może jednak przedłużać sprawę, pod wpływem promieni słonecznych rozpoczętą. W doświadczeniu tem należy jednak uważać, że (jak się później przekonamy) niewydzielanie się pęcherzyków nie jest dowodem, jakoby kwas węglowy wcale się nie rozkładał, ale tylko wskazówką, iż O nie jest $> w - e$.

Tu także znajduje wyjaśnienie i zjawisko kilkakrotnie pokazywane mi w pracowni botanicznej w Würzburgu przez Wolkoffa, że Moczarka kanadyjska (*Elodea canadensis*), umieszczona w wodzie z gazem kwasem węglowym, pod wpływem promieni słońca pęcherzyki silnie wydzielała. Po zakryciu naczynia czarnym papierem pęcherzyki natychmiast ustawały wydobywać się; ale, gdy następnie zaczęto przez wodę przepuszczać gaz kwas węglowy, na nowo się ukazały i trwało to dość długi czas, dając około 6 pęcherzyków na minutę. Objaw ten, którego wówczas nie umieliśmy sobie dostatecznie objaśnić, tłumaczy się bardzo prosto. Z chwilą zacienienia naczynia równowaga między gazami w przestworach a gazami w treściach komórkowych rozpuszczonemi z jednej, a między temi ostatniemi a gazami w wodzie rozpuszczonemi z drugiej strony, nie była tak naruszoną, aby jej wy-

[1] *Comptes rendus.* 1867. T. 65, s. 867.
[2] *Comptes rendus.* 1867. T. 65, s. 1114.
[3] *Comptes rendus.* T. 69, s. 531.

równywanie mogło sprowadzić wydobywanie się pęcherzyków; ale, gdy zaczęto gaz kwas węglowy przepuszczać przez wodę, równowaga między tym gazem, rozpuszczonym w wodzie i w komórkach, zmieniła się; musiało więc nastąpić wynikanie gazu kwasu węglowego z wody do komórek. Przybycie nowej ilości kwasu węglowego do komórek zakłóciło równowagę między gazami w komórkach i przestworach międzykomórkowych, co spowodować musiało przechodzenie gazu kwasu węglowego z komórek do przestworów międzykomórkowych, zwiększanie tamże objętości gazów i wydobywanie się pęcherzyków.

2) *Jeżeli woda zawiera wiele powietrza, ale bardzo mało gazu kwasu węglowego.*

W tym stanie znajduje się woda naturalna, w której żyją rośliny. W takim razie, mianowicie jeżeli oświetlenie nie jest zbyt słabe, $e = 0$, tak, że $V = O + n - w$. Że i w tym przypadku $n - w > 0$, wypada to z wielkiej ilości azotu, jaka się znajduje w gazach, zebranych z pęcherzyków, wydzielających się w tych warunkach.

I tak Knop[1] znajdywał w zebranych gazach tylko 32 do 33% tlenu a resztę azotu; ilość przeto azotu była przeszło dwa razy większa niż tlenu, czyli

$$n > 2(O - w) \quad \text{albo} \quad n - w > 2O - 3w;$$

jeżeli więc tylko $O > \frac{3}{2}w$, co niewątpliwie miało miejsce, to także $n - w > 0$; już więc w tym razie liczenie pęcherzyków dawałoby wypadki większe od prawdziwych.

Nie mniejszą też znajdowali Cloez i Gratiolet[2] ilość azotu, przez rośliny wydzielonego, w wodzie ciągle odnawianej. Możemy zatem przyjąć, że przy małej ilości gazu kwasu węglowego, ale znacznej ilości powietrza rozpuszczonego w wodzie, liczenie pęcherzyków daje wypadki większe od prawdziwych, t. j. że roślina wydziela z siebie objętość gazów większą od objętości tlenu, wytworzonego przez rozkład gazu kwasu węglowego.

Powiedzieliśmy wyżej, a liczby Cloeza i Gratioleta najzupełniej to stwierdzają, że n jest tem większe, im szybkość przyswajania jest większa, a że w przez zwiększenie przyswajania

[1] *Ueber das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen.* Leipzig 1853.
[2] *Annales de Chimie et de Physique.* 1851. T. 32, s. 57.

stosunkowo powiększa się nieznacznie, przeto $n - w$ będzie tem większe, im większa szybkość przyswajania. Większość ta jednakowoż nie przesądza, ażeby błąd przy szybszem przyswajaniu miał być większy niż przy powolniejszem, bo choć $n - w$ będzie wtedy większe, to jednak $\frac{n-w}{O}$ może być mniejsze, jeżeli $n - w$ nie zwiększy się w tym samym stosunku jak O.

Rzeczywiście liczby Cloeza i Gratioleta wykazują, że im mniej gazów wogóle roślina z siebie wydziela, tem więcej zawierają one azotu, to jest, tem $\frac{n}{O-w}$ jest większe. A że zwolnienie przyswajania wartości na w zwiększyć nie mogło, zatem zwiększenie $\frac{n}{O-w}$ pochodzi wyłącznie od zmniejszenia O. Jeżeli więc przy słabszem przyswajaniu $\frac{n}{O-w}$ jest większe niż przy silniejszem, to tem bardziej i $\frac{n}{O}$ musi w pierwszym razie być większem, aniżeli w ostatnim; przeto prawdopodobnie i $\frac{n-w}{O}$ przez zwolnienie przyswajania także się powiększy. Jednakże zwrócić uwagę musimy, że zwiększenie $\frac{n-w}{O}$ przez zwolnienie przyswajania jest tylko skutkiem tego, iż mianownik ułamku bardziej się zmniejsza, niż licznik; gdy tymczasem, jeśli woda prócz powietrza zawierała także wiele gazu kwasu węglowego, nietylko mianownik się zmniejszał, ale i licznik się zwiększał. Ostatecznie więc: kiedy woda zawiera wiele powietrza, a mało gazu kwasu węglowego, błąd będzie tem większy, im sprawa przyswajania mniejszą, — wielkość jego wszelako daleko mniej zależeć będzie od powolności przyswajania, aniżeli wtedy, gdy woda jest jeszcze mocno gazem kwasem węglowym nasycona.

3) *Jeżeli woda zawiera mniej lub więcej gazu kwasu węglowego, a bardzo mało powietrza.*

W tym przypadku znajduje się woda wygotowana, później wysycona gazem kwasem węglowym. Jeżeli do doświadczeń takiej wody użyjemy, w takim razie n jest bardzo małe albo $= 0$,

a natomiast wielkość w jest znaczną, i to tem bardziej, im taż woda mniej powietrza zawiera. Liczenie pęcherzyków wyda wtedy mniejsze od prawdziwych wypadki, i to tem mniejsze, im większem będzie $\frac{w-(e+n)}{O}$ [bo wyrażenie $O+e+n-w$, można też napisać $O-(w-(e+n))$]; a więc im w będzie większe, a $e+n$ mniejsze, czyli im woda mniej powietrza i gazu kwasu węglowego zawierać będzie. Ułamek ten będzie przytem tem większy, im szybkość przyswajania będzie mniejszą, bo tem mniejszym wtedy będzie jego mianownik O. Chyba gdyby woda znaczną ilość gazu kwasu węglowego zawierała, to w takim razie powolność przyswajania zwiększałaby e tak, iż mogłaby cały ułamek zmniejszyć. A zatem: Jeżeli woda albo bardzo małą ilość albo wcale nie zawiera powietrza, a przytem nie zbyt wiele gazu kwasu węglowego, to liczenie pęcherzyków daje wypadki mniejsze od prawdziwych, i to tem znaczniej, im mniej powietrza i gazu kwasu węglowego woda posiada, i im szybkość przyswajania jest mniejsza.

Ze zrównania $V=O-[w-(e+n)]$ widać, że gdy $w-(e+n)=O$, to $V=0$, pomimo że $O>0$; to jest, że pęcherzyki nie będą się wydobywały, choć przyswajanie się odbywa, co oczywiście tem łatwiej zdarzyć się może, im O jest mniejsze a w większe, więc tem łatwiej, im woda mniej zawiera powietrza i im przyswajanie wolniej się odbywa.

Wpływ ciepłoty.

Jeżeli z szybkości wydobywania się pęcherzyków chcemy sobie wyrobić pojęcie o bezwzględnej szybkości przyswajania, to koniecznie baczyć należy na ciepłotę, w której odbywają się doświadczenia, albowiem objętość pozorna gazów z powodu wielkiego współczynnika w rozszerzalności tychże w wysokim stopniu od ciepłoty zależy. Licząc zatem pęcherzyki w ciepłocie t, a chcąc wiedzieć, ileby się ich wydzieliło w ciepłocie np. t', gdyby szybkość przyswajania i sprawy wymianowe były takie same, to trzebaby liczbę ich podzielić przez $1+0{,}00366\ (t-t')$.

II.

Liczba pęcherzyków, jako miara względnej szybkości przyswajania.

Rozebrawszy, od czego zależy różnica bezwzględna pomiędzy liczbą pęcherzyków, jaką znajdujemy, a tą, jakąbyśmy znaleść powinni, żeby posłużyć mogła za bezwzględną miarę sprawy przyswajania, możemy teraz przystąpić do drugiej, ważniejszej części naszego zadania, to jest do oceny metody rachowania pęcherzyków jako miary względnej szybkości rozkładu gazu kwasu węglowego. Idzie tu nie o to, aby liczba pęcherzyków, pomnożona przez ich wielkość, była równą ilości tlenu, uwolnionego z rozkładu gazu kwasu węglowego, ale o to, aby liczba pęcherzyków, w różnych warunkach się wydobywających, była stosunkowa do ilości tlenu w tychże samych warunkach uwolnionego z rozkładu kwasu węglowego. Jeżeli więc poprzednio zastanawialiśmy się nad warunkami, w których $V = O$, to teraz chodzić nam będzie tylko o to, aby $\frac{V'}{V} = \frac{O'}{O}$, czyli o to, aby $\frac{O' + e' + n' - w'}{O + e + n - w} = \frac{O'}{O}$ [1]. Jak skoro poprzednio warunkiem dokładności było, żeby $e + n - w = 0$, to tu może być ono większe lub mniejsze od 0, byle tylko $\frac{e' + n' - w'}{e + n - w} = \frac{O'}{O}$. Jeżeli wielkość błędu wyraża się tam przez ułamek $\frac{e + n - w}{O}$ albo przez $\frac{w - (e + n)}{O}$, to tu wyrazi się przez

$$\frac{\frac{O' + e' + n' - w'}{O + e + n - w} - \frac{O'}{O}}{\frac{O'}{O}}, \text{ czyli}$$

$$\text{przez } \frac{\frac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{(O + e + n - w)\,O}}{\frac{O'}{O}} \quad \ldots \quad (1);$$

albo, jeżeli $e + n - w > O$, przez

[1] Ilości V, O, e, n, w odnoszą się do liczby pęcherzyków, wydobywających się pod najkorzystniejszemi warunkami, z którą porównywamy inne, do których odnoszą się ilości V', O', e', n', w'.

$$\frac{\frac{O'}{O} - \frac{O' - [w' - (e' + n')]}{O - [w - (e + n)]}}{\frac{O'}{O}}$$

czyli przez $$\frac{\frac{O[w' - (e' + n')] - O'[w - (e + n)]}{O[O - (w - e + n)]}}{\frac{O'}{O}} \quad \ldots \quad (2).$$

Rozważmy teraz wielkość tego błędu przy rozmaitych warunkach.

1) *Gdy woda jest bardzo silnie wysycona powietrzem i kwasem węglowym.*

Już z poprzedniego wiemy, iż wtedy $e + n - w > 0$, i to tem znaczniej, im woda bardziej jest kwasem węglowym i powietrzem nasycona i im sprawa przyswajania wolniej się odbywa tak, że jeżeli $e' + n' - w'$, $e'' + n'' - w''$, $e''' + n''' - w'''$ odnosić się będą do coraz wolniejszej sprawy przyswajania, to $e + n - w < e' + n' - w' < e'' + n'' - w'' < e''' + n''' - w'''$ i t. d. do pewnej granicy, po za którą z powodu zbliżenia się gazu do równowagi $e + n - w$ znów będzie się zmniejszało.

$O + e + n - w$, t. j. liczbę pęcherzyków, wydobywających się pod najkorzystniejszemi warunkami, przyjmujemy jako liczbę stałą, do której odnosimy liczbę pęcherzyków, wydobywających się w tymże czasie w mniej korzystnych warunkach. Skoro zatem O, e, n i w nie zmieniają się, to wielkość wyrażenia (1) zależy od wielkości ilości O', e', n', w'. Im O' mniejsze, tem $e' + n' - w'$ większe, im zaś $e' + n' - w'$ jest większe a O' mniejsze, tem cały ułamek (1), wyrażający wielkość błędu, jest większy; nietylko bowiem w miarę tego zmniejsza się mianownik ułamku, ale i licznik przyrasta. A zatem: Jeżeli woda jest mocno kwasem węglowym i powietrzem wysycona, to stosunek liczby pęcherzyków, wydawanych przy mniej i więcej korzystnych warunkach przyswajania, jest większy, niż rzeczywisty stosunek szybkości przyswajania przy tychże warunkach, a błąd będzie tem większy, im warunki przyswajania mniej korzystne. Gdy np. użyjemy metody rachowania pęcherzyków do porównania szybkości

przyswajania przy różnem oświetleniu, to dla oświetlenia słabszego w stosunku do silniejszego otrzymamy wypadki większe, aniżeliśmy otrzymać powinni, i to tem większe, im oświetlenie będzie słabsze. Do tego wypadku doszedł przed dwoma laty na drodze doświadczalnej Pfeffer, a właśnie jego to doświadczenia pobudziły mnie do zastanowienia się nad teoretyczną stroną metody rachowania pęcherzyków.

Pfeffer[1] zajmował się szczegółowo badaniem wpływu światła barwnego na rozkład kwasu węglowego i robił swoje doświadczenia z jednej strony nad roślinami lądowemi zapomocą metody gazometrycznej, a zatem przez bezpośrednie oznaczenie ilości rozłożonego w różnych światłach kwasu węglowego; z drugiej zaś nad roślinami wodnemi zapomocą rachowania pęcherzyków. Rośliny, umieszczone w odpowiednim środku, nakryte były dzwonem o podwójnych ścianach, między które wlewał on ciecz zabarwioną tak, iż światło tylko przez tęż ciecz do rośliny dostać się mogło.

W tabliczce Pfeffera, którą w całości przytaczamy, zestawione są wypadki, otrzymane metodą gazometryczną i metodą rachowania pęcherzyków. Liczby, wyrażające ilość rozłożonego CO_2 lub ilość wydzielonych pęcherzyków w świetle za różnemi cieczami barwnemi, są wyrażone w odsetkach tych ilości, które wyrażają przyswajanie w świetle białem.

W kolumnie pierwszej tabliczki wyrażone są ciecze, za któremi badano sprawę przyswajania.

	Ilość rozłożonego CO_2 w czasie, gdy w świetle białem = 100	Ilość wydobywających się pęcherzyków w czasie, gdy w świetle białem = 100	Różnice
Za wodą	100	100	0
» dwuchromianem potasowym .	88.6	94.3	5.7
» orseliną	53.9	62.1	8.2
» fijoletem anilinow.	38.9	50.0	11.1
» czerwienią »	32.1	44.6	12.5
» zielenią	15.9	29.2	13.3
» roztworem amonjakal. miedzi .	7.6	19.2	11.6

[1] *Arbeiten des botanischen Instituts zu Würzburg.* Heft I, s. 53.

Widzimy, że zgodność liczb w pierwszej i drugiej kolumnie, chociaż dość znaczna, nie jest jednak zupełną. Więcej zadawalnia ona przy znaczniejszej liczbie pęcherzyków, tem zaś mniej, im ilość pęcherzyków jest mniejszą, to jest im sprawa przyswajania wolniejsza. Zwracamy tu szczególną uwagę na to, że liczby kolumny drugiej okazują nad liczbami pierwszej nie już względną do liczby pęcherzyków, lecz bezwzględną przewyżkę; tem większą, im ich ilość jest mniejsza. Wyjątek stanowi jedynie liczba pęcherzyków za roztworem amonjakalnym miedzi. Zobaczmy, jak zjawiska te Pfeffer tłumaczy: »Tlen, powstający wskutek rozkładu gazu kwasu węglowego, częścią wprost z komórki wynika do otaczającej wody, w największej jednak części wnika do wnętrza rośliny, aby tu w postaci gazowej w przestworach międzykomórkowych i przewodach powietrznych zbierać się i płynąć ku ranie, która mu wyjść dozwala. W tej drodze, którą od miejsca, gdzie powstał, ma przebyć, przymięszywują się do niego inne gazy w roślinie zawarte, mianowicie azot i kwas węglowy, a równowaga między niemi tem bliższą będzie wyrównania, im dłuższą jest droga, którą gaz ma przebyć, albo im wolniej pewną oznaczoną przestrzeń przebiega. A że, jak wiadomo, szybkość strumienia pęcherzyków pod wpływem światła różnych barw jest bardzo różną, przypuścić trzeba, że pęcherzyki są tem uboższe w tlen, im wolniej się wydzielają, skąd wynika, że porównawcze rachowanie pęcherzyków musi w stosunku do prawdziwej sprawy przyswajania dawać tem większe wypadki, im rozkład gazu kwasu węglowego przez odpowiednie promienie słoneczne słabiej jest pobudzanym«.

Objaśnienie to jest najzupełniej chybionem; dlatego ustęp ten w całości w wiernym przekładzie przytoczyłem, aby czytelnikowi sąd własny ułatwić. Za przyczynę tego, że objętość gazów, nie będących tlenem, w przestworach przez domieszkę innych więcej wzrasta przy powolnem, niż przy szybkiem wydobywaniu się pęcherzyków, podaje Pfeffer, jak widzimy, to: iż w pierwszym razie gazy te więcej mają czasu do wysycania się gazem kwasem węglowym i azotem, aniżeli w drugim. Ależ chodzi tu właściwie o to, żeby wytłumaczyć, dlaczego w jednym i tym samym czasie, przy wolniejszem wydobywaniu się pęcherzyków, więcej tych obcych gazów do nich się domięszywa, aniżeli wtedy, gdy się wydzielają prędzej. Czas więc, przez jaki te gazy z soku komórko-

wego do przewodów powietrznych wynikają, jest znowu jednaki, np. 1 minuta, tylko że gazy te raz mieszają się z mniejszą, a drugi raz z większą ilością tlenu, w czasie sprawy przyswajania uwolnionego. To zatem, iż wydzielające się gazy wolniej przez roślinę przechodzą, a przez to więcej do równowagi z gazami w komórkach zawartemi się zbliżają, nie może bynajmniej sprawić, aby bezwzględna ilość gazów, w danym czasie z komórek do przestworów wynikających, mogła się powiększyć; gdyż przeciwnie, im równowaga więcej się dokonywa, tem dyfuzja wolniej odbywać się musi. Powód zatem, przez Pfeffera przytoczony, musi wpływać nie na zwiększenie, ale na zmniejszenie się ilości gazów, mieszających się w danym czasie z wydzielającym się przez rozkład gazu kwasu węglowego tlenem. Stąd widać, że całe objaśnienie Pfeffera jest, jak na wstępie powiedziałem, zupełnie chybionem. Dla nas zjawiska dostrzeżone przez Pfeffera tłumaczą się bardzo prosto i są tylko poparciem powyższych wywodów.

Coraz wydatniej za wielka ilość pęcherzyków, przy zmniejszającem się przyswajaniu, nie pochodzi stąd, że gazy więcej mają czasu do dojścia do równowagi z innemi gazami w roślinie zawartemi, ale stąd, że treść komórek, z powodu iż gaz kwas węglowy do nich przypływający nie tak prędko ulega rozkładowi, więcej nim wysycić się może; a im bardziej jest nim wysyconą, tem szybciej będzie on wnikał do tlenu w przestworach i tem bardziej będzie zwiększał objętość zawartych tamże gazów. Właśnie z tego powodu, jak to już wyżej rozebraliśmy, im O jest mniejsze (do pewnej granicy), tem $e + n - w$ jest większe. Liczby, w ostatniej kolumnie podane, wyrażają nie całkowitą wielkość błędu, odpowiadającą wzorowi

$$\frac{\frac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{(O + e + n - w)\,O}}{\frac{O'}{O}}$$

ale tylko wielkość $\frac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{O}$. Jeżeli O' się zmniejsza, to zwiększa się $e' + n' - w'$, a więc i wartość całego ułamku, jak to rzeczywiście liczby Pfeffera pokazują; tylko, jeżeli przyswajanie jest już tak małe, że gazy są bliskie wyrównania się zupełnego, to dalsze zmniejszenie się O' może spowo-

dować także zmniejszenie $e' + n' - w'$, więc i całego ułamku; co też rzeczywiście okazuje doświadczenie za roztworem amonjakalnym miedzi, w porównaniu z dwoma poprzedniemi.

Pfeffer, wychodząc ze swego fałszywego mniemania, z przypadku tego inaczej zdać sobie sprawy nie umiał, jak upatrując w nim błąd doświadczenia: »Właśnie za tą cieczą, mówi on, za którą wydzielanie pęcherzyków najwolniej miało miejsce, błąd przy rachowaniu tychże najłatwiej mógł się przytrafić«.

Łatwiej jeszcze z liczb Pfeffera zdać sobie sprawę, przypuszczając, że $e + n - w = 0$, czyli iż w całkowitem świetle wypadki są dokładne, bo w takim razie

$$\frac{(e' + n' - w')O - (e + n - w)O'}{O} = e' + n' - w',$$

tak, że liczby ostatniej kolumny będą wprost wartościami na $e' + n' - w'$, $e'' + n'' - w''$, $e''' + n''' - w'''$ i t. d., a te liczby będą do pewnej granicy tem mniejsze, im O', O'', O''' i t. d. są mniejsze; co też rzeczywiście ma miejsce.

Tak więc doświadczenia Pfeffera doprowadzają do tego samego wypadku, co nasze powyższe teoretyczne rozumowania; przez samego więc Pfeffera rzecz źle była pojętą.

2) *Gdy woda zawiera wiele powietrza, a bardzo mało gazu kwasu węglowego.*

Ponieważ wtedy $e = 0$, przeto wzór nasz na wielkość błędu zmieni się na

$$\frac{\dfrac{(n' - w')O - (n - w)O'}{(O + n - w)O}}{\dfrac{O'}{O}}$$

W tym wypadku, jeżeli O' się zmniejsza, to i $n' - w'$ także się zmniejsza. Gdyby $n' - w'$ zmniejszało się w tym samym stosunku co O', to wielkość ułamku zostawałaby niezmieniona i błąd byłby zawsze jednakowy. Ale jeżeli O' bardziej się zmniejszy aniżeli $n' - w'$, to cały ułamek się powiększy, a jak powyżej powiedzieliśmy, wszystko każe przypuszczać, że $n - w$ rośnie wolniej aniżeli O, więc według wszelkiego prawdopodobieństwa i wtedy, gdy woda zawiera wiele powietrza a mało gazu kwasu węglowego, stosunek liczby pęcherzy-

ków przy mniej korzystnych warunkach przyswajania do liczby ich przy warunkach korzystniejszych jest większy, niż rzeczywisty stosunek szybkości przyswajania przy pierwszych i drugich warunkach. Gdy atoli zmniejszenie O' nie sprawia już zwiększenia $n' - w'$, jak zwiększało $e' + n' - w'$, ale owszem jego zmniejszenie, przeto błąd tu jest mniejszy, aniżeli wtedy, gdy woda silnie gazem kwasem węglowym nasyconą była.

3) *Gdy woda zawiera bardzo mało powietrza, a mniej lub więcej gazu kwasu węglowego.*

W takim razie, zwłaszcza jeżeli i gazu kwasu węglowego niema zbyt wiele, $e + n - w < O$ i rachowanie pęcherzyków poda bezwzględne wypadki mniejsze od prawdziwych. W wypadkach względnych błąd wyrazi się przez:

$$\frac{\frac{O[w' - (e' + n')] - O'[w - (e + n)]}{O[O - (w - (e + n))]}}{\frac{O'}{O}}$$

Gdyby $w' - (e' + n')$ zmniejszało się proporcjonalnie do O', to błąd byłby zawsze jednaki. Ale, jak wiemy, w' przy znacznem zmniejszeniu O' bardzo mało tylko zmniejszyć się może; jeżeli więc tylko $e' + n'$ są dostatecznie małe, to im O' będzie mniejsze, tem wielkość całego ułamku większą, a tem znaczniejszy przez to błąd w wypadkach. A zatem: Jeżeli woda zawiera bardzo mało powietrza i niezbyt wiele gazu kwasu węglowego, to stosunek liczby pęcherzyków przy mniej korzystnych warunkach przyswajania do liczby ich przy warunkach korzystniejszych jest mniejszy, niż rzeczywisty stosunek przyswajania przy pierwszych i drugich warunkach, a to tem bardziej, im szybkość przyswajania mniejszą będzie. Jednakowoż, gdyby ilość gazu kwasu węglowego w wodzie była znaczną, to byłoby rzeczą możebną, iż ze zmniejszenia O' mogłoby wyniknąć zmniejszenie całego ułamku, a nawet zrobienie go mniejszym od zera, czyli odwrócić błąd.

Tak więc widzimy, że dokładność wypadków zapo-

mocą metody rachowania pęcherzyków będzie różna, stosownie do ilości powietrza i gazu kwasu węglowego, rozpuszczonego w wodzie użytej do doświadczeń. Stosunek między ilością pęcherzyków przy silniejszem i słabszem oświetleniu musi być różny przy różnym stopniu nasycenia wody powyżej wzmiankowanemi gazami. Wnioski, wywiedzione teoretycznie, starałem się sprawdzić doświadczeniem, które też najzupełniej je stwierdziło.

Sprawdzenie w doświadczeniu.

Ażeby otrzymać dwa światła, zostające do siebie w stosunku stałym, przygotowałem dość stężony roztwór chlorku żelazowego. Znajdował się on w szklannym cylindrze 30 centm. wysokim a 9 średnicy mającym. Roślina, którą była Rdestnica lśniąca (*Potamogeton lucens*), znajdowała się w innym cylindrze także 30 centm. wysokim, ale tylko 4 cm. w średnicy, napełnionym prawie do samego wierzchu wodą. Przecięcie rośliny znajdowało się na 2 cm. pod powierzchnią wody. Ażeby ilość gazów w wodzie w ciągu doświadczenia o ile możności jak najmniej się zmieniała, cylinder zatkałem (jednak nie szczelnie) korkiem, a przez otwór tegoż korka przechodził ciepłomierz, którego kulkę zanurzyłem w wodzie. Przy każdem zmienieniu wody doprowadzałem jej ciepłotę przez polewanie cylindra ciepłą wodą do tego stopnia, jaki miał stojący na słońcu roztwór chlorku żelazowego. Ten cylinder z rośliną mógł być albo wprost wystawiony na światło słoneczne, albo też wstawiony do cylindra z chlorkiem żelazowym tak, że promienie słoneczne dopiero po przejściu dwucentymetrowej warstwy roztworu chlorku żelazowego do niego się dostawały. W ten sposób liczyłem pęcherzyki, wydobywające się pod wpływem całkowitego światła słonecznego, oraz światła, które straciło część swoich promieni wskutek przejścia przez roztwór chlorku żelazowego.

Do doświadczeń używałem:

1) zwyczajnej wody studziennej;

2) wody studziennej surowej, nasyconej kwasem węglowym przez długie (przeszło godzinę) przepuszczanie przez nią strumienia tegoż gazu;

3) tejże wody, zmieszanej z równą jej objętością świeżej wody studziennej; oraz

4) tejże wody, zmieszanej z równą jej objętością wody pozbawionej, przez wygotowanie, powietrza.

Jeżeli słońce zakryło się na chwilę choćby najprzeźroczystszą chmurką, doświadczenie przerywałem. Wypadki stąd były następujące:

1) Woda studzienna surowa:

Liczba pęcherzyków na 1 minutę w świetle białem przy ciepłocie 26·4°	Liczba pęcherzyków na 1′ za Fe_2Cl_6 przy ciepłocie 26·2°	Stosunek
24 24	14·75	0·615

2) Woda wysycona gazem kwasem węglowym; roślina taż sama:

Liczba pęcherzyków na 1′ w świetle białem przy ciepłocie 27°	Liczba pęcherzyków na 1′ za Fe_2Cl_6 przy ciepłocie 27°	Stosunek
54 55 54·5	49 49·6 49·3	0·903

Po pewnej przerwie, spowodowanej najściem chmury, przedsięwziąłem nowe liczenie i znalazłem:

Ciepłota 28·2°	Ciepłota 28°	Stosunek
63 63 63 63	51 50 49·5 50·17	0·794

3) Teraz ulałem połowę wody i zastąpiłem ją zwyczajną wodą studzienną. Po doprowadzeniu wody do ciepłoty 28° C. znów li-

czyłem ilość pęcherzyków, wydobywających się w ciągu minuty, i znalazłem:

W świetle białem przy ciepłocie 28·2°	Za Fe_2Cl_6 przy ciepłocie 28·2°	Stosunek
31	20	0·628
32	20	
33	20	
32		
a przy powtórnem liczeniu		
33	20·5	

Po wypróżnieniu naczynia nalałem znów tej samej co poprzednio wody, nasyconej gazem kwasem węglowym, i naliczyłem pęcherzyków w ciągu minuty:

W świetle białem przy ciepłocie 31°	Za Fe_2Cl_6 przy ciepłocie 31°	Stosunek
85	73	0·851
87	73	
86	72	
	72·7	

Po małej chwilce:

W ciepłocie 30·8°	W ciepłocie 31·2°	Stosunek
81	66	0·815
81		
81		

4) Nareszcie odlałem połowę tej wody i zastąpiłem ją wodą, pozbawioną powietrza przez wygotowanie. Tu przez czas jakiś pęcherzyki nie wydzielały się wcale, dopiero po kwadransie, gdy zrobiłem nowy przekrój i na chwilę zanurzyłem roślinkę w zwyczajnej wodzie studziennej, a dopiero przeniosłem ją do wody do

doświadczenia przeznaczonej, pęcherzyki zaczęły się wydobywać; a gdy szybkość ich ustaliła się, naliczyć ich mogłem w ciągu 1 minuty:

W świetle białem przy ciepłocie 31·8°	Za Fe_2Cl_6 przy ciepłocie 31·8°	Stosunek
40	13	
40	14	0·337
40	13·5	

W innym dniu w tejże samej roślinie i w tym samym stosunku oświetlenia znalazłem w wodzie studziennej stosunek pęcherzyków 0·603; w wodzie studziennej, nasyconej gazem kwasem węglowym w sposób jak wyżej wzmiankowany, 0·884.

Doświadczenia te najzupełniej stwierdzają moje wywody teoretyczne co do wpływu gazów rozpuszczalnych w wodzie na wypadki metody liczenia pęcherzyków. Widzimy, że stosunek szukany wynosił od 0·79 do 0·90, gdy woda była mocno nasycona gazem kwasem węglowym i powietrzem; że, gdy tę wodę zmieszano z równą jej objętością wody wygotowanej, zmniejszył się tenże do 0·337; w zwyczajnej wodzie studziennej wynosił od 0·603 do 0·615; w tejże wodzie, pomieszanej z równą jej objętością wody kwasem węglowym nasyconej, 0·628.

Te liczby zgodnie z naszemi wywodami teoretycznemi pokazują, iż tam, gdzie woda zawiera więcej gazu kwasu węglowego i powietrza, stosunek liczby pęcherzyków przy słabszem i silniejszem przyswajaniu zawsze jest większy, niż tam, gdzie mniej gazów jest rozpuszczonych we wodzie. Który ze znalezionych stosunków najbliższym jest prawdziwego stosunku szybkości przyswajania, trudno stanowczo powiedzieć; jednak według wszelkiego prawdopodobieństwa ten, przy którym woda niezbyt wiele gazu kwasu węglowego, a wiele powietrza zawierała; wtenczas, jak to już przy teoretycznym rozbiorze widzieliśmy, błąd bywa najjednostajniejszy i najmniej zależny od szybkości przyswajania. Za używaniem przy porównawczem rachowaniu pęcherzyków wody zwyczajnej, miernie tylko nasyconej kwasem węglowym, przemawia jeszcze i to, że dalsze zmniejszanie się ilości tego kwasu

w wodzie mniej w tym razie wpływa na wypadki, niż kiedy woda z początku bardzo wiele zawierała gazu kwasu węglowego. Wypadki, otrzymane przy użyciu zwykłej wody studziennej (0·603, 0·615), mało tylko się różnią od wypadku z tąże wodą, miernie kwasem węglowym nasyconą (0·628); natomiast, gdy woda jest nim silnie wysycona, to już zmniejszenie się ilości jego wskutek dyfuzji do powietrza w ciągu stosunkowo krótkiego czasu znacznie wypadki zmienia (0·903 stosunek zmniejszył się do 0·794). Jednakowoż nie możemy stanowczo rozstrzygać, wobec jakich warunków porównawcze rachowanie pęcherzyków dawałoby wypadki najlepsze; do tego potrzebaby długiego szeregu doświadczeń, mających na celu porównanie wypadków z liczenia pęcherzyków z wypadkami bezpośrednio zapomocą rozbioru gazów otrzymanemi. Dopóki takich doświadczeń mieć nie będziemy, dopóty metoda rachowania pęcherzyków opierać się będzie na słabych podstawach.

Ostrożności przy liczeniu pęcherzyków.

1) Woda, użyta do badań, powinna w ciągu doświadczenia, o ile możności, nie zmieniać swej ciepłoty, bo:

a) zmiana ciepłoty zmienia siłę sprawy przyswajania;

b) zmienia warunki prądów dyfuzyjnych; oraz

c) zmienia objętość gazów, zbierających się w przestworach międzykomórkowych.

Stąd dalszy wniosek, że liczenie pęcherzyków nie może być z korzyścią użyte do dokładnego zbadania zależności rozkładu kwasu węglowego od ciepłoty, bo jakkolwiek względowi trzeciemu możnaby jeszcze zaradzić, dzieląc liczbę pęcherzyków przez $1+0{\cdot}00366\ (t-t')$, to wpływ ciepłoty na sprawy dyfuzyjne w roślinie nawet w przybliżeniu oznaczyć się nie da.

2) Przekrój łodygi powinien być zawsze umieszczany w jednej odległości od powierzchni wody, żeby gazy, z niego wydobywające się, zostawały ciągle pod jednakiem ciśnieniem.

3) Roślina powinna w jakikolwiek sposób być umocowaną, ażeby położenia swego względem światła nie zmieniała.

UWAGA. Wszystko, co powyżej, mianowicie w części pierwszej, o błędach w wypadkach liczenia pęcherzyków powiedzieliśmy, stosuje się również i do wypadków zbierania i mierzenia

gazów, wydzielających się z roślin wodnych; tylko jeszcze do powyżej rozebranych przybywają dalsze komplikacje, wynikające ze spraw dyfuzyjnych, odbywających się pomiędzy pęcherzykami, przez wodę przechodzącemi, a gazami, rozpuszczonemi w wodzie, oraz pomiędzy temi ostatniemi a gazami, które już zebrały się nad wodą. Z tego wszystkiego z łatwością wytłumaczyć sobie możemy ogromne różnice, jakie napotykamy w rozbiorach gazów, wywiązujących się z roślin, a przez różnych badaczów zbieranych. Z tych niezgodności, jak również z własnych rozbiorów, wykazujących stosunkowo nader wielką ilość kwasu węglowego (26%—100%) w zbieranych przez siebie gazach, wnosi Müller[1], że wypadki rozbiorów, dokonanych przez wszystkich jego poprzedników, nie zasługują na zaufanie. Zupełnie równem prawem wątpi Pfeffer[2] o dokładności rozbiorów Müllera. Jabym sądził, że nie należy być tak podejrzliwym. Rozbiór gazów nie przedstawia przecież żadnych tak szczególnych trudności, ażeby w nim błędów, kilkadziesiąt odsetków wynoszących, dopuszczać się można. Ta podejrzliwość jest tu tem zbyteczniejszą, że różnice ostatecznych wypadków najzupełniej z różnego sposobu urządzania doświadczeń wytłumaczyć się dadzą. Dość spojrzeć na przyrząd, jakiego używał Müller[3], aby się przekonać, że w gazach zebranych tylko bardzo mało azotu, a natomiast bardzo wiele gazu kwasu węglowego znajdować on musiał. Dość wspomnieć, że używał wody z wszelką starannością powietrza pozbawionej; naczynie z wodą i rośliną było korkiem choć nie szczelnie zamknięte i ciągły strumień kwasu węglowego utrzymywany. W tych warunkach woda była nim w zupełności pod ciśnieniem całej atmosfery nasyconą, prąd zatem dyfuzyjny kwasu węglowego z wody do rośliny musiał być bardzo silny, a według naszych powyższych wywodów, wielka ilość kwasu węglowego w zebranych przez Müllera gazach wcale dziwić nas nie powinna.

Wypadki powyższych teoretycznych i doświadczalnych badań możemy streścić w następujących zdaniach:

1) Rachowanie pęcherzyków lub mierzenie wydzielających się z przekroju rośliny gazów tylko w wyjątkowych warunkach może dać bezwzględną miarę szybkości przyswajania.

[1] Pringsheim's *Jahrbücher*. T. VII, str. 491.
[2] l. c. str. 7.
[3] l. c. Tab. XXXI.

2) Rachowanie pęcherzyków lub mierzenie objętości wydzielonych gazów daje wypadki za wielkie lub za małe w stosunku do ilości rozłożonego kwasu węglowego, stosownie do tego, czy woda wiele lub mało tegoż gazu i powietrza zawiera; błąd zaś będzie tem większy, im przyswajanie powolniejsze.

3) Wydzielanie się pęcherzyków nie może służyć do oznaczania najniższych granic, w których przyswajanie jeszcze odbywać się może.

4) Porównawcze liczenie pęcherzyków zupełnie nie może służyć do zbadania zależności szybkości przyswajania od ilości kwasu węglowego w wodzie rozpuszczonego.

5) Porównawcze liczenie pęcherzyków nie może doprowadzić do dokładnego zbadania wpływu ciepłoty na przyswajanie.

6) Przy badaniu wpływu oświetlenia na przyswajanie porównawcze liczenie pęcherzyków daje stosunek przyswajania przy słabszem i silniejszem oświetleniu większy lub mniejszy od prawdziwego, stosownie do tego, czy woda wiele czy mało zawiera w sobie kwasu węglowego i powietrza. Jeżeli woda jest powietrzem zupełnie nasycona, to stosunek znaleziony będzie za wielki tem bardziej, im więcej woda zawiera kwasu węglowego i im oświetlenie, którego wpływ badamy, jest słabsze. Jeżeli zaś woda mało lub wcale nie zawiera powietrza, to stosunek znaleziony będzie tem bardziej za mały, im woda mniej powietrza i gazu kwasu węglowego posiada i im oświetlenie jest słabsze.

7) Najdokładniejszych wypadków przy porównawczem rachowaniu pęcherzyków możemy się spodziewać wtedy, gdy woda jest nasycona powietrzem, a niezbyt wiele kwasu węglowego zawiera; a jeszcze korzystniejszych możnaby oczekiwać, gdyby woda, zawierając w roztworze znaczną ilość tlenu, nie zawierała wcale azotu.

De la méthode consistant à déterminer la vitesse de l'assimilation, en comptant les bulles de gaz qui se dégagent de la plante plongée dans l'eau [1].

(Mémoires et Comptes rendus de la Classe des Sciences mathémathiques et naturelles de l'Académie des Sciences à Cracovie. T. I. 1874, p. 210—246).

La décomposition de l'acide carbonique et de l'eau par les parties vertes des plantes, ainsi que la formation de la matière organique avec ces composants minéraux, sont certainement la fonction la plus importante de la vie végétale. C'est pourquoi, depuis que Sénébier et de Saussure ont fourni la preuve de la réalité de ce phénomène, on commença à l'étudier avec un vif intérêt. On étudia d'une part la nature de cette fonction et l'on fit des recherches de l'autre sur les conditions extérieures dans lesquelles elle peut le plus facilement se produire. Toutefois, pour se rendre compte de l'influence qu'exercent les différentes conditions sur la décomposition de l'acide carbonique, il fallait au moins évaluer la vitesse relative de ce processus. On élabora donc avec le temps différentes méthodes, dans le but de déterminer cette vitesse.

Parmi toutes ces méthodes, la plus facile, la plus simple et sans doute aussi la plus fréquemment employée, consiste à compter les bulles de gaz se dégageant de la plante plongée dans de l'eau. Ce procédé a été décrit la première fois par Sachs.

Lorsqu'on plonge dans de l'eau contenant de l'acide carbonique en solution, une plante quelconque dont on vient de couper transversalement la tige et lorsqu'on l'expose à l'action de la lumière, on voit bientôt des bulles de gaz s'échapper continuellement de

[1] La présente étude n'a été publiée qu'en polonais. (Note des éditeurs).

la surface de section. Si nous considérons le nombre de ces bulles se dégageant dans un certain espace de temps, nous ne tardons pas à nous apercevoir que lorsque les conditions extérieures, telles que la lumière et la température, restent les mêmes, nous avons affaire à un nombre constant. Au contraire, si la lumière augmente d'intensité ou devient plus faible, le nombre des bulles produites pendant le même laps de temps augmente ou diminue en conséquence.

C'est précisément sur cette observation que s'appuie la méthode inventée par Sachs pour déterminer la vitesse relative de l'assimilation dans différentes conditions extérieures. Elle consiste par conséquent à comparer le nombre des bulles s'échappant de la plante dans différentes conditions extérieures, pendant un espace de temps donné.

Cette méthode offre deux avantages qu'aucune autre ne pourrait se vanter de posséder.

1) Toutes les expériences sont exécutées sur la même plante, de sorte que nous évitons la source d'erreur la plus importante et la plus difficile à écarter, notamment l'influence qu'exercent les caractères individuels du végétal étudié. Lorsque nous appliquons n'importe quelle autre méthode, nous sommes obligés d'employer plusieurs plantes ou plusieurs feuilles dans les expériences comparées et de les étudier toutes dans différentes conditions; or, quiconque a fait des expériences pareilles ne saurait certainement ignorer, combien il est difficile de se procurer deux plantes, voire même deux feuilles tout à fait semblables. Aussi peut-on toujours avoir des doutes si les différences observées dépendent exclusivement des différentes influences que subissaient les plantes, ou si elles ne s'expliquent pas, du moins en partie, par leurs propriétés individuelles. On ne peut donc aboutir à des conclusions certaines dans ce genre de recherches, qu'à condition d'avoir entrepris une série d'expériences et de ne pas s'être contenté d'un petit nombre d'épreuves. Lorsque nous appliquons la méthode consistant à compter les bulles de gaz, nous sommes toujours en présence de la même plante que nous plaçons tour à tour dans différentes conditions, aussi les propriétés individuelles du végétal sont-elles incapables de modifier les résultats de l'expérience.

2) Nous sommes en état d'exercer un contrôle in-

cessant pour vérifier, si le pouvoir d'assimilation de la plante et les conditions extérieures de nature secondaire n'ont pas subi de changement. En effet, nos expériences sont séparées par de très courts intervalles, aussi lorsque nous rétablissons les mêmes conditions, devons-nous obtenir les mêmes résultats. Supposons p. ex. que nous avons l'intention de comparer la vitesse de l'assimilation sous l'action directe des rayons solaires, avec la vitesse du même processus se produisant à l'ombre. Nous exposons par conséquent la plante au soleil, puis après l'avoir abandonnée un moment, nous comptons les bulles qui s'en dégagent pendant une minute. Nous les comptons à plusieurs reprises et nous nous apercevons que leur nombre est toujours le même dans un espace de temps donné et qu'il s'élève p. ex. à 60 par minute. Nous plaçons ensuite la plante dans l'ombre, nous comptons de nouveau plusieurs fois les bulles et nous voyons qu'il s'en dégage p. ex. 20 par minute. Si à présent nous exposons encore une fois la plante au soleil, nous devrions pouvoir compter de nouveau 60 bulles par minute, chiffre que nous obtenons réellement la plupart du temps. Ainsi nous avons la certitude que la différence de 40 bulles par minute est uniquement attribuable aux différences d'éclairement.

La méthode de la numération des bulles donne plus de garanties d'exactitude que celles, où l'on recueille les gaz produits par la plante aquatique pour les analyser ensuite. En effet, par le fait de passer par l'eau, les gaz changent leur composition par suite de l'échange gazeux (diffusion), de sorte que lorsque nous les analysons, ils sont autrement composés, qu'au moment, où ils se dégageaient de la plante. Les changements que subissent les bulles en passant par l'eau pendant leur numération sont absolument indifférents, car il importe seulement que le nombre des bulles se dégageant dans un espace de temps donné soit en raison directe de la quantité d'acide carbonique décomposé dans le même laps de temps. Aussi ne comprend-on guère pourquoi N. H. Müller[1] voulait apercevoir un côté faible de la méthode de Sachs dans les changements que subit la bulle de gaz en passant par l'eau.

[1] Pringsheim's *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*. T. VII, p. 499 et 500.

Si la méthode consistant à compter les bulles est réellement inexacte, il faut chercher la source de ce défaut uniquement dans les circonstances qui font changer non pas leur composition chimique, mais bien dans celles qui modifient leur nombre. On comprend aisément que la diffusion, qui a lieu entre les bulles passant l'eau et les gaz dissous dans celle-ci, ne saurait avoir d'influence sur leur nombre, car seuls les processus, qui font déjà changer le volume des gaz dans les méats de la plante, sont capables de faire augmenter ou diminuer le nombre des bulles. Les échanges gazeux, autrement dit la diffusion entre les gaz dissous dans l'eau et ceux que contient la plante, peuvent effectivement exercer de l'influence sur les résultats qu'on obtient en appliquant la méthode en question.

Pour pouvoir nous rendre compte, dans quelle mesure la méthode dont nous nous occupons donne des garanties d'exactitude, nous voulons fixer notre attention sur les processus que nous venons de mentionner.

Supposons que la plante soit exposée à l'action de la lumière dans de l'eau qui contient en solution de l'air et de l'acide carbonique. Ces gaz passent à travers les membranes cellulaires et pénètrent dans les cellules, d'abord dans les cellules de l'épiderme puis dans les élements plus profonds pourvus de chlorophylle, où l'acide carbonique est décomposé, de sorte que l'oxygène s'y trouve à l'état libre. La cellule contient donc à présent plus d'oxygène et moins d'acide carbonique que l'eau dont elle est entourée, aussi une tendance à rétablir l'équilibre troublé doit-elle se manifester dans ces conditions. Toutefois, comme l'acide carbonique est plus soluble, l'échange de celui-ci se produit plus rapidement que l'échange de l'oxygène, de sorte que l'eau cède à la cellule une quantité d'acide carbonique bien supérieure à celle de l'oxygène passant de la cellule dans l'eau. Le surplus d'oxygène doit donc s'accumuler dans les lacunes. Comme l'acide carbonique est continuellement décomposé dans la cellule, de nouvelles quantités de ce gaz y pénetrent sans cesse de l'extérieur; une partie de l'oxygène rendu libre à la suite de cette décomposition passe donc sans cesse directement dans l'eau, tandis que l'autre est poussée dans les méats. Ainsi des quantités de plus en plus for-

tes d'oxygène s'accumulent dans ces méats. Cependant, à partir du moment, où ce gaz commence à y être emmagasiné, on voit intervenir un nouveau facteur dans les processus dont nous venons de parler, notamment la diffusion entre cet oxygène et les gaz que contient la cellule.

Il nous faut donc examiner les courants de diffusion suivants:

1) le courant d'acide carbonique partant de l'eau pour aller aux cellules;

2) le courant d'azote allant de l'eau aux cellules;

3) le courant d'oxygène allant des cellules à l'eau;

4) le courant d'oxygène partant de cellules pour aboutir aux lacunes;

5) le courant d'acide carbonique qui part des cellules pour rejoindre l'oxygène que contiennent ces lacunes;

6) le courant d'azote partant des cellules pour aller à l'oxygène accumulé dans les lacunes.

Pour pouvoir examiner plus facilement toutes ces questions, nous indiquerons par O la quantité d'oxygène produit dans un espace de temps donné, grâce à la décomposition de l'acide carbonique dans la plante; nous désignerons par w la quantité d'oxygène passant directement de la cellule dans l'eau pendant le même espace de temps; nous appellerons e la quantité d'acide carbonique passant en même temps des cellules dans les méats; nous comprendrons par n la quantité d'azote qui s'echappe des cellules pendant le même laps de temps pour penétrer dans les lacunes, enfin nous indiquerons par V la quantité globale des gaz qui s'accumulent pendant le même temps dans ces méats. Le nombre des bulles se dégageant en même temps de la plante, dépend évidemment d'une façon directe de la grandeur de V[1]. Il faudra donc nous renseigner sur les conditions dont dépend cette valeur.

On s'aperçoit que V comprend l'oxygène produit dans les cellules, moins la quantité de ce gaz qui passe directement des cellules dans l'eau, plus la quantité d'acide carbonique et d'azote qui pénètrent des cellules dans les méats. Par conséquent

$$V = O + (e + n - w).$$

[1] Dans le présent travail, nous exprimerons toujours la quantité par le volume qui correspond à la température dans laquelle ont été exécutées les expériences.

Nous pouvons poursuivre deux buts différents en étudiant la vitesse de l'assimilation. En effet, nous pouvons étudier soit la vitesse absolue de la décomposition de l'acide carbonique, soit le rapport de dépendance entre l'énergie de l'assimilation et les différentes conditions, en d'autres termes il peut s'agir pour nous de connaître la vitesse relative du processus. La méthode consistant à compter les bulles de gaz, a été presque exclusivement appliquée jusqu'ici à l'étude de cette dernière question. Quelques auteurs seulement ont eu recours à ce procédé pour juger d'après la production ou l'absence de bulles, si l'assimilation peut encore avoir lieu dans certaines conditions.

La détermination de la vitesse absolue de l'assimilation par la méthode de la numération des bulles ne serait pas tout à fait impossible, car on pourrait fixer le volume absolu des gaz qui se dégagent dans un certain espace de temps, en s'appuyant sur le nombre et le volume des bulles qu'on pourrait calculer d'après leur diamètre.

Notre tâche principale consiste cependant à montrer dans quelle mesure la méthode de la numération des bulles pourrait donner des résultats exacts, lorsqu'il s'agit de connaître la vitesse relative de l'assimilation. Toutefois, comme cette question est plus compliquée et par conséquent plus ardue, nous examinerons d'abord, pour en rendre la solution plus facile, les conditions dans lesquelles notre méthode est exacte, lorsqu'on s'en sert pour déterminer la vitesse absolue de l'assimilation.

I.

Le nombre de bulles considéré comme mesure de la vitesse absolue de l'assimilation.

La première condition à laquelle il est indispensable de satisfaire lorsqu'on veut appliquer notre méthode pour se rendre compte de la vitesse absolue de l'assimilation, consiste à faire se dégager les bulles uniquement du point, où on les compte. Si cette condition est remplie, le nombre des bulles multiplié par leur volume doit être égal à V. Or nous savons que

$$V = O + (e + n - w).$$

Les trois cas suivants peuvent se présenter ici: $e + n - w$ peut soit être égal à zéro, soit être plus grand, soit enfin plus petit que zéro.

1) Lorsque $e+n-w=0$, la méthode de la numération des bulles employée pour déterminer la vitesse absolue de l'assimilation donnerait des résultats tout à fait exacts (mais seulement dans ces conditions). En effet, ce n'est qu'alors que $V=O$, ce qui revient à dire que la quantité de gaz s'échappant sous forme de bulles est égale à la quantité d'oxygène mis en liberté à la suite de la décomposition de l'acide carbonique.

2) Lorsque $e+n \quad w>0$, autrement dit, quand $e+n>w$, nous voyons également $V>O$. L'application de la méthode de la numération des bulles doit donner alors des résultats dont la valeur est supérieure à celle des résultats exacts.

3) Lorsque $e+n-w<0$, soit lorsque $e+n<w$, on voit également $V<O$. La méthode de la numération des bulles donne alors des résultats trop bas.

Examinons à présent les conditions dont dépend la valeur $e+n-w$.

A) *e* dépend:

1) de la quantité d'acide carbonique dissous dans le contenu de la cellule, par conséquent:

a) de la quantité de ce gaz que contient l'eau entourant la plante, car c'est de cette quantité que dépend la vitesse avec laquelle l'acide carbonique décomposé est remplacé par du gaz nouveau;

b) de la lenteur de l'assimilation, car plus celle-ci est lente, plus le contenu de la cellule peut être saturé d'acide carbonique.

2) La valeur *e* dépend également de la quantité d'acide carbonique que contiennent déjà les lacunes; en effet, plus l'oxygène renfermé dans ces espaces s'est mélangé avec une plus grande quantité d'acide carbonique, plus une nouvelle quantité de ce gaz quittera lentement les cellules. Par conséquent, plus le CO_2 accumulé dans les méats sera rapidement évacué, plus la quantité de ce gaz augmentera avec rapidité; or comme la vitesse avec laquelle les gaz sont évacués, c'est-à-dire la vitesse de leur élimination sous forme de bulles par la plante dépend de la rapidité avec laquelle se produit l'assimilation, la vitesse de ce dernier processus agit dans le sens d'une augmentation de la valeur de *e*.

Nous voyons par conséquent que la vitesse de l'assimilation agit d'une part dans le sens d'une diminution de la valeur de *e*, vu qu'elle ne permet pas au contenu de la cellule de se saturer d'acide carbonique et que d'autre part, elle fait augmenter cette valeur par suite de l'élimination plus rapide des gaz; elle peut donc produire soit une augmentation, soit une diminution de la valeur de *e*, suivant que l'une ou l'autre de ces influences l'emporte.

B) *n* dépend:

1) de la quantité d'azote dissous dans l'eau, par conséquent du degré auquel l'eau est saturée d'air;, en effet plus l'eau en contient, plus l'azote éliminé des cellules et ayant pénétré dans les canaux aérifères, est rapidement remplacé;

2) de la vitesse de l'assimilation, car c'est de ce facteur que dépend la vitesse avec laquelle les gaz, par conséquent aussi l'azote, sont éliminés des méats; en conséquence, l'équilibre entre l'azote que contiennent ces gaz et l'azote dissous dans le contenu des cellules, est d'autant plus difficile à rétablir que l'assimilation est plus rapide.

C) *w* dépend:

de la différence entre la quantité d'oxygène dissous dans le contenu des cellules et dans l'eau où elles baignent; cette valeur dépend par conséquent:

1) de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, autrement dit du degré où l'eau n'est pas encore saturée d'air, car plus l'eau contient d'oxygène, plus ce gaz y passe difficilement des cellules;

2) de la quantité d'oxygène dissous dans le contenu des cellules, par conséquent de la vitesse de l'assimilation. Toutefois, comme l'oxygène est difficilement soluble, le contenu cellulaire est très vite saturé de ce gaz sous la pression d'une atmosphère; comme l'oxygène pénètre facilement dans les lacunes à travers les membranes, la pression dans la cellule ne dépasse probablement jamais cette limite et elle n'est en tout cas pas proportionnelle à la vitesse de l'assimilation. C'est pourquoi *w* ne peut également pas être proportionnel à cette pression.

Ainsi la valeur de $e+n-w$ dépend:

1) de la quantité d'acide carbonique et d'air en solution dans l'eau dont on s'est servi pour exécuter l'expérience;

2) de la vitesse de l'assimilation. La grandeur de l'erreur commise en déterminant la vitesse de l'assimilation par la méthode de la numération des bulles dépend évidemment du rapport entre $e+n-w$ et O, par conséquent nous pouvons l'exprimer par la fraction $\frac{e+n-w}{O}$. Il nous faut donc examiner la question de savoir, quelle est la valeur de cette fraction lorsque l'eau contient en solution une plus grande ou une plus petite quantité de gaz, et lorsque l'assimilation est plus intense ou plus faible.

La valeur $\frac{e+n-w}{O}$ suivant les différentes conditions.

1) *Lorsque l'eau est fortement saturée d'air et d'acide carbonique.*

Lorsque ce cas se présente, la valeur de e et de n est élevée, tandis que celle de w est très basse; par conséquent, plus l'eau est riche en acide carbonique et en air, plus $e+n-w$ et en conséquence $\frac{e+n-w}{O}$ seront élevés. La méthode de la numération des bulles donne donc des résultats trop élevés dans ces conditions.

On s'aperçoit que l'erreur sera d'autant plus grande, que l'assimilation est faible, car le dénominateur (O) de la fraction sera d'autant plus petit et le numérateur d'autant plus grand (e d'autant plus grand, w d'autant plus petit). Il est vrai que, d'après ce que nous avons dit plus haut, quand la décomposition de l'acide carbonique est très faible, e peut être plus petit que lorsque l'assimilation est plus intense, parce que les gaz dans les lacunes et dans les cellules se rapprochent de l'état d'équilibre. Dans le premier cas $e+n-w$ serait plus petit que dans le second. Cependant, comme la valeur du dénominateur diminue, la fraction $\frac{e+n-w}{O}$ est malgré tout plus grande lorsque l'assimilation est plus lente.

Il peut même arriver, lorsque l'eau est plus fortement saturée de gaz que, quoique $O=0$, $e+n-w>0$, par conséquent $V>0$,

c'est-à-dire que les bulles peuvent continuer à se dégager de la plante, bien que l'assimilation ait cessé d'avoir lieu. Ce cas se présente effectivement, lorsque au moment où la décomposition de l'acide carbonique a cessé de se produire, l'équilibre entre les gaz dans les méats et les gaz en solution dans le contenu des cellules, n'est pas encore rétabli. Lorsque p. ex. une plante plongée dans de l'eau fortement saturée d'acide carbonique et d'air, est soustraite à l'action du soleil, puis placée subitement dans l'obscurité, les bulles continuent à s'en échapper, quoique la décomposition de l'acide carbonique doive immédiatement s'arrêter par suite du manque de lumière. Van Tieghem[1] qui le premier avait observé ce phénomène, a prétendu d'abord, que comme c'est le cas pour la phosphorescence, la lumière était absorbée par la plante et que grâce à elle, le végétal continuait à décomposer le CO_2. Cependant Lecoq[2] prit immédiatement position contre cette interprétation et l'on vit ensuite Van Tieghem renoncer lui-même à son explication, corriger son erreur et interpréter le phénomène observé d'une façon satisfaisante[3].

Une autre observation enregistrée par Van Tieghem, s'explique également d'une façon analogue. Cet auteur a remarqué que les bulles ne se dégageaient plus, lorsque la lumière agissant sur la plante était diffuse; toutefois lorsque le végétal était exposé à l'action de cette lumière après avoir été éclairé par les rayons solaires, les bulles de gaz continuaient à s'en échapper. Van Tieghem a supposé que tout en n'étant pas capable de déclancher la décomposition du CO_2, la lumière diffuse pouvait prolonger ce processus commencé sous l'influence des rayons solaires. Il faut cependant tenir compte de la circonstance que, comme nous le verrons dans la suite, le fait de ne pas produire de bulles, n'est pas une preuve que l'acide carbonique ne soit en général pas décomposé, car il ne nous apprend pas autre chose que O n'est pas plus grand que $w - e$.

C'est encore d'une façon analogue qu'il faut expliquer le phénomène suivant que Wolkoff m'a fait voir plusieurs fois au laboratoire de botanique à Wurtzbourg: la plante *Elodea cana-*

[1] Comptes rendus. 1867. T. 65, p. 867.
[2] Comptes rendus. 1867. T. 65, p. 1114.
[3] Comptes rendus. T. 69, p. 531.

densis placée dans de l'eau contenant de l'acide carbonique, produisait d'abondantes bulles de gaz sous l'action des rayons solaires. Après avoir enveloppé le récipient de papier noir, la production des bulles s'arrêtait immédiatement, néanmoins, lorsqu'on faisait passer un courant de CO_2 à travers l'eau, elles se montraient de nouveau et continuaient à se dégager pendant un temps assez long, de sorte qu'on pouvait en compter à peu près 6 par minute. Ce phénomène dont alors nous ne pouvions saisir la cause, s'explique pourtant d'une façon très simple. Au moment où le récipient était plongé dans l'obscurité, l'équilibre entre les gaz dans les méats et ceux en solution dans le contenu des cellules d'une part, comme l'équilibre entre ces derniers et les gaz dissous dans l'eau de l'autre, n'était pas assez troublé pour que son rétablissement pût déclancher l'expulsion des bulles de gaz; pourtant quand on eût établi un courant de CO_2 à travers l'eau, l'équilibre entre l'acide carbonique dissous dans l'eau et le même gaz dans les cellules fut changé, aussi le CO_2 dut-il passer de l'eau dans les éléments cellulaires. Cette nouvelle quantité d'acide carbonique ayant pénétré dans les cellules, avait troublé l'équilibre entre les gaz que contenaient celles-ci et les gaz dans les lacunes; en conséquence l'acide carbonique devait passer des cellules dans les espaces intercellulaires, y faire augmenter le volume des gaz et déclancher la production de bulles.

2) *Lorsque l'eau contient beaucoup d'air, mais très peu d'acide carbonique.*

L'eau naturelle dans laquelle vivent les plantes, répond précisément à cette condition. Lorsqu'elle est donnée, surtout lorsque l'intensité de la lumière n'est pas trop faible, $e = 0$, de sorte que $V = O + n - w$. Si dans ce cas également $n - w > 0$, c'est que nous avons affaire à une grande quantité d'azote dans le mélange de gaz que contiennent les bulles se dégageant dans ces conditions.

Ainsi Knop[1] n'a trouvé dans les gaz que renfermaient les bulles que 32 à 33% d'oxygène, tandis que le reste correspondait à l'azote. La quantité d'azote était par conséquent plus de deux fois supérieure à celle de l'oxygène, soit

$$n \quad 2(O - w) \quad \text{ou} \quad n \quad w > 2O - 3w;$$

[1] Ueber das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen. Leipzig 1853.

par conséquent, si $O > \frac{3}{2}w$, comme c'était certainement le cas, $n - w > 0$. Ainsi, déjà dans ce cas-là la méthode de la numération des bulles donnerait des résultats trop élevés.

La quantité d'azote éliminé par des plantes plongées dans de l'eau continuellement renouvelée, n'était pas inférieure dans les expériences de Cloez et Gratiolet[1]. Nous pouvons admettre par conséquent que lorsque l'eau contient de petites quantités d'acide carbonique, mais renferme beaucoup d'air en solution, la méthode de la numération des bulles donne des résultats trop élevés, en d'autres termes, que la plante élimine un volume de gaz supérieur à celui de l'oxygène produit par la décomposition du CO_2.

Nous avons dit plus haut, et les chiffres cités par Cloez et Gratiolet confirment en tout point cette affirmation, que la valeur de n est d'autant plus élevée que la vitesse de l'assimilation est grande; or, comme w ne subit qu'une augmentation relativement petite à la suite d'une plus forte assimilation, la valeur de $n - w$ est d'autant plus grande que la vitesse de ce processus augmente. Cette valeur augmentée ne nous autorise pourtant pas à admettre que l'erreur est plus grande lorsqu'il s'agit d'une assimilation plus rapide, que lorsque ce processus est plus lent, car, quoique $n - w$ soit alors plus grand, $\frac{n-w}{O}$ peut être plus petit, si $n - w$ n'augmente pas dans la même proportion que O.

Les chiffres que donnent Cloez et Gratiolet nous apprennent en effet, que moins la plante élimine de gaz en général, plus ce mélange contient d'azote, en d'autres termes, plus $\frac{n}{O-w}$ est grand. Or, comme le ralentissement de l'assimilation ne pouvait pas faire augmenter la valeur de w, l'augmentation de $\frac{n}{O-w}$ dépend exclusivement de la diminution de O. Si par conséquent $\frac{n}{O-w}$ est plus grand lorsque l'assimilation est plus faible que lorsqu'elle est plus intense, d'autant plus $\frac{n}{O}$ doit être plus grand dans le premier cas

[1] Annales de Chimie et de Physique. 1851. T. 32, p. 57.

que dans le second; il est donc probable que $\frac{n-w}{O}$ sera également plus grand lorsque l'assimilation deviendra plus lente. Il nous faut cependant attirer l'attention sur la circonstance que l'augmentation de la valeur $\frac{n-w}{O}$ à la suite du ralentissement de l'assimilation n'est que la conséquence de ce que le dénominateur de la fraction diminue plus rapidement que le numérateur; en attendant, lorsque en dehors de l'air, l'eau contenait également beaucoup de CO_2, on voyait non seulement diminuer la valeur du dénominateur, car celle du numérateur augmentait en même temps. En définitive, lorsque l'eau renferme beaucoup d'air et peu d'acide carbonique, l'erreur est d'autant plus grande que l'assimilation est faible. La grandeur de cette erreur dépend cependant bien moins de la lenteur de l'assimilation, que lorsque l'eau est encore fortement saturée de CO_2.

3) *Lorsque l'eau contient une plus ou moins grande quantité d'acide carbonique, mais ne renferme que peu d'air.*

L'eau bouillie saturée ultérieurement de CO_2, réalise précisément cette condition. Si dans nos expériences nous nous servons d'une eau ainsi préparée, n sera très petit, ou $= 0$, tandis que la valeur de w sera très élevée et cela d'autant plus que l'eau employée contiendra moins d'air. Dans ces conditions, la méthode de la numération des bulles donnera des résultats trop bas, d'autant plus bas que la valeur de $\frac{w-(e+n)}{O}$ sera grande [car au lieu de $O+e+n-w$, nous pouvons écrire $O-(w-(e+n))$]; ce cas se produira par conséquent, plus w sera grand et $e+n$ petit; en d'autres termes, moins l'eau contiendra d'air et d'acide carbonique. Cette fraction sera d'autant plus grande que la vitesse de l'assimilation sera petite, car d'autant plus petit sera alors le dénominateur O. Cependant, si l'eau est très riche en CO_2, la lenteur de l'assimilation fera augmenter la valeur de e, de sorte qu'elle pourrait faire diminuer la valeur de la fraction. Ainsi, lorsque l'eau ne contient qu'une très faible quantité d'air ou n'en renferme pas du tout et lorsqu'elle n'est pas riche en acide carbonique, la méthode de la nu-

mération des bulles donne des résultats trop bas; ceux-ci sont d'autant plus bas, que l'eau contient moins d'acide carbonique et d'air et que la vitesse de l'assimilation est plus réduite.

Il résulte de l'équation $V = O - [w - (e + n)]$, que lorsque $w - (e + n) = O$, $V = 0$, quoique $O > 0$; en d'autres termes, les bulles ne se dégagent pas, quoique le processus de l'assimilation continue. Ce cas peu se présenter d'autant plus facilement, que la valeur de O est petite et celle de w élevée, par conséquent moins l'eau contient d'air et plus l'assimilation est lente.

L'influence de la température.

Si nous voulons nous faire une idée de la vitesse absolue de l'assimilation d'après la vitesse avec laquelle se dégagent les bulles, il est indispensable de tenir compte de la température dans laquelle nous exécutons nos expériences, car, vu la valeur élevée du coefficient de dilatation des gaz, le volume apparent de ceux-ci dépend dans une large mesure des conditions thermiques. Par conséquent, si au moment de compter les bulles la température correspondait à t et si l'on voulait connaître le nombre des bulles qui se dégageraient dans la température t', la vitesse de l'assimilation et les échanges gazeux étant les mêmes, il faudrait diviser ce nombre par $1 + 0{\cdot}00366\ (t - t')$.

II.

Le nombre de bulles considéré comme mesure de la vitesse relative de l'assimilation.

Après avoir analysé les facteurs dont dépend la différence absolue entre le nombre effectif de bulles et celui des bulles que nous devrions trouver pour servir de mesure absolue de l'assimilation, nous pouvons aborder la seconde partie, plus importante, de notre tâche et nous occuper de la critique de notre méthode considérée comme mesure de la vitesse relative avec laquelle le CO_2 est décomposé. Il ne s'agit pas que le nombre de bulles multiplié par leur volume soit égal à la quantité d'oxygène devenu libre par le fait de la décomposition de l'acide carbonique, car ce qui importe, c'est que le nombre de bulles se dégageant dans différentes conditions soit proportionnel à la quantité d'oxy-

gène devenu libre dans les mêmes conditions par la décomposition du CO_2. Par conséquent, si précédemment nous avons étudié les conditions dans lesquelles $V = O$, il ne s'agira pour nous à présent que de voir $\frac{V'}{V} = \frac{O'}{O}$, soit $\frac{O' + e' + n' - w'}{O + e + n - w} = \frac{O'}{O}$ [1]. De même qu'auparavant $e + n - w = 0$ était la condition de l'exactitude des résultats, cette valeur peut ici être plus grande ou plus petite que 0, pourvu que $\frac{e' + n' - w'}{e + n - w} = \frac{O'}{O}$. Si dans le premier cas la grandeur de l'erreur était exprimée par la fraction $\frac{e + n - w}{O}$ ou par $\frac{w - (e + n)}{O}$, nous l'exprimerons ici par $\frac{\frac{O' + e' + n' - w'}{O + e + n - w} - \frac{O'}{O}}{\frac{O'}{O}}$, soit par

$$\frac{\frac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{(O + e + n - w)\,O}}{\frac{O'}{O}} \quad \ldots \quad (1);$$

ou bien, lorsque $e + n - w > O$, par

$$\frac{\frac{O'}{O} - \frac{O' - [w' - (e' + n')]}{O - [w - (e + n)]}}{\frac{O'}{O}},$$

soit par

$$\frac{\frac{O\,[w' - (e' + n')] - O'\,[w - (e + n)]}{O\,[O - (w - e + n)]}}{\frac{O'}{O}}.$$

Examinons à présent la grandeur de cette erreur, telle qu'on l'observe dans différentes conditions.

1) *Lorsque l'eau est très fortement saturée d'air et d'acide carbonique.*

Nous savons déjà par ce qui précède que dans ces conditions $e + n - w > 0$ et cela d'autant plus, que l'eau est fortement sa-

[1] Les valeurs V, O, e, n et w, se rapportent au nombre de bulles se dégageant dans les conditions les plus favorables, nombre avec lequel nous comparons d'autres, désignés par V', O', e', n' et w'.

turée de CO_2 et d'air et que l'assimilation est lente, de sorte que si $e' + n' - w'$, $e'' + n'' - w''$, $e''' + n''' - w'''$, se rapportent à une assimilation de plus en plus lente, $e + n - w < e' + n' - w' < e'' + n'' - w'' < e''' + n''' - w'''$ etc., jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle $e + n - w$ commence de nouveau à diminuer, parce que le gaz se rapproche de l'équilibre.

Nous considérons $O + e + n - w$, c'est-à-dire la quantité des bulles s'échappant de la plante dans les conditions les plus favorables comme une constante à laquelle nous rapportons le nombre des bulles se dégageant pendant le même laps de temps, dans des conditions moins propices. Comme O, e, n et w ne varient pas, la valeur de (1) dépend de celle des quantités O', e', n', w'. Plus O' est petit, plus $e' + n' - w'$ est grand; d'autre part plus $e' + n' - w'$ est grand et O' petit, plus la valeur de la fraction (1) exprimant la grandeur de l'erreur est grande; en effet, non seulement le dénominateur de la fraction devient plus petit dans ces conditions, car on voit augmenter en même temps la valeur du numérateur. Par conséquent, lorsque l'eau est fortement saturée d'acide carbonique et d'air, le rapport entre les nombres correspondant aux bulles produites dans des conditions moins favorables ou plus propices à l'assimilation, est plus élevé que le vrai rapport entre les vitesses respectives avec lesquelles ce processus a lieu dans les mêmes conditions. Quant à l'erreur, elle est d'autant plus grande, que les conditions sont moins favorables à l'assimilation. Ainsi, lorsque nous employons la méthode de la numération des bulles, pour comparer la vitesse de l'assimilation dans différentes conditions de lumière, nous obtenons pour une lumière plus faible des résultats plus élevés par rapport à une autre plus intense, que ceux auxquels nous devrions nous attendre et celà d'autant plus, que la lumière est plus faible. Des recherches expérimentales ont conduit Pfeffer à ce résultat il y a deux ans et ce sont précisément les expériences de ce savant qui m'ont encouragé à étudier le côté théorique de la méthode de la numération des bulles.

Pfeffer[1] a étudié dans les détails l'influence qu'exerçait la lumière de différentes couleurs sur la décomposition de l'acide car-

[1] Arbeiten des botanischen Instituts zu Würzburg. Fascicule I, p. 53.

bonique. Il a entrepris des expériences d'une part sur des plantes terrestres, en se servant de la méthode gazométrique, par conséquant en déterminant la quantité du CO_2 décomposé sous l'action de rayons lumineux de différentes couleurs, d'une autre il a étudié la même question sur des plantes aquatiques, en appliquant la méthode de la numération des bulles. Les plantes placées dans un milieu approprié, étaient introduites sous une cloche à deux parois, entre lesquelles se trouvait un liquide coloré, de sorte que la lumière ne pouvait agir sur les végétaux qu'après avoir passé à travers ce liquide.

Nous reproduisons sans le modifier le tableau donné par Pfeffer, où cet auteur a mis en regard les résultats obtenus en appliquant la méthode gazométrique et en se servant de la méthode de la numération des bulles. Les chiffres indiquant la quantité de CO_2 décomposé ou le nombre des bulles produites dans la lumière ayant passé à travers des liquides de différentes couleurs, expriment en pour-cents les quantités d'acide carbonique correspondant à l'assimilation dans la lumière blanche.

A gauche de la première colonne de chiffres on trouve l'énumération des liquides que devait traverser la lumière pendant l'étude de l'assimilation.

Liquides que devait traverser la lumière	Quantité de CO_2 décomposé pendant l'espace de temps où elle équivalait à 100 dans la lumière blanche	Nombre de bulles produites pendant l'espace de temps où il équivalait à 100 dans la lumière blanche	Différences
Eau	100	100	0
Bichromate de potassium	88·6	94·3	5·7
Orseline	53·9	62·1	8·2
Violet d'aniline	38·9	50·0	11·1
Rouge »	32·1	44·6	12·5
Chlorophylle	15·9	29·2	13·3
Solution ammoniacale d'oxyde de cuivre	7·6	19·2	11·6

Nous voyons que si les chiffres de la première et de la seconde colonne sont assez rapprochés, cette concordance n'est cependant pas complète. Elle est plus satisfaisante lorsque le nombre des bulles est plus élevé, mais elle s'écarte de plus en plus de

l'égalité à mesure que leur nombre diminue, autrement dit plus l'assimilation est lente. Nous attirons spécialement l'attention sur la circonstance que les nombres de la seconde colonne accusent un excédent par rapport à ceux de la première. Il ne s'agit plus ici d'un excédent relatif par rapport au nombre de bulles, mais bien d'un excédent absolu, d'autant plus grand que ce nombre est moins élevé. Seule le nombre des bulles échappées lorsque la lumière devait traverser une couche de solution ammoniacale d'oxyde de cuivre, constitue une exception à cet égard. Voyons à présent comment Pfeffer explique ces phénomènes: »L'oxygène produit à la suite de la décomposition de l'acide carbonique passe en partie de la cellule directement dans l'eau qui l'entoure; néanmoins la plus grande partie de ce gaz pénètre dans l'intérieur de la plante pour s'y accumuler à l'état gazeux dans les lacunes ainsi que dans les canaux aérifères et pour affluer du côté de la blessure, qui lui permet de s'échapper. Le long du trajet qu'il doit parcourir depuis le lieu où il a été produit, d'autres gaz, notamment l'azote et l'acide carbonique, contenus également dans la plante, se mêlent à l'oxygène. L'équilibre peut d'autant plus facilement être établi, plus le gaz a un long trajet à faire, ou bien encore plus il lui faut de temps pour parcourir une distance donnée. Or, nous savons que la vitesse avec laquelle se dégagent les bulles sous l'influence des rayons lumineux de différentes couleurs, est très variable, aussi devons-nous supposer qu'elles sont d'autant plus pauvres en oxygène qu'elles se dégagent plus lentement. Il en résulte que par le fait de comparer le nombre des bulles, nous devons obtenir des résultats d'autant plus élevés par rapport à l'assimilation telle qu'elle est en réalité, que la décomposition de l'acide carbonique est plus faiblement activée par les rayons solaires qui la déclanchent«.

L'explication qu'on vient de lire est absolument manquée, aussi ai-je fidèlement traduit le passage entier pour permettre au lecteur de se faire une opinion personnelle sur cette question. Pour expliquer que le volume des gaz différents de l'oxygène augmente plus fortement dans les lacunes à la suite du mélange avec d'autres, quand la production des bulles est lente que lorsqu'elle est rapide, Pfeffer suppose comme nous voyons, que dans le premier cas ces gaz ont plus de temps pour se saturer d'acide carbonique et d'azote que dans le second. Il s'agit cependant d'ex-

pliquer pourquoi dans le même espace de temps, une plus grande quantité de ces autres gaz se mélange avec les premiers lorsque la production des bulles est plus lente, que lorsqu'elle est plus rapide. L'espace de temps dans lequel ces gaz passent du suc cellulaire dans les canaux aérifères, est ici toujours le même et correspond p. ex. à 1 minute, mais une fois ils sont mélangés avec une moindre quantité d'oxygène mis en liberté pendant l'assimilation, tandis qu'une autre fois cette quantité est plus forte. La circonstance que les gaz produits traversent plus lentement la plante et se rapprochent ainsi plus de l'équilibre avec ceux que contiennent les cellules, est donc loin d'être la cause que la quantité absolue des gaz qui pénètrent des cellules dans les méats dans un moment donné, a pu augmenter; au contraire, plus l'équilibre s'établit, plus la diffusion doit être lente. Le facteur que fait intervenir Pfeffer doit agir par conséquent non dans le sens d'une augmentation, mais bien dans le sens d'une diminution de la quantité des gaz qui se mélangent dans un espace de temps donné avec l'oxygène se dégageant à la suite de la décomposition du CO_2. On s'aperçoit ainsi que, comme je l'ai dit auparavant, l'explication donnée par Pfeffer est absolument erronée. Les observations enregistrées par cet auteur s'expliquent sans la moindre difficulté à notre point de vue et ne peuvent qu'appuyer notre argumentation.

On s'aperçoit de plus en plus clairement, que la quantité excessive de bulles se dégageant lorsque l'assimilation est en baisse, ne dépend pas de la circonstance que les gaz ont plus de temps pour rétablir l'équilibre avec les autres gaz que contient la plante, mais qu'elle s'explique par le fait que le contenu des cellules peut être plus fortement saturé d'acide carbonique parce que le CO_2 qui y parvient n'est pas aussi vite décomposé; plus ce contenu est saturé d'acide carbonique, plus celui-ci pénètre rapidement dans l'oxygène que contiennent les méats, plus il augmente le volume des gaz qu'ils renferment. C'est précisément pour cette raison, comme nous l'avons dit plus haut, que plus O est petit (jusqu'à une certaine limite), plus $e + n - w$ est grand. Les chiffres réunis dans la dernière colonne du tableau, n'indiquent pas la valeur totale de l'erreur suivant la formule

$$\frac{\dfrac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{(O + e + n - w)\,O}}{\dfrac{O'}{O}},$$

car ils n'expriment que la grandeur

$$\frac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{O}.$$

Lorsque O' diminue, on voit augmenter $e' + n' - w'$, par conséquent aussi la valeur de toute la fraction ainsi que les chiffres donnés par Pfeffer en fournissent réellement la preuve; cependant, lorsque l'assimilation est déjà faible à tel point que les gaz se rapprochent de l'équilibre complet, la diminution progressive de O' peut entraîner également la réduction de la valeur de $e' + n' - w'$, par conséquent la diminution de toute la fraction. En effet, la comparaison des résultats obtenus dans l'expérience, où la lumière devait passer à travers une solution ammoniacale de cuivre, avec ceux que donnèrent les épreuves avec du rouge d'aniline et de la chlorophylle, nous apprennent qu'il en était réellement ainsi.

Comme Pfeffer s'appuyait sur une supposition erronée, il ne pouvait expliquer autrement ce résultat qu'en admettant une erreur dans l'expérimentation. »C'est précisément en faisant passer la lumière à travers ce liquide — dit-il — lorsque la production des bulles était la plus lente, qu'une erreur pouvait le plus facilement se glisser dans la numération«.

On peut encore plus facilement se rendre compte de la signification des chiffres donnés par Pfeffer, si l'on suppose que $e + n - w = 0$, autrement dit, lorsqu'on admet que sous l'action de la lumière blanche on obtient des résultats exacts; lorsque ce cas se présente $\dfrac{(e' + n' - w')\,O - (e + n - w)\,O'}{O} = e' + n - w'$, de sorte que les nombres de la dernière colonne correspondent directement aux valeurs de $e' + n' - w'$, $e'' + n'' - w''$, $e''' + n''' - w'''$ etc.; or, jusqu'à une certaine limite, ces nombres seront d'autant plus petits que O', O'', O''' etc. le seront également, comme c'est réellement le cas.

Nous voyons par conséquent que les expériences de Pfeffer ont abouti aux résultats auxquels nous amène l'étude théorique de la question que cet auteur avait cependant mal posée.

concentrée de chlorure ferrique que je versais dans un cylindre en verre de 30 cm. de hauteur et de 9 cm. de diamètre. La plante *(Potamogeton lucens)* était placée dans un autre cylindre dont la hauteur s'élevait également à 30 cm., mais qui ne mesurait que 4 cm. de diamètre. Il était rempli d'eau presque jusqu'aux bords. La surface de section de la tige se trouvait à 2 cm. au-dessous du niveau de l'eau. Pour empêcher autant que possible que la quantité des gaz dissous dans l'eau ne varie au cours de l'expérience, je bouchais, quoique pas hermétiquement, le cylindre avec un bouchon et j'introduisais par une ouverture pratiquée dans celui-ci, un thermomètre dont le bout plongeait dans l'eau. Toutes les fois que l'eau était changée, j'en faisais monter la température jusqu'à ce qu'elle fût égale à celle de la solution de chlorure ferrique placée au soleil. J'y arrivais, en versant de l'eau chaude sur les parois du cylindre. Le cylindre dans lequel se trouvait la plante, pouvait aussi bien être exposé à l'action directe du soleil, qu'être placé dans celui qui contenait la solution de chlorure ferrique, de sorte que les rayons solaires devaient traverser alors une couche de deux centimètres de cette solution pour agir sur la plante. Je pouvais compter ainsi aussi bien les bulles s'échappant sous l'influence de la lumière blanche, que celles qui se dégageaient sous l'action de la lumière solaire ayant perdu une partie de ses rayons par le fait d'avoir traversé la solution de chlorure ferrique.

Je me suis servi dans mes expériences:

1) d'eau de fontaine;

2) d'eau de fontaine non bouillie, mais saturée de CO_2, par le fait d'y avoir établi pendant quelque temps (plus de 1 h.) un courant de ce gaz;

3) de cette eau mélangée avec le même volume d'eau de fontaine fraîche; enfin,

4) de cette eau mélangée avec le même volume d'eau privée d'air par ébullition.

Les expériences étaient interrompues dès que le soleil était voilé par le plus petit nuage.

Je donne ci-dessous les résultats de mes recherches.

1) Eau de fontaine non bouillie.

Nombre des bulles produites par minute sous l'influence de la lumière blanche, dans une température de 26·4° C.	Nombre des bulles produites par minute sous l'action de la lumière ayant traversé la solution de Fe_2Cl_6, dans une température de 26·2° C.	Rapport
24 24	14·75	0·615

2) Eau saturée d'acide carbonique; même plante.

Nombre des bulles produites par minute sous l'influence de la lumière blanche, dans une température de 27° C.	Nombre des bulles produites par minute sous l'action de la lumière ayant traversé la solution de Fe_2Cl_6, dans une température de 27° C.	Rapport
54	49	
55	49·6	0·903
54·5	49·3	

Comme un nuage avait voilé le soleil, je dus interrompre l'expérimentation. Après avoir recommencé à compter les bulles, j'ai obtenu les valeurs suivantes:

Température de 28·2° C.	Température de 28° C.	Rapport
63	51	
63	50	0·794
63	49·5	
63	50·17	

3) Je versais ensuite la moitié de l'eau pour la remplacer par de l'eau de fontaine. Après avoir fait monter la température de l'eau à 28° C., je recommençais à compter les bulles se dégageant par minute. Voici les résultats que j'ai obtenus:

Lumière blanche. Température: 28·2° C.	Lumière ayant traversé la solution de Fe_2Cl_6. Température: 28·2° C.	Rapport
31		
32	20	0·628
33	20	
32	20	
Les bulles sont comptées encore une fois		
33	20·5	

Après avoir vidé le récipient, j'y versais de nouveau de la même eau saturée d'acide carbonique. Voici le nombre des bulles se dégageant par minute:

Lumière blanche. Température: 31° C.	Lumière ayant traversé la solution de Fe_2Cl_6. Température: 31° C.	Rapport
	73	
85	73	0·851
87	72	
86	72·7	

Après un court moment:

Température: 30·8° C.	Température: 31·2° C.	Rapport
81		
81	66	0·815
81		

4) Je versais enfin la moitié de cette eau et la remplaçais par de l'eau privée d'air par ébullition. Pendant un certain temps, les bulles ne se dégageaient en général pas de cette eau; pourtant un quart d'heure plus tard, après avoir fait une coupe transversale fraîche de la tige et plongé pour un moment la plante dans de l'eau de source, puis après l'avoir placée dans l'eau destinée aux expériences, on les voyait s'échapper de nouveau. Lorsque la vitesse de la production des bulles devint régulière, je pus fixer leur nombre par minute.

Lumière blanche. Température: 31·8° C.	Lumière ayant traversé la solution de Fe_2Cl_6. Température: 31·8° C.	Rapport
40	13	0·337
40	14	
40	13·5	

Un autre jour, mais dans les mêmes conditions d'éclairage, le rapport entre les nombres des bulles produites s'élevait à 0·603 pour la même plante plongée dans de l'eau de fontaine tandis qu'il équivalait à 0·884, lorsqu'on se servait d'eau saturée de CO_2 en appliquant le procédé déjà mentionné.

Les expériences décrites ci-dessus confirment en tout point mes considérations théoriques relatives à l'action qu'exercent les gaz dissous dans l'eau sur les résultats obtenus grâce à l'application de la méthode de la numération des bulles. Nous voyons que le rapport cherché s'élevait de 0·79 à 0·90, lorsque l'eau était fortement saturée d'air et d'acide carbonique et que lorsqu'elle était mélangée avec le même volume d'eau bouillie, la valeur du rapport tombait à 0·337. Lorsqu'on se servait d'eau de fontaine, elle variait entre 0·603 et 0·615, enfin lorsqu'on employait de la même eau mélangée avec un volume égal d'eau saturée de CO_2, le rapport équivalait à 0·628.

D'accord avec nos considérations théoriques, ces chiffres nous apprennent que lorsque l'eau contient de plus grandes quantités d'acide carbonique et d'air, le rapport entre les nombres de bulles correspondant à une assimilation plus faible ou plus intense, est toujours plus grand, que lorsqu'elle ne renferme que de petites quantités de gaz en solution. Il n'est guère possible de se prononcer définitivement sur la question de savoir, lequel des rapports trouvés se rapproche le plus du rapport qui correspond vraiment à la vitesse de l'assimilation, mais c'est probablement celui qu'on observe lorsque l'eau n'est pas très riche en acide carbonique et contient en revanche beaucoup d'air. Comme nous l'avons vu à propos de la discussion du côté théorique de la question, les erreurs sont alors les plus constantes et dépendent le moins de la vitesse de l'assimilation. Le fait que la diminution progressive de la quantité d'acide carbonique dissous dans l'eau exerce dans ces conditions moins d'influence sur les résultats ob-

tenus, que lorsqu'elle en contenait beaucoup au début, ce fait milite en faveur de l'emploi de l'eau de fontaine pas trop saturée de CO_2, quand on veut comparer le nombre des bulles produites. Les résultats auxquels on aboutit en employant de l'eau de fontaine (0·603, 0·615), ne s'écartent qu'insensiblement de celui qu'on obtient en se servant de la même eau pas trop fortement saturée de CO_2, (0·628); en revanche, lorsque cette saturation est très forte, la diminution de la quantité d'acide carbonique à la suite de la diffusion de ce gaz dans l'air ambiant pendant relativement peu de temps, suffit déjà à fortement influencer les résultats (le rapport 0·903 diminue et tombe à 0·794). On ne saurait cependant se prononcer définitivement sur la question de savoir dans quelles conditions la méthode de la numération comparée des bulles pourrait donner les résultats les plus satisfaisants. Pour pouvoir décider en cette matière, il faudrait entreprendre une longue série d'expériences dans le but de comparer les résultats obtenus grâce à la méthode en question, avec ceux que donne l'analyse directe des gaz. Tant que nous n'aurons pas à notre disposition les résultats d'expériences pareilles, la méthode de la numération des bulles reposera toujours sur une base plutôt fragile.

Précautions à prendre en appliquant la méthode de la numération des bulles.

1) L'eau dont on se sert dans les recherches, doit autant que possible avoir toujours la même température pendant l'exécution de l'expérience; en effet:

a) tout changement de température modifie l'intensité de l'assimilation;

b) il fait varier les conditions dans lesquelles se produisent les courants de diffusion; enfin,

c) il fait changer le volume des gaz qui s'accumulent dans les lacunes

Il résulte de ce qui précède que la méthode de la numération des bulles ne saurait être appliquée avec profit lorsqu'il s'agit de se renseigner exactement dans quelle mesure la décomposition du CO_2 dépend de la température, car, quoiqu'il soit possible de parer au troisième inconvénient (*c*) en divisant le nombre de bulles par $1 + 0{\cdot}00366\ (t - t')$, on n'est pas en état de déterminer ne serait-ce qu'appro-

ximativement, l'influence qu'exerce la température sur les processus de diffusion dont la plante est le siège.

2) La surface de section de la tige doit toujours se trouver à la même distance de la surface de l'eau, pour que les gaz qui se dégagent de la plante soient toujours sous la même pression.

3) La plante doit toujours être fixée n'importe de quelle façon, pour empêcher qu'elle ne change de position par rapport à la lumière.

NOTE. Tout ce que nous avons dit dans la première partie du présent travail sur les erreurs que peut entraîner la méthode de la numération des bulles, concerne également les résultats que donne la méthode consistant à recueillir et à mesurer les gaz s'échappant des plantes aquatiques; pourtant aux complications que nous avons analysées plus haut, viennent s'ajouter de nouvelles difficultés résultant de la diffusion entre les bulles pendant qu'elles traversent l'eau et les gaz dissous dans celle-ci, puis entre ces derniers et les gaz accumulés au-dessus de la surface de l'eau. Toutes ces complications et difficultés nous permettent d'expliquer aisément les différences énormes qu'offrent les résultats de l'analyse des gaz se dégageant des plantes étudiées par différents auteurs. Ces résultats discordants, puis ses propres analyses, d'après lesquelles les gaz recueillis contiendraient des quantités relativement très fortes d'acide carbonique (26 à 100%), ont amené Müller[1] à conclure que les données résultant des analyses de ses devanciers ne méritent pas d'inspirer confiance. Pfeffer[2] a exactement le même droit de douter de l'exactitude des analyses de Müller. Quant à moi, je pense qu'il n'y a pas lieu d'être aussi méfiant. En effet, l'analyse des gaz ne se heurte pas à de si grandes difficultés, pour qu'on puisse y commetre des erreurs s'élevant à plusieurs dizaines de pour-cents. Cette méfiance est d'autant moins justifiée que les différences observées dans les résultats définitifs, s'expliquent fort bien par les différentes modalités de l'exécution des expériences. Il suffit de jeter un coup d'oeil sur l'appareil dont s'est servi Müller[3] pour se rendre compte qu'il ne devait trouver que très peu d'azote, mais en re-

[1] Pringsheim's Jahrbücher. T. VII, p. 491.
[2] l. c. p. 7.
[3] l. c. Tabl. XXXI.

vanche une grande quantité d'acide carbonique dans les gaz analysés. Contentons-nous de rappeler que cet auteur se servait d'eau dont il avait très soigneusement éliminé le contenu d'air, que le récipient contenant l'eau et la plante avait été bouché, quoique pas hermétiquement, avec un bouchon et qu'un courant d'acide carbonique passait continuellement à travers l'eau. Dans ces conditions, l'eau était complètement saturée de ce gaz sous la pression d'une atmosphère, aussi le courant de diffusion de CO_2 allant de l'eau à la plante, devait-il être très fort; or, d'après notre argumentation, la grande quantité d'acide carbonique dans le mélange des gaz recueilli par Müller ne saurait absolument pas nous étonner.

Nous pouvons résumer en quelques phrases les résultats de nos recherches théoriques et expérimentales.

1) La méthode de la numération des bulles, de même que la détermination de la quantité des gaz s'échappant de la surface de section d'une plante, ne peut donner que dans des conditions exceptionnelles la mesure absolue de la vitesse de l'assimilation.

2) La méthode de la numération des bulles, comme la détermination du volume des gaz, donne des résultats trop élevés ou trop bas par rapport à la quantité d'acide carbonique décomposé, suivant les grandes ou les petites quantités de ce gaz que contient l'eau. L'erreur est d'autant plus grande, que l'assimilation est plus lente.

3) La production de bulles ne saurait servir à fixer la limite la plus basse où l'assimilation peut encore avoir lieu.

4) La méthode de la numération comparée des bulles ne peut absolument pas servir à nous renseigner dans quelle mesure la vitesse de l'assimilation dépend de la quantité d'acide carbonique dissous dans l'eau.

5) La méthode de la numération comparée des bulles ne saurait exactement nous révéler l'influence de la température sur le processus de l'assimilation.

6) Lorsqu'on étudie l'influence de la lumière sur l'assimilation, on s'aperçoit qu'en appliquant la méthode de la numération comparée des bulles, on obtient un rapport trop grand ou trop petit pour l'assimilation se produisant dans une lumière plus faible ou plus intense, suivant la grande ou la petite quantité d'acide carbonique et d'air que contient l'eau. Lorsque l'eau est complète-

ment saturée d'air, le rapport cherché est d'autant plus élevé qu'elle est plus riche en acide carbonique et que l'intensité de la lumière dont on étudie l'action, est plus faible. En revanche, lorsque l'eau ne contient que peu d'air ou n'en renferme pas du tout, la valeur du rapport cherché est d'autant plus petite que l'eau est moins saturée d'air et d'acide carbonique et que l'intensité de la lumière est plus faible.

7) Nous pouvons espérer obtenir les résultats les plus exacts, en appliquant la méthode de la numération comparée des bulles, lorsque l'eau est saturée d'air, mais ne contient pas de trop fortes quantités d'acide carbonique. On pourrait s'attendre à des résultats encore plus satisfaisants, si l'eau contenait en solution une grande quantité d'oxygène, tout en étant complètement privée d'azote.

Niektóre doświadczenia nad oddychaniem porostów.

(Rozprawy i sprawozdania z posiedzeń Wydziału Matematyczno-przyrodniczego Akademji Umiejętności. Tom I, 1874, str. 247—256).

Jak w ogóle nad żywieniem się porostów, tak i w szczególności nad wymianą gazów, odbywającą się przy sprawach ich życia, nie mamy dotąd prawie żadnych prac doświadczalnych; a jednak, już ze względu na ową złożoność porostów z dwóch oddzielnych organizmów: z wodorostów i grzybów, żywienie się porostów nie mało zaciekawia. Nie może ulegać wątpliwości, że wodorosty w skład porostów wchodzące, tak samo jak i wolne, muszą rozkładać gaz kwas węglowy i wytwarzać z niego i z wody materję organiczną, wydzielając równocześnie tlen. Z drugiej strony grzyb musi bezustannie, w dzień i w nocy, oddychać, przeto pochłaniać tlen, a wydzielać kwas węglowy, tem samem zaś zużywać bezustannie materję organiczną. Z tego wynika, że jeżeli porost nie pobiera gotowej materji organicznej z podłoża, to węgiel przyswojony z gazu kwasu węglowego przez wodorost nietylko musi pokryć stratę, jaką ten ostatni sam przez oddychanie ponosi, ale także musi zastąpić ten węgiel, który przez oddychanie grzyba zużyty został; dopiero reszta węgla przyswojonego, która po pokryciu tych strat pozostaje, może być zużytą do wzrastania porostu. Dlatego to dziwić się nie możemy, że wzrost porostów tak wolno się odbywa, zwłaszcza też, że w wielu z nich tkanka grzyba o wiele nad wodorostem przeważa. Skoro jednak porosty rosną, i to często, na gołych skałach, gdzie o pobieraniu gotowych materji organicznych z podłoża nie może być mowy, to przyswajanie węgla przez wodorost musi przeważać nad jego zużyciem przez oddychanie całego porostu. Ale jeżeli zapytamy się, jak silnem jest oddychanie porostów, a jak silnym rozkład gazu kwasu węglowego dokonywany przez nie, to w dotychczasowem piśmien-

nictwie nie znajdziemy żadnych w tym względzie danych i tę to lukę niniejsza praca ma w części wypełnić.

Porosty przedstawiają jeszcze i tę godną uwagi okoliczność, że głównie rosną i żyją w zimie i z początkiem wiosny, gdy mają dużo wilgoci; w lecie zaś, z powodu wyschnięcia, są one niejako w uśpieniu, rosną więc w czasie, kiedy warunki podniebne dla reszty roślinności są z powodu niskiej ciepłoty nieprzyjazne. To każe przypuszczać, że już w bardzo niskiej ciepłocie sprawy żywotne porostów odbywać się mogą; wpływ zatem ciepłoty na te sprawy więcej tu jak gdzieindziej przedstawia zajęcia i ten też wpływ w doświadczeniach poniżej opisanych miałem na uwadze.

Z powodu mechanicznych trudności, jakie przy badaniu rozkładu gazu kwasu węglowego napotkałem, a do których przezwyciężenia nie miałem już czasu, doświadczenia wykonane odnoszą się tylko do zachowania się porostów w ciemności, to jest do oddychania, badania zaś rozkładu gazu kwasu węglowego do przyszłej odłożyłem zimy.

Doświadczenia robione były z Borrerą rzęsowaną (*Borrera ciliaris*), zebraną dla mnie przez kolegę mego Janczewskiego, który mnie też do zajęcia się sprawą żywienia się porostów zachęcał.

Doświadczenia moje już nie po raz pierwszy robiłem w pracowni chemicznej Prof. Czyrniańskiego, dlatego uważam sobie za miły obowiązek podziękować temu Profesorowi za pozwolenie miejsca tamże.

Metoda, której w doświadczeniach moich się trzymałem, była następująca: wilgotny porost kładłem do zwykłej rurki eudiometrycznej i przystępowałem do oznaczenia jego objętości. Czynność tę uskuteczniałem, puszczając z biurety do eudiometru z porostem wodę, aż póki porost zupełnie nią nie był zakryty; wtedy odczytywałem na eudiometrze objętość wody z porostem, a odejmując od tego odczytaną na biurecie objętość wpuszczonej wody, znajdowałem objętość porostu. Po wylaniu wody zanurzałem eudiometr w wanience rtęciowej, i rtęć w eudiometrze podnosiłem za pomocą rurki kauczukowej. Ażeby przy wyciąganiu powietrza gaz kwas węglowy z ust nie przechodził do eudiometru, nie brałem rurki kauczukowej wprost w usta, ale między nią a ustami umieszczałem flaszeczkę z wodą, jak do płukania gazów, tak, że powietrze, nim z eudiometru przeszło do ust, musiało przejść przez wodę, która tamowała wejście

powietrza z ust do eudiometru. Po podniesieniu rtęci i wyjęciu rurki kauczukowej, pozostawiałem czas jakiś ($^1/_4$ godziny) przyrząd w spokoju dla ustalenia się ciepłoty, a następnie przystępowałem do odczytania objętości powietrza w rurce. Wszystkie podane objętości odniesione są do stanu suchości w ciepłocie 0° i 1 metra ciśnienia, według znanej formuły:

$$lg\,V = lg(v \pm m) + lg(b - b' - b'') - lg(1 + 0{,}00366t).$$

Oczywiście, że obok samej objętości gazów i wysokości rtęci w rurce, odczytywano temperaturę i ciśnienie barometryczne; a od odczytanej objętości gazów przed wprowadzeniem jej w rachunek redukcyjny, odejmowano objętość porostu. Następnie za pomocą długiej w końcu zakrzywionej rurki, służącej za pipetę, wprowadzano około $^1/_2$ centymetra sześciennego stężonego roztworu wodnika potasowego dla pochłaniania wydzielanego przez porost gazu kwasu węglowego, a na eudiometr nakładano rurkę z czarnego papieru, aby porost był umieszczony w ciemności.

Teraz tlen powietrza w rurce zamkniętego był przez porost pochłaniany i zużywany do wytwarzania gazu kwasu węglowego; ten znów w miarę jak się wydzielał, był wziewany przez wodnik potasowy, wskutek czego objętość powietrza się zmniejszała. Co 12 lub 24 godzin odczytywano objętość powietrza, a zmiejszenie się jej okazywało ilość tlenu pochłoniętego przez porost. Ponieważ w miarę pochłaniania tlenu częściowe jego ciśnienie w eudiometrze się zmniejsza, a ta zmiana może mieć wpływ na szybkość oddychania, dlatego obok cyfr, wyrażających ilość pochłoniętego tlenu, podane są częściowe ciśnienia tlenu.

Doświadczenie I.

Dnia 15 Lutego o godz. 10 rano 2·3 cc. porostu zamknięto w 36·59 cc. powietrza i umieszczono w ciemności.

Czas odczytania	Ciepłota	Średnie ciśnienie tlenu przez 24 godzin upłynionych do odczytania.	Zmniejszenie objętości czyli ilość pochłoniętego tlenu	Ilość pochłoniętego tlenu w ciągu 24 godzin, wyrażona w objętościach porostu
16 Lutego 10 r.	17·1	0·1000	2·50	1·09
17 » » »	17·6	0·0655	2·07	0·90
18 » » »	17·8	0·0314	2·14	0·93
19 » » »	17·2	0·0057	0·89	0·39
20 » » »	16·6	0·0000	— 0·62	0·00

W ostatnim dniu objętość zaczęła się zwiększać; całkowite zmniejszenie objętości do 19 Lutego wynosiło 7·60 cc., co obliczone na 36·59 cc. pierwotnej objętości powietrza, daje zmniejszenie się tej objętości o 20·77%, a więc prawie ściśle o tę ilość, jaka odpowiada ilości tlenu znajdującego się w powietrzu. Doświadczenie to zatem pokazuje, że tlen w powietrzu się znajdujący może być całkowicie przez porost pochłonięty i na gaz kwas węglowy zamieniony tak, że gdybyśmy innych środków chemicznych do pochłonięcia tlenu nie mieli, możnaby używając porostu wykonać analizę powietrza. Dalej doświadczenie to uczy nas, że póki tlen w powietrzu się znajduje, oprócz gazu kwasu węglowego żadnych innych gazów porost z siebie nie wydziela, bo inaczej gaz ten, nie będąc pochłonięty przez wodnik potasowy, musiałby zwiększyć objętość powietrza, i nie moglibyśmy otrzymać zmniejszenia się tej objętości, odpowiadającego całkowitej ilości znajdującego się w powietrzu tlenu. Widzimy dalej, że pochłanianie tlenu przez porost stosunkowo bardzo mało od częściowego ciśnienia tlenu zależy.

Też same zupełnie wypadki zobaczymy w dwóch drugich doświadczeniach, z których poznamy jeszcze wpływ ciepłoty na oddychanie Borrery.

Doświadczenie 2.

Dnia 28 Lutego o godzinie 9 rano zamknięto 1·5 cc. porostu w 22·57 cc. powietrza, a po wpuszczeniu wodnika potasowego umieszczono w ciemności.

Czas odczytania	Ciepłota	Ciśnienie tlenu	Zmniejszenie objętości czyli ilość pochłoniętego tlenu	Tlen pochłonięty w ciągu 24 g. wyrażony w objętości porostu
28 Lutego 9 g. w.	19·4	0·1408	0·87	0·98
1 Marca 10 g. r.	21·0	0·1190	0·77	
» » 9½ » w.	18·6	0·0923	0·76	0·97
2 » » » r.	17·2	0·0761	0·67	
» » » » w.	19·0	0·0527	0·79	1·00
3 » 10 » r.	15·55	0·0263	0·75	
» » » » w.	17·0	0·0095	0·19	0·23
4 » » » r.	17·95	0·0030	0·16	
» » » » w.	18·0	—	—0·06	
5 » » » r.	17·3	—	—0·30	

Współcześnie z tem doświadczeniem w innym pokoju, nieopalonym, umieszczono rurkę, w której zamknięte były 4 cc. porostu w 37·48 cc. powietrza. Nad rtęć wpuszczono także nieco wodnika potasowego i rurkę także czarnym papierem przysłoniono.

Czas odczytania	Ciepłota	Średnie ciśnienie tlenu	Zmniejszenie objętości czyli ilość pochłoniętego tlenu	Ilość pochłoniętego w ciągu 24 godz. tlenu, wyrażona w objętościach porostu
28 Lut. 9½ g. w.	9·2	0·1014	1·14	0·55
1 Marca » »	8·6	0·0847	1·96	0·49
2 » » »	8·4	0·0734	1·07	0·27
3 » » »	7·7	0·0581	0·89	0·22
4 » » »	8·9	0·0425	1·07	0·27
5 » » »	8·5	0·0299	1·05	0·26
6 » » r.	6·4	0·0115	0·49	0·12
» » » w.	7·8	0·0036	0·40	0·10
7 » » r.	9·2	0·0000	—0·22	—

Widzimy, że wyniki tych dwóch doświadczeń są zupełnie zgodne z wypadkami pierwszego. Całkowite zmniejszenie objętości wynosiło w pierwszym z nich 4·96 cc., a więc 21·97% pierwotnej objętości powietrza, w drugim 8·07 cc., a przeto 21·53% pierwotnej objętości, i te zatem liczby są bardzo bliskie ilości tlenu w stu częściach powietrza zawartego, co dowodzi, że tlen powietrza całkowicie przez porost pochłoniętym i na gaz kwas węglowy zamienionym został i że przytem żaden inny gaz prócz gazu kwasu węglowego przez porost wydzielony być nie mógł. Ten ostatni wypadek o tyle jest ważny, że niektórzy autorowie[1] wspominają o wydzielaniu się wodu przy oddychaniu grzybów, co zapewne przypisać należy chorobliwemu rozkładowi tkanki grzyba. W powyższych doświadczeniach wtedy dopiero inne gazy oprócz gazu kwasu węglowego zaczęły się wydzielać, gdy tlen w powietrzu porost otaczającem wcale się już nie znajdował, a porost zmuszony był utrzymywać się przy życiu przez oddychanie wewnętrzne. Jakim jest gaz, który przy tem ostatniem odddychaniu obok gazu kwasu węglowego się wytwarza, bliżej nie badałem. Co do ilości pochłoniętego w danym czasie tlenu przez porost

[1] Humboldt, Marcet przytoczeni w Sachsa: Experimentalphysiologie, s. 276.

Borrerę, to, jak pierwsze dwa doświadczenia zgodnie pokazują, w ciepłocie około 17° C. porost ten zużywa w ciągu doby objętość tlenu mniej więcej równą swej własnej objętości, a w ciepłocie 7—9° C. zaledwo $^1/_8$ tej objętości. Że liczby ostatniego doświadczenia znaczniejsze przedstawiają między sobą różnice, pochodzi to ztąd, iż ciepłota pokoju kilkakrotnie w czasie doświadczenia (z powodu silnego napalenia w sąsiednim pokoju) na kilka godzin o kilka stopni nad średnie cyfry tu podane podniosła się była. W każdym razie i przy niskiej ciepłocie porost był w stanie, choć stosunkowo znacznie wolniej, całkowicie tlen z eudiometru pochłonąć.

Ta własność całkowitego pochłaniania tlenu z powietrza, z którem w zetknięciu roślina się znajduje, nie samym tylko porostom jest właściwą. Niedawno Brefeld wykazał, że drożdże do swego wzrostu potrzebują koniecznie tlenu wolnego, ale że najmniejsze ślady tego gazu w powietrzu się znajdujące, już mogą być przez nie zużytkowanemi, i że nawet wzrost drożdży w pewnym gazie jest odczynnikiem na tlen czulszym, niż jakikolwiek inny. Marcet[1] podaje doświadczenie z Kurzawką olbrzymią (*Lycoperdon Bovista*), której 130 gran w ciągu 9 godzin pochłonęły całkowicie tlen ze 111 cc. powietrza.

Jak się zdaje, to i nasiona kiełkujące wyższych roślin są także w stanie tlen powietrza całkowicie pochłonąć, nie wydzielając przy tem prócz gazu kwasu węglowego żadnych innych gazów Dokładniejszych doświadczeń w tym względzie wprawdzie nie robiłem, jednak zamknąwszy korkiem kauczukowym z rurką, dwa razy zgiętą i zanurzoną w rtęci, słoik, w którym znajdowały się nasiona Pszenicy, a obok nich w małej rurce nasycony roztwór wodnika potasowego, zauważyłem podniesienie się rtęci do 160 milimetrów, a więc wyżej niż do $^1/_5$ ciśnienia atmosferycznego; prawdopodobnie więc tlen z powietrza w słoiku zamkniętego całkowicie pochłonięty być musiał. Używając do doświadczenia nasion Rzodkwi, otrzymałem także podniesienie się rtęci przeszło nad 150 milimetrów.

Wypadki powyżej opisanych doświadczeń nad oddychaniem Borrery dadzą się streścić w następujących punktach:

1) Porost Borrera, umieszczony w ciemności w naczyniu

[1] l. c.

zamkniętem, pochłania w krótszym lub dłuższym przeciągu czasu tlen i zużywa go do wytworzenia gazu kwasu węglowego.

2) Prócz gazu kwasu węglowego żadne inne gazy nie wydzielają się przy oddychaniu Borrery.

3) Szybkość pochłaniania tlenu wzrasta z ciepłotą, w tejże około 17° pochłania ten porost w ciągu doby równą własnej objętość tlenu.

4) Częściowe ciśnienie tlenu, byle nie było zbyt małem, zdaje się bardzo mało albo wcale nie wpływać na oddychanie.

Quelques expériences sur la respiration des Lichens[1].

(Mémoires et Comptes rendus de la Classe des Sciences mathématiques et naturelles de l'Académie des Sciences à Cracovie T. I. 1874, p. 247 à 256).

Comme il n'existe presque pas d'études expérimentales sur la nutrition des Lichens, de même nous ne disposons pas de travaux consacrés spécialement aux échanges gazeux accompagnant les fonctions vitales de ces plantes. Et pourtant, le caractère composé des Lichens, constitués par deux organismes différents, notamment par des Algues et des Champignons, devrait suffir à nous intéresser à leur nutrition. On ne saurait douter que, comme les Algues à l'état libre, celles qui représentent une partie intégrante des Lichens, doivent décomposer l'acide carbonique pour produire avec celui-ci et avec l'eau, des substances organiques et que ce processus est accompagné d'une élimination simultanée d'oxygène. D'autre part, le Champignon doit respirer sans cesse nuit et jour, absorber par conséquent de l'oxygène et rejeter de l'acide carbonique, de sorte qu'il use continuellement de la matière organique. Il résulte de ce qui précède que si le Lichen ne tire pas de la matière organique toute prête de son substratum, le carbone qu'assimile l'Algue en l'empruntant à l'acide carbonique, doit non seulement couvrir les pertes qu'elle subit du fait de la respiration, mais remplacer également celui qui a été utilisé par la respiration du Champignon. Ce n'est que l'excédent du carbone assimilé, resté après la compensation de ces pertes, qui peut servir à la croissance du Lichen. Nous ne pouvons donc pas nous étonner, si la croissance de ceux-ci est tellement lente, surtout que chez de nombreux Lichens le tissu du Champignon l'emporte de beaucoup sur celui de l'Algue. Toutefois, si les Lichens croissent et

[1] La présente étude n'a été publiée qu'en polonais. (Note des éditeurs).

se développent, même sur des roches dénudées où ils ne peuvent certainement pas absorber du substratum des substances organiques déjà formées, il en résulte que l'assimilation du carbone par l'Algue doit être supérieure à son utilisation, par suite de la respiration du Lichen pris comme ensemble. Si cependant nous voulons savoir quelle est l'intensité de la respiration des Lichens et si nous désirons nous renseigner sur l'intensité de la décomposition de l'acide carbonique qu'ils opèrent, nous ne tardons pas à nous apercevoir que nous chercherions en vain dans la littérature des données relatives à ces questions. Or, c'est précisément cette lacune que le présent travail se propose de combler en partie.

Les Lichens se distinguent encore par une autre particularité digne de retenir l'attention; en effet, ils croissent et se développent surtout en hiver et au commencement du printemps, c'est-à-dire à l'époque où ils ont beaucoup d'humidité à leur disposition. Ils se dessèchent cependant en été, par suite de quoi ils se plongent pour ainsi dire dans un sommeil léthargique, de sorte que leur croissance coïncide avec une période pendant laquelle les conditions atmosphériques sont défavorables aux autres végétaux, à cause de la température peu élevée qui règne à cette époque. Cette circonstance nous fait supposer que les fonctions vitales des Lichens peuvent avoir lieu même dans une température relativement très basse. L'action de la température sur ces fonctions offre par conséquent plus d'intérêt dans cette classe végétale que dans d'autres, aussi dans les expériences dont on lira la description ci-dessous, ai-je tenu compte de cette action.

Vu les difficultés d'ordre technique auxquelles se heurtèrent mes recherches sur la décomposition de l'acide carbonique, difficultés que je n'avais plus le temps de vaincre, mes expériences ne tiennent compte que de la façon de se comporter des Lichens dans l'obscurité, c'est-à-dire, elles se bornent à étudier la respiration de ces plantes. Quant aux recherches concernant la décomposition de l'acide carbonique, j'ai dû les remettre à l'hiver prochain.

J'ai exécuté mes expériences sur le Lichen *Borrera ciliaris* dont mon collègue Janczewski a bien voulu me fournir des échantillons. C'est encore lui qui m'a encouragé à étudier la nutrition des Lichens.

Comme ce n'est pas la première fois que j'ai entrepris des expériences au laboratoire de chimie dirigé par le Professeur

Czyrniański, je saisis cette occasion, pour lui exprimer ma reconnaissance d'y avoir mis une stalle de travail à ma disposition.

Voici la méthode que j'ai appliquée dans mes recherches: le lichen humide était placé dans un tube eudiométrique ordinaire, après quoi je déterminais le volume de la plante. Dans ce but, je faisais couler l'eau d'une burette dans l'eudiomètre contenant le lichen, jusqu'à ce que celui-ci fût complètement immergé; je notais ensuite le volume de l'eau, y compris celui de la plante, qu'indiquait l'eudiomètre, puis après avoir soustrait de cette valeur le volume de l'eau introduite, d'après la burette graduée, j'obtenais le volume du lichen. Après avoir écarté l'eau, je plongeais l'eudiomètre dans un bain de mercure et je faisais monter celui-ci dans l'eudiomètre au moyen d'un tuyau de caoutchouc. Pour empêcher que pendant l'aspiration de l'air, l'acide carbonique ne passe de la bouche dans l'eudiomètre, je ne mettais pas le bout du tuyau de caoutchouc directement entre les lèvres, mais j'intercalais entre celui-là et celles-ci une bouteille remplie d'eau, comme on s'en sert pour laver les gaz, de sorte qu'avant de passer de l'eudiomètre dans la bouche, l'air devait traverser l'eau qui interceptait le passage dans l'appareil, à l'air de la cavité buccale. Après avoir fait monter le mercure et enlevé le tuyau de caoutchouc, j'abandonnais l'appareil pendant un certain temps (15 minutes) à lui-même, afin que la température devînt constante, et je notais le volume de l'air dans le tube eudiométrique. Tous les volumes indiqués dans le présent travail, ont été déterminés par rapport à l'état sec dans une température de 0° C. et pour 1 m. de pression. Ils ont été calculés d'après la formule:

$$lg\, V = lg\,(v \pm m) + lg\,(b - b' - b'') - lg\,(1 + 0{\cdot}00366\, t).$$

En dehors du volume des gaz et de la hauteur du mercure dans le tube, je notais bien entendu la température et la pression barométrique. Avant de tenir compte dans le calcul de la réduction du volume des gaz précédemment noté, on en soustrayait le volume du lichen. Ensuite, au moyen d'un long tube recourbé au bout qui me servait de pipette, j'introduisais environ 0·5 cm³ de solution d'hydrate de potasse concentré, destinée à absorber l'acide carbonique éliminé par le lichen, après quoi l'eudiomètre était placé dans un cylindre de papier noir, afin que la plante se trouvât dans l'obscurité.

L'oxygène de l'air enfermé dans le tube, était donc absorbé

par le lichen et employé à former de l'acide carbonique; à mesure que celui-ci se dégageait, il était absorbé à son tour par l'hydrate de potasse, de sorte que le volume de l'air diminuait. Toutes les 12 ou 24 h., je notais le volume de l'air, et la diminution qu'il avait subie, correspondait à la quantité d'oxygène que la plante avait absorbée. Comme à mesure que l'absorption de l'oxygène se poursuivait, la pression partielle de celui-ci baissait, dans l'eudiomètre, et comme cet abaissement pouvait avoir de l'influence sur la vitesse de la respiration, j'ai indiqué les pressions partielles de l'oxygène à côté des chiffres exprimant la quantité d'oxygène absorbé.

Expérience I.

Le 15 février, à 10 h. du matin, 2·3 cm³ de lichen furent enfermés dans un tube contenant 36·59 cm³ d'air, après quoi celui-ci fut placé dans l'obscurité.

Date et moment de l'observation	Température	Pression moyenne de l'oxygène pendant les 24 h. précédant l'observation	Réduction du volume de l'air, soit quantité d'oxygène absorbé	Quantité d'oxygène absorbé en 24 h. par rapport au volume du lichen
16 févr. 10 h. du mat.	17·1	0·1000	2·50	1·09
17 » » » » »	17·6	0·0655	2·07	0·90
18 » » » » »	17·8	0·0314	2·14	0·93
19 » » » » »	17·2	0·0057	0·89	0·39
20 » » » » »	16·6	0·0000	— 0·62	0·00

Le dernier jour, le volume de l'air commença à augmenter. La réduction totale du volume jusqu'au 19 février, s'élevait à 7·60 cm³, soit pour les 36·59 cm³ correspondant au volume initial de l'air, nous obtenons une diminution de 20·77 %, c'est-à-dire une quantité presque exactement égale à cette qui correspond à l'oxygène de l'air. Cette expérience nous apprend par conséquent que l'oxygène de l'air peut être entièrement absorbé par le lichen pour être utilisé à produire de l'acide carbonique; de sorte que si nous ne disposions pas d'autres méthodes chimiques pour faire absorber le premier de ces gaz, nous pourrions entreprendre l'analyse de l'air en nous servant de cette plante. La même expérience montre

encore que tant qu'il y a de l'oxygène dans l'air, le lichen ne produit aucun autre gaz, car s'il en était autrement, ce gaz n'ayant pas été absorbé par l'hydrate de potasse, devrait forcément augmenter le volume de l'air, aussi ne pourrions-nous pas arriver à réduire ce volume dans une proportion correspondant à la quantité globale de l'oxygène dans l'atmosphère. Nous voyons de plus que l'absorption de l'oxygène par le lichen ne dépend que dans une mesure relativement très faible de la pression partielle de ce gaz.

Nous observons des faits absolument pareils dans deux autres expériences, qui nous permettent de connaître également l'influence de la température sur la respiration de *Borrera ciliaris*.

Expérience 2.

Le 28 février, à 9 h. du matin, 15 cm³ de lichen furent enfermés dans un tube contenant 22·57 cm³ d'air, puis après avoir introduit de l'hydrate de potasse dans le tube, celui-ci fut placé dans l'obscurité.

Date et moment de l'observation	Température	Pression moyenne de l'oxygène	Réduction du volume de l'air, soit quantité d'oxygène absorbé	Quantité d'oxygène absorbé en 24 h. par rapport au volume du lichen
28 févr. 9 h. du soir.	19·4	0·1408	0·87	0·98
1 Mars 10 h. du mat.	21·0	0·1190	0·77	
1 » 9½ h. » soir.	18·6	0·0923	0·76	0·97
2 » » » » mat.	17·2	0·0761	0·67	
2 » » » » soir.	19·0	0·0527	0·79	1·00
3 » 10 » » mat.	15·55	0·0263	0·75	
3 » » » » soir.	17·0	0·0095	0·19	0·23
4 » » » » mat.	17·95	0·0030	0·16	
4 » » » » soir.	18·0	—	– 0·06	
5 » » » » mat.	17·3	—	—0·30	

Pendant l'exécution de cette expérience, on plaça dans une autre chambre non chauffée, un tube contenant 4 cm³ de lichen dans 37·48 cm³ d'air. On eut soin d'introduire également une petite quantité d'hydrate de potasse au-dessus du mercure et l'on enveloppa le tube de papier noir (v. p. 214).

Nous voyons que les résultats de ces deux expériences s'accordent absolument avec ceux de la première. Dans la première de ces deux épreuves, la réduction totale du volume cor-

respondait à 4·96 cm³, par conséquent à 21·97% du volume initial de l'air, dans la seconde cette diminution s'élevait à 8·07 cm³, soit à 21·53% du volume initial. Ces chiffres sont donc, comme on le voit, très rapprochés de ceux qui expriment la quantité

Date et moment de l'observation	Température	Pression moyenne de l'oxygène	Réduction du volume de l'air, soit quantité d'oxygène absorbé	Quantité d'oxygène absorbé en 24 h., par rapport au volume du lichen
28 févr. 9½ h. du soir.	9·2	0·1014	1·14	0·55
1 mars » » » »	8·6	0·0847	1·96	0·49
2 » » » » »	8·4	0·0734	1·07	0·27
3 » » » » »	7·7	0·0581	0·89	0·22
4 » » » » »	8·9	0·0425	1·07	0·27
5 » » » » »	8·5	0·0299	1·05	0·26
6 » » » » mat.	6·4	0·0115	0·49	0·12
6 » » » » soir.	7·8	0·0036	0·40	0·10
7 » » » » mat.	9·2	0·0000	− 0·22	—

d'oxygène dans 100 parties d'air, circonstance qui prouve que l'oxygène de l'air a été complètement absorbé par le lichen, pour produire de l'acide carbonique et qu'en dehors de ce gaz, aucun autre n'a pu se dégager de la plante. Cette dernière constatation n'est pas dénuée d'intérêt, en présence du fait que certains auteurs[1] parlent d'une élimination d'hydrogène pendant la respiration des Champignons, phénomène qu'il faut probablement attribuer à la décomposition morbide de leurs tissus. Dans les expériences que nous venons de décrire, on n'assistait à la production d'autres gaz en dehors de l'élimination de l'acide carbonique, que lorsque l'oxygène faisait déjà absolument défaut dans l'air entourant le lichen, de sorte que la plante devait avoir recours à la respiration intérieure pour pouvoir vivre. Je n'ai pas fait de recherches plus approfondies sur la nature du gaz qui se dégage en même temps que l'acide carbonique, pendant ce genre de respiration. En ce qui concerne la quantité d'oxygène absorbé dans un temps donné par *Borrera ciliaris*, les deux premières expériences s'accordent à prouver que dans une température d'environ 17° C. ce lichen utilise en 24 h. un volume d'oxygène à peu près

[1] Humboldt et Marcet, cités par Sachs dans son *Experimental-physiologie*, p. 273.

égal au sien, tandis que dans une température de 7 à 9° C., il use à peine $^1/_3$ de ce volume. Si les chiffres relatifs à la dernière expérience offrent des écarts assez sensibles les uns par rapport aux autres, il faut se les expliquer par la circonstance que pendant la durée de l'épreuve la température de la pièce s'était élevée à plusieurs reprises de quelques degrés au-dessus des valeurs moyennes que nous avons indiquées et que ces changements de température s'étendaient à plusieurs heures, car on avait fortement chauffé la chambre voisine. En tout cas, même dans une température relativement basse, le lichen était en état d'absorber entièrement l'oxygène que contenait l'eudiomètre, quoique l'absorption eût été relativement bien plus lente dans ces conditions.

Le pouvoir d'absorber entièrement l'oxygène de l'air avec lequel la plante est en contact, n'est pas une faculté dont disposeraient exclusivement les Lichens. En effet, Brefeld a récemment fourni la preuve que les Levures ne peuvent absolument pas se passer d'oxygène libre, que cependant des quantités minimes de ce gaz dans l'air pouvaient déjà être utilisées par elles et que leur développement dans un gaz donné, constitue même un réactif plus sensible pour déceler l'oxygène, que n'importe quel autre moyen employé dans le même but. Marcet[1] nous entretient d'expériences exécutées sur *Lycoperdon Bovista*, où 130 grains de cette plante ont entièrement absorbé en 9 h. l'oxygène de 111 cm³ d'air.

Il semblerait que pendant la germination, les graines des plantes supérieures sont également en état d'absorber entièrement l'oxygène de l'air, sans produire en même temps aucun autre gaz que l'acide carbonique. Je n'ai pas fait, il est vrai, de recherches exactes en rapport avec cette question, néanmoins après avoir bouché avec un bouchon de caoutchouc pourvu d'un tube deux fois recourbé et plongé dans du mercure, un bocal dans lequel j'avais mis des grains de blé et à côté dans un petit tube, une solution saturée d'hydrate de potasse, je pouvais observer que le mercure était monté jusqu'à 160 mm., par conséquent à plus de $^1/_5$ de la pression atmosphérique. Il est donc probable que l'oxygène de l'air que contenait le bocal, a dû être entièrement absorbé. Lorsque dans une expérience analogue, je me servais de

[1] l. c.

graines de Radis, je voyais le mercure monter également à plus de 150 mm.

Les résultats de mes expériences sur la respiration de *Borrera ciliaris*, peuvent être résumés comme suit:

1) Le Lichen *Borrera ciliaris* placé dans l'obscurité dans un vase fermé, absorbe l'oxygène dans l'espace d'un temps plus ou moins long et l'emploie à produire de l'acide carbonique.

2) En dehors de l'acide carbonique, aucun autre gaz ne se dégage pendant la respiration du Lichen *Borrera ciliaris*.

3) La vitesse de l'absorption de l'oxygène augmente à mesure que la température monte; lorsque celle-ci atteint 17° C., le lichen absorbe en 24 h. un volume d'oxygène égal au sien.

4) Tant que la pression partielle de l'oxygène n'est pas tombée trop bas, elle ne paraît avoir que peu d'influence sur la respiration, si elle en a une en général.

O powstawaniu i znikaniu skrobi w gałeczkach zieleni.

(Rozprawy i sprawozdania z posiedzeń Wydziału Matematyczno-przyrodniczego Akademji Umiejętności, Tom II, 1875, str. 64—117).

Badając pod silnem powiększeniem gałeczki zieleni liścia, wystawionego przez dłuższy czas na działanie światła, dostrzeżemy z łatwością w każdej z nich jedno lub więcej ziarnek, łamiących światło silniej, niż reszta istoty składającej też gałeczki. Ziarnka te, przy bliższem badaniu za pomocą odczynników, okazują się być złożonemi z istoty skrobiowej. Ten dowód obecności skrobi w gałeczkach zieleni wykryty został po raz pierwszy przez Mohla[1] w ramienicy. Następnie badania Nägeliego, Grisa i Böhma wykazały, że nie tylko w ramienicy, ale niemal we wszystkich roślinach gałeczki zieleni zawierają skrobię. Wprawdzie w wielu wypadkach proste użycie jodu nie wystarcza do wykrycia skrobi, ale i wtedy o obecności jej z łatwością przekonać się można w sposób następujący:

Kawałki badanego liścia wrzuca się do silnego wyskoku i wystawia na działanie światła, aż do całkowitego odbarwienia się tychże. Gdy barwa zielona liścia zniknie zupełnie, przyrządza się z niego delikatne wycinki i wkłada się je do miernie stężonego wodnika potasowego (najlepiej na szkiełku zegarkowem), tu zostawia się je przez 24 godziny w spokoju, albo też przez kilka minut zlekka się je ogrzewa. Przez to działanie wodnika potasowego pierwoszcze gałeczek zieleni, które utrudniało przystęp jodu, zostaje całkowicie lub w części rozpuszczone, ziarnka zaś skrobi (jeżeli tylko ogrzewanie nie było za silne, albo roztwór KHO nie za nadto stężony), pozostają bez zmiany. Teraz należy wycinki wymyć dobrze wodą przekroploną, włożyć na chwilę

[1] *Vermischte Schriften bot. Inh.* 1845 s. 315.

w kwas octowy, wymyć wodą powtórnie i dopiero, umieściwszy je na szkiełku zegarkowem, działać na nie słabym rozczynem jodu — bądź w wyskoku, bądź, co lepiej, w glicerynie lub w jodku potasowym. Jeżeli tylko działanie odczynników dobrze było umierzone, wtedy przy tem postępowaniu najmniejsze nawet ślady skrobi w komórkach śródliścia widocznemi się stają. Jeżeli gałeczki zieleni nie zostały przez działanie odczynników całkowicie zniszczone, wtedy widzieć też można, że ziarnka skrobi nie gdzieindziej — ale w nich tylko mają swoje siedlisko.

Nie zaraz po wykryciu obecności skrobi w gałeczkach zieleni umiano sobie to zjawisko w należyty sposób objaśnić. Mówiono o przeobrażaniu się stopniowem skrobi w zieleń, a nawet Mulder[1] osnuł dość dziwaczną teorję dotyczącą sposobu tego przeobrażania.

Gałeczki zieleni według niego składały się z barwnika i wosku, a ten ostatni zawdzięczał swój początek powolnemu odtlenianiu się skrobi. Wydzielanie tlenu przez rośliny miało być zewnętrznym objawem tego redukcyjnego procesu, który zwolna skrobię przeobrażał w zieleń. Bezzasadność tej teorji wykazał już w r. 1855 Mohl[2], udowodniając, że, w pewnych przynajmniej razach, gałeczki zieleni powstają pierwej, aniżeli skrobia, która się w nich znajduje; ta ostatnia jest w nich dopiero późniejszym utworem. Gris[3] w obszernej swej pracy nad zielenią udowodnił, że nie czasem, ale zawsze gałeczki zieleni są utworem pierwotnym, a ziarnka skrobi później w nich dopiero powstają. Przez to odkrycie utorował on Sachsowi drogę do wykrycia istotnego stosunku, w jakim ziarnka skrobi znajdują się do zawierających je gałeczek zieleni. Sachs z szeregu pięknych doświadczeń wyprowadził wniosek, że: »treść skrobiowa zieleni jest w niej nie tylko zjawiskiem następnem, ale nadto że się wytwarza przez przyswajającą czynność zieleni pod wpływem światła pewnego oznaczonego natężenia, i że tu właśnie istota skrobiowa powstaje ze swoich odleglejszych części składowych, a przechodząc następ-

[1] *Versuch einer physiologischen Chemie. Braunschweig*, s. 294, cytuje Mohl *Bot. Zeit.* 1855 s. 113.

[2] *Bot. Zeit.* 1855 s. 113—115.

[3] *Annales des sciences naturelles* 1857 VII.

nie w inne części rośliny — pośredniczy przy jej wzroście, służąc jako materjał na budowę błon komórkowych«[1].

Doświadczenia, z których Sachs wywiódł ten wypadek, polegały na tem, że rośliny, o których przekonał się, iż zawierały skrobię w gałeczkach zieleni swych liści, umieszczał na parę dni w ciemności, a badając je po upływie tego czasu, przekonywał się, że skrobia z gałeczek znikła. Gdy następnie wystawił rośliny na światło i po pewnym czasie badał je na nowo, przekonywał się zawsze, że skrobia znowu w liściach się znajdowała. Z tego wywnioskował Sachs, że światło jest niezbędnym czynnikiem przy powstawaniu skrobi w gałeczkach zieleni, a że (rozumował dalej) światło jest także niezbędnym czynnikiem rozkładu kw. węglowego przez rośliny, nadto, ponieważ tylko części zielone roślin kwas węglowy rozkładać mogą, więc przyjąć należy, iż skrobia, w gałeczkach zieleni powstająca, jest wynikiem rozkładu kwasu węglowego i wody w roślinie. Wypadki doświadczeń Sachsa nad rolą gałeczek zieleni u roślin nasieniowych stwierdził Famintzin[2] na wodorostach, używając przytem do doświadczeń — nie światła słonecznego — ale zgęszczonego za pomocą reflektora światła lampy kerazinowej. Przekonał się, że już po półgodzinnem działaniu tego światła na szrubnicę, skrobia dostrzedz się daje we wstęgach zieleni poprzednio zupełnie od niej wolnych. Kraus[3] wykazał, że w świetle bezpośredniem skrobia powstaje nie równie szybciej, aniżeli w rozproszonem. I tak: kiedy gałeczki zieleni moczarki (*elodea*) i skrętki (*funaria*) w świetle rozproszonem okazywały dopiero po 4—6 godzinach pierwsze ślady skrobi, to pod bezpośrednim wpływem promieni słonecznych, w ciągu $1^1/_2$—2 godzin wytwarzały ilości tej istoty już wyraźnie rozeznać się dające.

Nadto Famintzin[4] i Kraus[5] — każdy z osobna — wykazali, że światło żółte nie równie silniej wywołuje tworzenie się skrobi, aniżeli niebieskie. Pierwszy twierdził nawet, że światło niebieskie działa jak ciemność, ale błąd jego sprostowali Kraus

[1] l. c. s. 366.

[2] Famintzin, *Die Wirkung des Kerasin — Lampenlichtes auf Spirogira orthospira. Näg. Abd. a. d. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik.* B. VI. 1867.

[3] Kraus, *Jahrbücher für wissenschaftliche Bot.* B. VII. s. 510—531.

[4] l. c.

[5] l. c.

i Prillieux[1]. Pokazało się zatem, że powstawanie skrobi zależy przeważnie od promieni tej samej łamliwości, co i rozkład kwasu węglowego, co było nowem poparciem twierdzenia Sachsa, że skrobię, znajdującą się w gałeczkach zieleni, za produkt wytworzony przez roślinę z kwasu węglowego i wody uważać należy. Kraus, aby to zapatrywanie Sachsa, które w zupełności podzielał, poprzeć jeszcze bardziej, starał się wykazać, że w istocie przy powstawaniu skrobi w gałeczkach zieleni waga materji suchej w roślinie zostaje zwiększoną. W tym celu z młodych o ile możności jednakowych roślinek rzeżuchy, które tylko co rozwinęły swoje listnie i o których przekonał się, że skrobi nie zawierają wcale, uzbierał 30 par listniów i takowe ważył w stanie świeżym i po wysuszeniu. Inne tak samo rozwinięte roślinki wystawiał na kilka lub kilkanaście godzin na światło, a gdy skrobię obficie wytworzyły, zbierał z nich znów 30 par i ważył jak wyżej. W ten sposób przekonywał się stale, że te ostatnie roślinki więcej zawierały materji suchej, niż pierwsze; czyli, że wytworzenie skrobi połączone było z przybytkiem na wadze materji suchej. Kraus badał także wpływ ciepłoty na powstawanie skrobi i przekonał się, że przy wyższej ciepłocie powstawanie skrobi energiczniej się odbywa, aniżeli przy niższej. Oznaczył też minimum ciepłoty, przy której jeszcze proces tworzenia się skrobi może mieć miejsce i znalazł je: dla rzeżuchy siewnej 2,5—3° C., dla brzozy białej 4,3—4,9° C., dla moczarki kanadyjskiej około 5° C.: wykazał więc, że w stosunkowo bardzo niskiej ciepłocie tworzenie się skrobi już miejsce mieć może.

Widzimy zatem, że dotychczasowe badania obracały się wyłącznie około udowodnienia, że skrobia w gałeczkach zieleni jest istotnie wypadkiem ich przyswajającej działalności, oraz około zbadania wpływu światła i ciepła na powstawanie skrobi.

Sachs wypowiedział jasno, że skrobia w gałeczkach zieleni powstaje jako wynik sprawy przyswajania, wskutek rozkładu kwasu węglowego i wody; ale dowodził tego tylko tem, że wykazywał zgodność warunków, potrzebnych do wytworzenia się skrobi, z warunkami rozkładu kwasu węglowego. Nikt jednak dotąd nie starał się przekonać, czy rzeczywiście do wytworzenia skrobi potrzeba kwasu węglowego i o ile mniejsza lub większa

[1] Prillieux, *Influence de la lumière bleue sur la production de l'amidon dans la chlorophylle. Comptes rendus.* 1870 T. 70 s. 521.

jego ilość w powietrzu, roślinę otaczającem, wpływa na przyśpieszenie lub opóźnienie powstawania skrobi w gałeczkach zieleni.

Tę lukę mają właśnie poniżej opisane doświadczenia wypełnić.

Inne pytanie, które w pracy niniejszej także znajdzie rozwiązanie na doświadczeniu oparte, dotyczy znikania skrobi z gałeczek zieleni. Wspomnieliśmy już, iż Sachs wykazał, że, jeżeli roślina zostanie umieszczona w ciemności, wtedy skrobia, znajdująca się w jej gałeczkach zieleni, znika z nich, zostając odprowadzoną do dalszych części rośliny, aby tam dostarczyć materjału na błony komórkowe przy powstawaniu i wzroście komórek.

Ale pytanie, jak należy to znikanie skrobi w ciemności rozumieć? Czy rzeczywiście skrobia tylko w nocy z gałeczek zieleni ustępuje, a w dzień się w nich wytwarza? Czy też przenoszenie się skrobi z liści do dalszych części rośliny ma miejsce nieustannie, jak w dzień, tak i w nocy, a gromadzenie się w nich skrobi dzienną porą jest tylko skutkiem tego, że w oświetlonych gałeczkach zieleni skrobia prędzej powstaje, aniżeli z nich znika? Przy pierwszem rozumieniu rzeczy, skrobia, którą wieczorem w liściu znajdujemy, przedstawiałaby całkowitą ilość skrobi, wytworzonej w nim przez przeciąg całego dnia; w drugiem uważaćby ją należało tylko, jako różnicę między tą ilością skrobi, jaka w liściu w ciągu dnia powstała, a tą, jaka w tymże czasie z niego ustąpiła. Krótko mówiąc, chodzi o odpowiedź na pytanie, czy światło odpływ skrobi z gałeczek zieleni wstrzymuje czy nie? Sachs, jak się zdaje, był zdania, że w świetle skrobia z gałeczek zieleni nie znika, skoro mówi: »*die Stärkebildung im Chlorophyll ist also eine Function des beleuchteten, die Auflösung der Stärke eine Function des nicht beleuchteten Chlorophylls*«[1].

Tak więc praca niniejsza rozłoży się na dwie części:

1. O znikaniu skrobi z gałeczek zieleni.
2. O powstawaniu skrobi w gałeczkach zieleni.

CZĘŚĆ I.

O znikaniu skrobi z gałeczek zieleni.

Metoda doświadczeń.

Jak wyżej powiedziałem, chodziło mi przedewszystkiem o odpowiedź na pytanie: czy światło przeszkadza odpływowi skrobi

[1] Sachs, »*Lehrbuch der Botanik*« *III. Auflage* 1873. p. 656.

z liści do dalszych części rośliny, czy nie? Plan moich doświadczeń opierał się na następującem rozumowaniu. Jeżeli w istocie, jak utrzymuje Sachs, a za nim wszyscy prawie nowsi fizjologowie, skrobia w gałeczkach zieleni jest istotą, wytworzoną przez też gałeczki z kwasu węglowego i wody, to niezbędnym warunkiem jej powstawania tutaj musi być nie tylko światło, ale i przystęp kwasu węglowego, to — w razie jego nieobecności — choćby działanie światła najsilniejszem nawet było, ani śladu skrobi w gałeczkach zieleni wytworzyć się nie powinno. Jeżeli tak jest w istocie, to mamy bardzo łatwy sposób przekonania się, czy odpływ skrobi z liści na światło wystawionych ma miejsce, czy nie? bo umieściwszy roślinę, której gałeczki zieleni zawierały skrobię, w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego i wystawiwszy ją na światło, postawimy ją w warunkach, w których, mimo działania światła, skrobia znikająca nie będzie mogła być zastąpiona nową. Jeżeli tedy światło odpływu skrobi nie tamuje, to w tych warunkach, mimo najsilniejszego oświetlenia, ilość skrobi w gałeczkach zieleni będzie się musiała zmniejszyć.

Wszystkie prawie doświadczenia robiłem na młodych roślinkach, wyhodowanych z nasion w małych wazonikach.

Aby roślinę umieścić w atmosferze, kwasu węglowego nie zawierającej, wstawiałem wazonik do zwykłej szklanki do picia i razem z nią umieszczałem go na talerzu, na który nalewałem dość zgęszczonego roztworu wodnika potasowego. Następnie roślinkę nakrywałem dzwonem szklannym, około 5 litrów objętości mającym (fig. 1), szyjkę tego dzwonu zatykałem korkiem kauczukowym, przez otwór którego przechodziła rurka *a* dwa razy zgięta, połączona z szeroką rurką zgiętą w U, napełnioną kawałkami wodnika potasowego i pumexu napojonego roztworem tegoż ciała. W ten sposób powietrze pod dzwonem zawarte było w bezpośrednim związku z powietrzem zewnętrznem, ale przystęp kwasu węglowego do rośliny był całkowicie wstrzymany. Aby nie dopuścić wpływu i tych drobnych ilości kwasu węglowego, jakieby z ziemi do rośliny dostać się mogły, używałem z początku zamiast ziemi piasku wypalonego i napojonego dość stężonym roztworem soli, niezbędnych dla wzrostu rośliny; później atoli przekonałem się, że używając zwyczajnej ziemi ogrodowej, też same otrzymujemy wypadki.

Zestawienie i wyniki doświadczeń.

Doświadczenie I. (z roku 1873).

W dwóch wazonikach, napełnionych piaskiem wypalonym i napojonym roztworem soli żywiących, zasiano po kilka nasion rzodkwi. Jeden z wazoników *a* postawiono swobodnie na oknie, drugi *b* na tem samem oknie, ale pod dzwonem, w atmosferze nie zawierającej kwasu węglowego.

Dnia 22 Maja, gdy listnie się rozwinęły, wzięto próbki z obu wazoników i przekonano się, że w komórkach śródliścia, tak roślinek *a*, jak i *b*, skrobia dość obficie się znajdowała. To zdawało się na pozór przeczyć zdaniu o niezbędności kwasu węglowego do wytworzenia skrobi; jednakowoż, zastanowiwszy się nad tem bliżej, inaczej sądzić musimy.

Z doświadczeń Sachsa[1], Petersa[2] i innych wiadomo, że przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych tłuszcz przechodzi przedewszystkiem w skrobię, i ta dopiero zostaje następnie do budowy błon komórkowych zużyta. Skrobia więc, która się tu w listniach znajdowała, nie była wytworzona przez gałeczki zieleni, ale powstała z przeobrażenia się tłuszczu nagromadzonego w nasionach. Ta przemiana od kwasu węglowego w powietrzu zawartego jest oczywiście zupełnie niezależną; nic więc dziwnego, że w pierwszych dniach po rozwinięciu się listniów i te roślinki, które znajdowały się w atmosferze nie zawierającej kwasu węglowego, także skrobię zawierały. Aby więc odpowiedzieć na pytanie, czy kwas węglowy jest potrzebnym do tego, aby skrobia w gałeczkach zieleni powstać mogła? należało doświadczenie przedłużyć do czasu, w którym wszystek tłuszcz listniów i skrobia, z niego powstała, zostałyby przy wzroście listniów zużytemi.

Gdybyśmy potem jeszcze skrobię w listniach roślinek, rosnących w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego, znajdowali, to już w istocie o prawdziwości teorji Sachsa zwątpićby należało.

Dlatego d. 26 Maja wzięto nowe próbki listniów *a* i *b* i badano je na skrobię:

[1] Sachs, *Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. Jahrb. f. wiss. Bot. B. III.* 1863.

[2] Peters, *Zur Keimungsgeschichte des Kürbissamens in »Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen«.* H. 7. p. 1. 1861. Cytuje Sachs, *Experimental-Physiologie* s. 364.

a — komórki śródliścia przepełnione skrobią, *b* — w komórkach śródliścia zaledwo ślady skrobi.

Dnia 27 wieczór: *a* — jeszcze więcej skrobi niż dnia poprzedniego, *b* — ani śladu skrobi.

Wątpliwość zatem została rozwiązaną, bo pomimo, że roślinki *b* tak samo były wystawione na światło jak *a*, z pierwszych skrobia całkowicie zniknęła, gdy tymczasem w drugich obficie w komórkach śródliścia się znajdowała. Oczywiście, że skrobia z listniów roślinek *a* musiała być zużytą przy wzroście, tak samo jak w roślinkach *b*; różnica więc dostrzeżona mogła pochodzić tylko ztąd, że w roślinkach *a* skrobia zużyta zastąpioną została — tąż nowo wytworzoną; w roślinkach *b*, z powodu braku kwasu węglowego, skrobia w listniach powstawać nie mogła. A zatem doświadczenie to przekonywa nas, że: aby skrobia w gałeczkach zieleni powstać mogła, przystęp kwasu węglowego do rośliny jest bezwarunkowo niezbędnym. Wynik ten jest prawie niezbitym dowodem prawdziwości zapatrywania się Sachsa na skrobię w gałeczkach zieleni, jako na wypadek przyswajającej czynności tychże gałeczek.

Zdobywszy ten pierwszy fakt doświadczalny, można było teraz przystąpić do odpowiedzi na pytanie, czy odpływ skrobi z gałeczek zieleni wyłącznie w nocy, czy też i w dzień ma miejsce? W tym celu, w dalszym ciągu doświadczenia przestawiono wazoniki, wazonik *a* z zewnątrz wstawiono pod dzwon, a wazonik *b* z pod dzwonu wystawiono na zewnątrz.

Dnia 28 Maja o godz. $3^1/_2$ rano wzięto próbki listniów z każdego wazonika.

Listnie z wazonika *a* pod dzwonem zawierały bardzo obficie skrobię, listnie z *b* ani śladu tejże nie zawierały.

O godzinie $9^1/_2$ rano:

a — skrobi bardzo znacznie ubyło, *b* — skrobia już obficie się wytworzyła.

Godzina $3^1/_2$ po południu:

a — skrobia we większej ilości tylko w szparkach i około pęczków cewkowych, a w miąższu śródliścia tylko ślady, *b* — listnie przepełnione skrobią tak, że przy działaniu jodu wycinki z nich prawie czarne.

Tak więc w ciągu 12 godzin dziennych listnie roślinek, na wolnem powietrzu będących, przepełniły się skrobią, chociaż jej

poprzednio wcale nie zawierały; listnie zaś roślinek, do których kwas węglowy nie miał przystępu, jakkolwiek poprzednio bardzo obficie skrobię zawierały, w ciągu tych 12 godzin całkowicie się z niej wypróżniły, pomimo że tak samo, jak i poprzednie, przez cały ten czas na wpływ światła były wystawione. A zatem światło nie zatrzymuje znikania skrobi z liści; odpływ ten ma miejsce nie tylko w nocy, ale i w dzień, a gromadzenie się skrobi w liściach, wystawionych na światło, dla tego tylko możemy spostrzegać, że powstawanie jej w gałeczkach zieleni przeważa nad znikaniem. Nie spostrzegamy zatem całej ilości skrobi, ale tylko ten nadmiar, który jeszcze nie miał czasu przenieść się do dalszych części rośliny. Kraus wykazał, że skrobia tem szybciej w gałeczkach zieleni powstaje, im natężenie światła jest silniejsze, a zatem przy słabem natężeniu światła może się zdarzyć, że powstawanie i niknięcie skrobi wzajemnie się równoważą tak, iż, pomimo że sprawa przyswajania jeszcze nie ustanie, powstawania skrobi w gałeczkach zieleni już dostrzegać nie można, przeto, w dalszym ciągu, to, że przy pewnem natężeniu światła skrobia nie gromadzi się w gałeczkach zieleni, nie jest jeszcze dowodem, aby powstawanie jej, przy świetle tego natężenia, wcale nie miało miejsca, ale jest raczej wskazówką, że wytwarzanie się skrobi w liściach nie odbywa się szybciej, aniżeli jej odpływ do dalszych części rośliny.

Wszelako należało jeszcze zbadać, czy odpływ skrobi w świetle, gdy roślina kwasu węglowego jest pozbawioną, nie jest jakim patologicznym objawem i czy gałeczki zieleni zachowują przytem nadal swoją przyswajającą zdolność, a tylko dla braku surowego materjału czynności swojej odbywać nie mogą? W tym celu wazonik *a*, który stał cały dzień pod wpływem światła w atmosferze pozbawionej kw. węglowego, wstawiono na całą noc do ciemności, a następnego dnia o godzinie 7 rano wystawiono na słońce. O tej porze, jak się przekonano, listnie zawierały skrobię tylko w szparkach, wszystkie zaś komórki śródliścia były od niej wolne. O godzinie 9, a więc po dwóch godzinach oświetlenia, skrobia znajdowała się już, choć w ilości niezbyt wielkiej, we wszystkich komórkach śródliścia. A zatem gałeczki zieleni zachowały w zupełności swoją przyswajającą zdolność.

Doświadczenie II. (z r. 1873).

Udowodniwszy, że światło nie tamuje odpływu skrobi z liści do dalszych części rośliny, należało jeszcze zbadać, czy go jednak nie opóźnia, lub też nie przyśpiesza? tj. czy w ogóle światło nie ma jakiego wpływu na znikanie skrobi z gałeczek zieleni? W tym celu należało porównać szybkości, z jakiemi skrobia znika z liści wystawionych na światło i z liści umieszczonych w ciemności. Dnia 1 Czerwca zasiano rzodkiew w kilku wazonikach. Kiełkowanie i wzrost jej odbywały się bardzo powoli z powodu słotnego czasu i nizkiej ciepłoty, rzadko przechodzącej 15° C. Dnia 13 Czerwca listnie były całkowicie wykształcone i wyrośnięte, ale w gałeczkach zieleni znajdowało się nader mało skrobi. Dnia 14 Czerwca dwa wazoniki *a* i *b* od samego rana wystawione były na światło przez cały dzień, przy niebie pogodnem, i zostawione tak aż do godziny 7-ej dnia następnego. O tej godzinie wzięto próbki listniów z każdego wazonika. W obu listniach skrobia znajdowała się we wszystkich komórkach i to w dość znacznej ilości; w obu prawie równo, a może w *b* cokolwiek obficiej.

Oba wazoniki umieszczono w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego, przy tem *a* wystawiono na światło, a *b* wstawiono do ciemności. Do godziny 1-ej po południu ciepłota w świetle była przecięciowo 23° C., w ciemności 19° C.

Godzina 1 po południu: wzięto po trzy próbki listniów z roślinek każdego wazonika i nie znaleziono w *a* ani śladu skrobi w żadnym z trzech listniów, a w *b* — w jednym z listniów tylko małe ilostki skrobi w pobliżu brzegów pojawiały się, w dwóch drugich zaś jeszcze niemal we wszystkich komórkach.

Godzina 9 wieczór: *b* — jeszcze prawie wszędzie drobne ilości skrobi.

Dnia 16 Czerwca rano: *b* — nigdzie ani śladu skrobi.

Teraz znów oba wazoniki wystawiono przez cały dzień na wpływ światła na wolnem powietrzu. Dzień był jasny i ciepły, choć się słońce często za chmury chowało.

Godzina 9 wieczór: wszystkie listnie tak skrobią przepełnione, że wycinki ich przy działaniu jodu barwią się prawie czarno; *b* zostawiono na oknie, wstawiwszy w atmosferę pozbawioną kwasu węglowego, *a* umieszczono w takiej samej atmosferze, ale w ciemności.

Dnia 17 godzina 4 rano (Ciepł. w świetle 16,2° C., w ciemności 19,4° C.).

W listniach roślinek obu wazoników ilość skrobi znacznie się zmniejszyła, mimo to w jednym i drugim wszystkie komórki listniów obficie ją zawierają.

Godzina 10 rano: (Ciepł. w świetle 30°, w ciemności 21,4° C.) *b* — skrobi nigdzie, nawet w szparkach nie ma najmniejszego śladu. *a* — w jednym listniu skrobia znikła całkowicie, w drugim zostały jej tylko gdzie niegdzie ślady, w trzecim skrobia znajduje się niemal we wszystkich komórkach miękiszu gębczastego, lecz w większej ilości w pobliżu pęczków naczyniowych; w miękiszu zaś palisadowym tylko w komórkach, leżących ponad pęczkami naczyniowemi.

Doświadczenie III. (z r. 1874).

Dnia 9 Czerwca o godzinie 5 · min. 30| rano wzięto próbki listniów z roślinek, które dotąd rosły na oknie południowo wschodniem, w dwóch wazonikach *a* i *b*. Te listnie badane na skrobię, okazały: *a* — skrobia w tkance gębczastej dość obficie, w palisadowej bardzo skąpo; *b* — ilość i rozłożenie skrobi, jak w *a*. *a* umieszczono w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego i zostawiono w świetle, *b* zaś wstawiono do ciemności.

Godzina $12^1/_2$ w południe: *a* — ani śladu skrobi, *b* — małe ilości skrobi w pobliżu pęczków naczyniowych.

Godzina 7 wieczór: *b* — ani śladu skrobi.

Wyniki tych dwóch doświadczeń zgodnie okazują, że w świetle odpływ skrobi z liści co najmniej z taką samą odbywa się szybkością, jak i w ciemności; a nawet w świetle znikanie skrobi bywa szybsze aniżeli w ciemności, co jednak, zdaniem mojem, przypisać należy nie wpływowi światła, ale wyższej ciepłocie, bo już zkądinąd (doświadczenia Sachsa) wiadomo, że odpływ skrobi przy wyższej ciepłocie prędzej się odbywa aniżeli przy niższej.

Co się tyczy szybkości znikania skrobi, to doświadczenia te (przynajmniej u rzodkwi) pokazują, że nawet przy największem nagromadzeniu skrobi w listniach 24 godzin wystarcza, ażeby cały jej zapas z nich całkowicie zniknął.

Ten wypadek zawsze znajdowałem stwierdzony, ile razy przy

doświadczeniach nad powstawaniem skrobi umieszczałem rośliny w ciemności, aby ich gałeczki zieleni pozbawić skrobi. Jeżeli ciepłota wynosiła przynajmniej około 20° C., 24 godzin zawsze wystarczało do zupełnego uwolnienia gałeczek zieleni od zawartej w nich skrobi.

Doświadczenie IV. (z Czerwca 1874).

Miało ono na celu odpowiedź na pytanie, czy można liście na gałązkach odciętych od rośliny pozbawić skrobi. W doświadczeniu tem chciałem się zatem przekonać, czy skrobia może przejść z liści do gałązki nawet i wtedy, gdy ta ostatnia pozbawioną jest związku z resztą rośliny — a więc z korzeniami. Doświadczenie robiłem najprzód na wierzbie białej. Przy tem przewidywałem z góry, że w tych warunkach doświadczenie kilka dni potrwać musi. Że zaś umieszczenie rośliny na tak długi czas w ciemności musiałoby pociągnąć za sobą dezorganizacją zieleni, postanowiłem robić je w rozproszonem świetle.

Uciąwszy z wierzby kilka gałązek około 20 centim. długich, z liśćmi zdrowemi, wetknąłem je do wązkiego słoika z wodą i postawiłem z nim razem na talerzu. Następnie nakryłem słoik dzwonem i nalałem na talerz roztworu wodnika potasowego, jak w poprzednich doświadczeniach, aby przystęp kwasu węglowego do rośliny całkowicie wstrzymać. Cały przyrząd umieściłem na stole, stojącym na przeciwko, lecz opodal od okna. Próbki, wzięte z liści przed zaczęciem doświadczenia, okazały, że wszystkie komórki były skrobią przepełnione.

Po dwóch dniach jeszcze liście dość znaczne ilości skrobi zawierały.

Po pięciu dniach już nawet ani śladu skrobi w miąższu liściowym nie było, i tylko szparki zawierały ją jeszcze.

Widzimy zatem, że i w tych warunkach znikanie skrobi z gałeczek zieleni dokonywa się, tylko, jak się zdaje, nieco wolniej niż wtedy, gdy liście z całą rośliną pozostają w związku.

Doświadczenie V. (z r. 1874).

Celem jego było sprawdzenie wypadku poprzedniego na innej roślince i wykazanie, o ile pozbawienie rośliny związku z jej korzeniem wpływa na zwolnienie ubywania skrobi z liści.

Dnia 10 Lipca o godz. 8 wieczór ścięto łodygę tatarki *a*, około 20 cent. wysoką, 4 cent. po nad ziemią [1], i, jak w poprzedniem doświadczeniu, wetknięto ją w naczynie z wodą i umieszczono w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego. Równocześnie wazonik z drugą rośliną *b*, tego samego wieku, wstawiono do ciemności. Próbki z dwóch liści rośliny *a* i trzech rośliny *b* okazały, że śródliście wszystkich tych liści było przepełnione skrobią.

Dnia 11 Lipca, godzina 8 rano: *a* — z jednego liścia skrobia znikła już całkowicie, w drugim znajduje się jeszcze obficie w tkance gębczastej, a w palisadowej już jej nie ma prawie nic; *b* — nigdzie ani śladu skrobi.

Godzina 8 wieczór:

a — skrobia także już wszędzie znikła całkowicie.

I to zatem doświadczenie pokazuje, że oddzielenie rośliny od korzenia nie niszczy bynajmniej przenoszenia skrobi z liści do łodygi, ale tylko cokolwiek je zwalnia.

Wyniki powyższych doświadczeń dadzą się streścić w następujących ustępach:

1. Kwas węglowy jest niezbędnym czynnikiem przy powstawaniu skrobi w gałeczkach zieleni.

2. Skrobia z gałeczek zieleni przenosi się do dalszych części rośliny nie tylko w nocy, ale i w dzień, a nawet znikanie jej w roślinie, na słońce wystawionej, z powodu podwyższonej ciepłoty odbywa się prędzej aniżeli w ciemności.

3. Z tego, że w pewnych warunkach nie znajdujemy skrobi w gałeczkach zieleni, nie wynika jeszcze, żeby przy tych warunkach skrobia w nich nie powstawała.

4. Skrobia przenosi się z liści do łodygi nawet wtedy, gdy ta ostatnia będzie odcięta od korzenia i wstawiona do wody, a nawet i wtedy, gdy nie całą łodygę, ale tylko jej gałązkę odetniemy i do wody wstawimy.

Jeżeli te wypadki już same w sobie są zajmujące i ważne, to daleko ważniejszem jest jeszcze to, że przez umieszczenie rośliny w atmosferze, kwasu węglowego pozbawionej, mamy środek przeszkodzenia sprawie przyswajania w roślinie, wystawionej nawet na działanie bezpośrednich promieni słonecznych. Zyskujemy przez

[1] Cięcie wykonane zostało pod wodą, ażeby uniknąć więdnięcia; patrz: Hugo de Vries, *Ueber das Welken abgeschnittener Sprossen. Arbeiten des bot. Inst. zu Würtzburg.* Zeszyt III.

to nową metodę robienia doświadczeń, dzięki której przy badaniu wpływu światła na życie rośliny nie raz będziemy mogli otrzymać cenne wypadki, albowiem wpływ światła na roślinę jest bardzo różnorodny, a światło wpływa na rozmaite czynności fizjologiczne, nie tylko na samo przyswojenie. Ale we wielu razach możemy mieć wątpliwości, jak sobie ten wpływ światła tłumaczyć należy: czy uważać go za bezpośredni? czy też przyjmować, że światło oddziaływa tylko pośrednio, pobudzając sprawę przyswajania, która ze swej strony oddziaływa na inne fizjologiczne czynności? Otóż, przez umieszczanie rośliny w atmosferze, kwasu węglowego nie zawierającej, i wystawianie jej na światło możemy zawsze te wątpliwości rozwiązać i przekonać się, czy dana sprawa lub czynność bezpośrednio od wpływu światła, czy też tylko od sprawy przyswajania zależy? Tak np. za pomocą tej metody spodziewam się w dalszych moich doświadczeniach dać pewne wyjaśnienia w przedmiocie wyciekania roślin w ciemności.

Doświadczenia w tym kierunku już rozpocząłem, a nawet osiągnąłem z nich już pewne wypadki. I tak: mogę już stanowczo zaprzeczyć zdaniu K r a u s a, jakoby wyciekanie łodyg pochodziło stąd, że komórki ich kory nie mogą w ciemności przyswajać kwasu węglowego, a przez to ścianki tych komórek nie grubieją i bardziej ulegają wyciągającemu działaniu rdzenia. Również twierdzić mogę na pewno, że niewyrastanie listniów w ciemności nie ma nic wspólnego ze sprawą przyswajania. Nadto zdaje się być rzeczą bardzo prawdopodobną, że, jak to twierdzi K r a u s, aby liście (*Laubblätter*) rozrosły się prawidłowo, potrzebują przyswajać koniecznie. Badania jednak moje nad kwestją wyciekania są dopiero rozpoczęte i dla tego ogłoszenie już wykonanych doświadczeń zachowuję sobie do czasu ich ukończenia.

CZĘŚĆ II.

O powstawaniu skrobi w gałeczkach zieleni.

Ponieważ wpływ światła i ciepłoty, jak we wstępie historycznym widzieliśmy, już dawniej zbadanym został, więc sobie postanowiłem zbadać wpływ, jaki na szybkość powstawania skrobi w gałeczkach zieleni wywiera ilość kwasu węglowego, znajdującego się w powietrzu otaczającem roślinę. Dotąd nie tylko nikt w tej sprawie żadnych doświadczeń nie robił, ale nawet nikt

jeszcze nie wniósł podobnego pytania. Mnie pytanie to nastręczyły wyniki mej pracy nad wpływem ilości kwasu węglowego w powietrzu na jego rozkład przez liście roślin [1]. Wyniki te streściłem w 5 następujących punktach [2]:

1. Wzbogacenie powietrza w kwas węglowy do pewnej granicy (*optimum*) przyspiesza sprawę przyswajania, a powyżej tej granicy oddziaływa na nią szkodliwie.

2. Wysokość tego optimum jest różną dla różnych roślin. W dnie jasne wynosi ono dla manny wspaniałej (*Glyceria spectabilis*) 9—10%, dla przypałki szerokolistnej (*Typha latifolia*) 5—7%, a dla płochowia (*Nerium Oleander*) prawdopodobnie jeszcze mniejszej domieszki kw. węglowego potrzeba.

3. Przybytek kw. węglowego w powietrzu powyżej optimum nie tyle szkodzi rozkładowi kw. węglowego, ile go przyspiesza takiż przybytek poniżej optimum.

4. Mierny przybytek kw. węglowego w powietrzu tem korzystniej na rozkład tegoż kwasu oddziaływa, im natężenie światła jest silniejsze; zbyt zaś wielka jego domieszka do powietrza działa tem szkodliwiej, im natężenie światła jest słabsze.

5. Z punktu czwartego wynika, że wpływ natężenia światła na rozkład kw. węglowego jest tem większy, im powietrze otaczające roślinę większą ilość tegoż kwasu zawiera. Jeżeli te wypadki są ogólne i prawdziwe i jeżeli w istocie skrobia w gałeczkach zieleni jest istotą z rozładu kw. węglowego powstającą — to ilość tego gazu, znajdująca się w powietrzu roślinę otaczającem, musi wpływać na wytwarzanie się skrobi w gałeczkach zieleni zupełnie tak samo, jak i na rozkład kw. węglowego przez liście roślin. Tutaj rozkład kw. węglowego i powstawanie skrobi w liściach są tylko dwoma objawami jednej i tej samej sprawy przyswajania; wszystko więc, co oddziaływa na jeden z tych objawów, musi tak samo oddziaływać i na drugi. Niniejsza zatem moja praca jest prostem następstwem mojej pracy dawniejszej, poniekąd jej powtórzeniem dokonanem odmienną metodą, a wypadki jej nieledwie z góry przewidzieć się dają. Niemniej jednak praca ta nie jest zbyteczną, bo w naukach przyrodniczych, a zwłaszcza

[1] *Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalte der Luft. Arbeiten des bot. Instituts in Würtzburg* s. 343 do 379.

[2] l. c. s. 369.

biologicznych, na poparcie pewnych wniosków, wyprowadzonych z doświadczeń, nigdy za wiele dowodów być nie może; nic zaś nie daje nam tak pewnych rękojmi prawdy, jak kiedy do tych samych wyników dwoma odmiennemi dochodzimy drogami. Dlatego wydało mi się rzeczą pożądaną wpływ kw. węglowego na wytwarzanie się skrobi w gałeczkach zieleni zbadać doświadczalnie.

Metoda doświadczeń.

Przy badaniu powstawania skrobi najpierwszą jest rzeczą mieć do użycia takie rośliny, w których gałeczki zieleni byłyby w zupełności wolne od wszelkiej treści skrobiowej. W tym celu trzech sposobów używać można: pierwszy z nich był podany przez Sachsa, drugi przez Krausa, trzeci zaś jest wypadkiem doświadczeń, w pierwszej części tej pracy opisanych.

Sachs wykazał, że istota skrobiowa z gałeczek zieleni znika, gdy roślina usuniętą będzie z pod wpływu światła. Długość czasu, potrzebna do tego, aby gałeczki zieleni zupełnie od skrobi się uwolniły, jest zależną od dwóch okoliczności: 1) od ilości skrobi, jaka poprzednio zawarta w nich była, 2) od ciepłoty. Jako zasadę przyjąć należy, żeby rośliny dłużej jak 24 godziny w ciemności nie trzymać, bo inaczej gałeczki zieleni same zaczynają się dezorganizować. Nawet i wtedy, gdy po dłuższem zostawaniu rośliny w ciemności mikroskop jeszcze żadnych śladów dezorganizacji gałeczek zieleni nie pokazuje, zdolność ich wytwarzania w świetle skrobi słabnie, lub nawet na czas jakiś w zupełności ustaje i dopiero po dłuższem przebywaniu rośliny pod wpływem światła gałeczki te znów skrobię wytwarzać zaczynają. Nie jednokrotnie się przekonałem, że w tych warunkach, w których gałeczki zieleni roślin, które tylko 25 godzin lub mniej przebyły w ciemności, już w ciągu $^1/_2$ godziny znaczne ilości skrobi wytwarzały, nawet jeszcze i po dwóch godzinach skrobia nie powstawała, jeśli rośliny poprzednio 2 lub 3 doby znajdowały się w ciemności. Dlatego, używając ciemności do pozbawienia gałeczek zieleni istoty skrobiowej, baczyć należy, żeby rośliny nie były za długo światła pozbawione, bo inaczej nie będą one przydatne do robienia doświadczeń. Z tego powodu w ten sposób robiący doświadczenia bardzo jest zależny od pogody; bo, wstawiając rośliny do ciemności, nie może być pewnym, czy za 24 godzin czas będzie sprzy-

jał jego doświadczeniom; jeżeli więc pogoda nie dopisze, musi napowrót wystawić rośliny na wpływ światła, żeby ich zieleń od dezorganizacji uchronić.

Sposób podany przez Krausa[1] polega na tem, że roślinki hoduje się z nasion w świetle bardzo słabem, dostatecznem jednak do tego, aby gałeczki zieleni wykształciły się prawidłowo — ale niedostatecznem, żeby skrobia w nich gromadzić się mogła.

Wreszcie trzeci sposób wynika z powyżej opisanych doświadczeń moich nad znikaniem skrobi i polega na umieszczeniu rośliny w atmosferze kw. węglowego pozbawionej, nie usuwając jej wcale z pod wpływu światła. Sposób ten o tyle jest lepszy od pierwszego, że nie ma niebezpieczeństwa, żeby gałeczki zieleni ucierpiały z powodu braku światła; nad drugim zaś sposobem ma tę wyższość, że przy nim jedna roślina kilka razy do doświadczenia użytą być może, bo skrobia, która się wytworzyła, znów może być z gałeczek zieleni usuniętą. Jedyną jego niedogodnością jest to, że trzeba zestawić tyle aparatów ile jest wazoników, albo też mieć jeden tak wielki, żeby kilka wazoników pod nim umieścić było można. Jedno i drugie wymaga większego zasobu środków, niż były moje, i dla tego sposobu tego czasem tylko używałem, najczęściej zaś posługiwałem się sposobem Sachsa, jako najprostszym i najtańszym, bo wymaga tylko skrzynki lub szafki, wyklejonej czarnym papierem, do wstawiania roślin, których liście chcemy skrobi pozbawić.

Rozumie się, że przed zaczęciem każdego doświadczenia brano próbki z liści, w których powstawanie skrobi dostrzegać chciano, żeby się przekonać, że ich gałeczki zieleni są istotnie wolne od wszelkich śladów istoty skrobiowej; a jeżeli kiedy znaleziono w tych próbkach choćby najmniejszy ślad skrobi, doświadczenie uważano za niebyłe. Do wykrywania skrobi używano zawsze sposobu we wstępie opisanego, polegającego na napuszczaniu wycinków odbarwionego liścia najprzód wodnikiem potasowym, następnie wodą, kw. octowym, znów wodą, a dopiero jodem. Gdy mowa o barwie wycinka, rozumieć należy barwę, jaką tenże po tem przygotowaniu od jodu przybiera. Z małemi wyjątkami, wszystkie doświadczenia robiono z młodemi roślinkami, wyhodowanemi z nasion w małych doniczkach. Do największej ich

[1] *Jahrb. für Wissenschaftliche Bot.* B. VII. s. 513.

liczby brano listnie młodej rzodkwi (*Raphanus sativus*), a do niektórych nawet same liście. Oprócz rzodkwi używano do doświadczeń także tatarki i wierzby. Tam, gdzie przy podanem doświadczeniu nie ma wymienionej rośliny doń użytej, należy rozumieć, że doświadczenie robiono na rzodkwi. Gdy już miano gotowe wazoniki z roślinkami, których listnie wcale nie zawierały skrobi, należało umieścić każdy z nich w atmosferze, inną ilość kwasu węglowego zawierającej, i wystawić na światło. Jeden z wazoników stał wolno przy otwartem oknie tak, że atmosfera jego była taką, w jakiej normalnie rosną rośliny, zawierała więc około $^1/_{20}\%$ kw. węglowego; inne wstawiono pod dzwon, w atmosferze będącej mięszaniną powietrza z kw. węglowym. Przytem postępowano w sposób następujący: doniczkę z roślinkami wstawiano w zwyczajną szklankę do picia i z nią razem stawiano na talerzu. Wszystko razem przykrywano takim samym dzwonem, jak przy poprzednich doświadczeniach. Dzwon zatkany był korkiem kauczukowym, przez który przechodziła mała rurka szklanna *a*, pod kątem prostym zgięta (fig. 2); na końcu tej rurki nałożona była mała rurka kauczukowa, która za pomocą pręcika szklannego albo ściskacza mogła być szczelnie zamkniętą. Po przykryciu wazonika tym dzwonem wlewano na talerz wodę, a jednocześnie wyciągano ustami przez rurkę *a* powietrze z pod dzwona, ażeby wodę w nim podnieść do pewnej wysokości. Potem wpuszczano przez rurkę *a* kwas węglowy, wywiązujący się z marmuru i kwasu solnego we flaszce *D*, a opłókujący się w roztworze węglanu sodowego, we flaszeczce *C* zawartym. Gdy już żądana ilość tego gazu weszła pod dzwon, zamykano rurkę *a* pałeczką szklanną albo ściskaczem i przyrząd wystawiano na światło. Ale należało jeszcze umieć ocenić choć w przybliżeniu ilość kw. węglowego, wpuszczonego pod dzwon. O liczby dokładne chodzić tu nie mogło, bo gdzie wypadków doświadczeń nie można w liczbach podać, tam też nie może chodzić o matematyczną ścisłość w określeniu warunków, w których były robione. Otóż przybliżoną ilość kw. węglowego, do powietrza wpuszczonego, wskazywała podziałka na papierze wzdłuż dzwonu przyklejona, każdy przedział między dwoma kreskami tej podziałki oznaczał $^1/_{100}$ objętości dzwonu. Urządzenie podziałki było dość mozolne z powodu, że przy niem należało uwzględnić objętość powietrza wypchniętego przez szklankę i wazonik z rośliną; a więc u dołu

odstępy między podziałkami musiały być znacznie większe niż wyżej, w miejscu, do którego już wazonik nie sięgał. Ponieważ podziałka raz zrobiona musiała służyć do wszystkich doświadczeń, dla tego należało dobierać wazoników o ile możności jednego rozmiaru, bo inaczej do każdego wazonika oddzielną przyszłoby sporządzać podziałkę. Szklanki, w które wazoniki wstawiano, były wszystkie jednakowe.

Jeżeli teraz podniesiono wodę tak, żeby jej powierzchnia w dzwonie dosięgała podziałki 10, a następnie wpuszczano kw. węglowy, dopóki powierzchnia wody nie zeszła do 0, przyjmowano, że powietrze, w którem umieszczona była roślina, zawierało 10% kwasu węglowego.

Zestawienie doświadczeń.

Doświadczenie I. (25 Czerwca 1873).

O godzinie 12 w południe wystawiono dwa wazoniki z młodemi roślinkami rzodkwi, *a* na wolnem powietrzu, *b* zaś w powietrzu zawierającem 8% kw. węglowego. Doświadczenie trwało 20 minut, w czasie których słońce świeciło bez przerwy; ciepłota była 27° C.

Po upływie 20 minut okazało się, że:

W listniach wazonika *a* zaledwo przy powiększeniu 600 razy wątpliwe ślady skrobi dostrzedz było można, wycinki od jodu przybierały dla gołego oka barwę blado żółtą. Listnie zaś wazonika *b* dały wycinki dla gołego oka fioletowe, a w każdej komórce z zielenią po kilkadziesiąt ziarnek skrobi tak, że nie było gałeczki zieleni, któraby ich nie zawierała; niektóre z gałeczek zawierały nawet po kilka ziarnek skrobi.

Doświadczenie II. (26 Czerwca).

a — na wolnem powietrzu, *b* — w powietrzu zawierającem 8% kwasu węglowego.

Początek doświadczenia o godzinie 3 z południa. Do godz. 4 słońce często zachodzi za chmury, ale się też często pokazuje, od 4 zaś już ciągle jest chmurami zasłonięte.

O godz. 3 min. 30:

a — ani śladu skrobi. *b* — skrobia rozsiana we wszystkich komórkach, ale ziarnka jej nadzwyczaj drobne, dopiero przy powięk-

szeniu 300 razy wyraźnie widzialne; wycinki dla gołego oka blado fioletowe.

Godzina 4:

a — ślady skrobi tylko przy brzegach listniów.

Godzina 5:

a — drobniuchne ziarnka skrobi już spostrzegać się dają we wszystkich komórkach, ale jeszcze mniej obficie niż w *b* o godz. $3^1/_2$; wycinki mają bardzo słaby brudnawy odcień.

Doświadczenie III. (27 Czerwca, godz. 2 min. 40)[1].

a i *b*, jak wyżej.

Czas pochmurny, choć dość jasny, światło tylko rozproszone, ciepłota 17° C.

Po $1^1/_2$ godz. wystawieniu na światło:

a — skrobia tylko po brzegach listniów. *b* — skrobia we wszystkich komórkach; wycinki blado fioletowe.

Po $3^1/_2$ godz. oświetleniu:

a – skrobia mniej więcej w takiej ilości, jak w *b* po półtoragodzinnem oświetleniu.

Doświadczenie IV. (29 Czerw. godz. 3 m. 5 p.).

a i *b*, jak wyżej. Przez pierwszy kwadrans słońce świeci bez przerwy, później czasami, ale tylko na chwilę, zachodzi za chmury; ciepłota 25—29° C.

Po upływie 15 minut:

a — ani śladu skrobi. *b* — skrobia we wszystkich komórkach, jak się zdaje nawet w każdej gałeczce zieleni; wycinki blado fioletowe.

Po upływie $^1/_2$ godziny:

a — wątpliwe ślady skrobi.

Po całej godzinie:

a — skrobia już we wszystkich komórkach, ale jeszcze w daleko mniejszej ilości, niż w *b* po 15 min. oświetlenia.

Doświadczenie V. (30 Czerw. godz. 3 min. 35).

a i *b*, jak wyżej. Słońce prawie bez przerwy, ciepłota 26° C.

Po 10 minutach:

a i *b* — ani śladu skrobi.

[1] Godzina, podana przy dacie, oznacza czas rozpoczęcia doświadczenia.

Doświadczenie VI. (4 Lipca godz. 2).

a i *b*, jak wyżej. Niebo pochmurne, tylko na kilka minut w czasie doświadczenia słońce się pokazało, ciepłota 22° C.

Po godzinie:

a — tylko przy brzegach listniów wątpliwe ślady skrobi. *b* — skrobia we wszystkich komórkach dość obficie, zwłaszcza w tkance palisadowej; wycinki blado fioletowe.

Po 2 godzinach:

a — skrobia we wszystkich komórkach, ale jeszcze w nieco mniejszej ilości, niż w *b* po godzinie.

Doświadczenie VII. (7 Lipca godz. 10 m. 45).

a i *b*, jak wyżej. Słońce bez przerwy świeciło przez cały ciąg doświadczenia; ciepłota 29—30° C.

Po 15 minutach:

a — ani śladu skrobi. *b* — skrobia we wszystkich komórkach; wycinki dla gołego oka blado fioletowe.

Przy zamkniętych okiennicach na nowo wazonik *b* umieszczono pod dzwonem i wpuszczono doń 8% kw. węglowego. Manipulacja trwała 5 minut.

Po $^1/_2$ godziny[1]:

a — ślady skrobi w niektórych komórkach tkanki palisadowej, mianowicie ku brzegom. *b* — skrobia obficie we wszystkich komórkach; wycinki ciemno fioletowe. Nowe wprowadzenie kw. węglowego trwa 5 minut.

Po całej godzinie:

a — skrobia mniej więcej we wszystkich komórkach, wycinki blado fioletowe; ale zdaje się, jakby zabarwienie było słabsze, niż w *b* po 15 minutach oświetlenia. *b* — skrobia we wszystkich komórkach tak obficie, że wycinki nieco grubsze pod mikroskopem nieprzezroczyste, a dla gołego oka prawie czarne.

Doświadczenie VIII. (15 Lipca godz. 2 m. 30).

a — na wolnem powietrzu, *b* — w powietrzu zawierającem 10%, *c* — w powietrzu zawierającem 25% kw. węglowego. Słońce przez ciąg doświadczenia prawie bez przerwy świeciło.

[1] Czas zawsze liczony jest od początku doświadczenia.

Po $^1/_2$ godziny:

a — ślady skrobi po brzegach liści. *b* — skrobia obficie we wszystkich komórkach, wycinki mocno fioletowe. *c* — wątpliwe ślady skrobi po brzegach listniów.

Po całej godzinie:

a — skrobia we wszystkich komórkach; wycinki dość mocno zabarwione.

Doświadczenie IX. (15 Lipca godz. 4 p.).

a — na wolnem powietrzu, *b* — w powietrzu zawierającem 6%, *c* — w powietrzu zawierającem 25% kw. węglowego. W ciągu godziny, przez którą trwało doświadczenie, słońce świeciło, lub, co rzadziej, zachodziło za chmury. Ciepłota 25—21° C

Po upływie godziny:

a — skrobia mniej więcej we wszystkich komórkach, ale w bardzo małej ilości. *b* — skrobia we wszystkich komórkach obficie; wycinki mocno fioletowe. *c* — skrobia w małej ilości i to głównie po brzegach liści, oraz w blizkości pęczków naczyniowych; w komórkach, bezpośrednio pod naskórkiem będących, prawie jej nie ma.

Doświadczenie X. (16 Lipca g. 3 m. 30).

a, jak wyżej, *b* — w powietrzu 6%, *c* — w powietrzu 26% kw. węglowego zawierającem. Słońce świeci prawie bez przerwy, czasem tylko za obłoki się kryje. Ciepł. 25—26° C.

Po $1^1/_2$ godziny:

a — skrobia dość obficie we wszystkich komórkach, wycinki fioletowe. *b* — komórki przepełnione skrobią, wycinki prawie czarne. *c* — wycinki blado fioletowe, skrobia w znaczniejszej ilości tylko w pobliżu pęczków naczyniowych, mniej obficie w tkance gębczastej, w tkance palisadowej bardzo mało i to tylko na granicy jej z tkanką gębczastą; dwie warstwy tkanki palisadowej, bezpośrednio pod przyskórkiem położone, prawie wcale skrobi nie zawierają.

Doświadczenie XI. (17 Lipca g. 3 p.).

Dwa wazoniki *a* i *b* ustawiono na oknie, które przez całe dwie godziny podczas doświadczenia było bez przerwy oświetlone bezpośredniemi promieniami słońca. Dwa inne *á* i *b́* stały na innem

oknie, do którego tylko przez ostatnie pół godziny słońce dochodziło. Przez pierwsze półtorej godziny roślinki, na niem stojące, były wystawione tylko na wpływ światła rozproszonego. Ciepłota w słońcu 26° C., w świetle rozproszonem 22° C. *a* i *á* na wolnem powietrzu, *b* i *b́* w powietrzu zawierającem 30% kw. węglowego.

Po upływie 2 godz., przeznaczonych na doświadczenie, znaleziono:

a — skrobia obficie we wszystkich komórkach, wycinki dość mocno fioletowe. *b* — skrobia w małej ilości tylko w pobliżu pęczków naczyniowych i to wyłącznie w tkance gębczastej; w palisadowej nie ma jej ani śladu. *á* — mało co mniej skrobi niż w *a*. *b́* — nigdzie ani śladu skrobi.

Doświadczenie XII. (18 Lipca g. 11 m. 30 r.).

a — na wolnem powietrzu; *b* — w powietrzu zawierającem 8%, *c* — w powietrzu zawierającem 30% kw. węgl. Dzień dość jasny, ale słońce tylko chwilami z po za chmur się pokazuje. Ciepłota 24—30° C.

Po upływie $^1/_2$ godziny:

a — ani śladu skrobi. *b* — skrobia obficie we wszystkich komórkach. *c* — ślady skrobi w tkance gębczastej, w pobliżu pęczków naczyniowych.

Po upływie $1^1/_2$ godziny:

a — skrobia w małej ilości, ale we wszystkich komórkach. *b* — skrobia we wszystkich komórkach bardzo obficie. *c* — w jednym z listniów skrobia we wszystkich komórkach, w tkance gębczastej w pobliżu pęczków naczyniowych obficiej niż w palisadowej; w drugim skrobia tylko w tkance gębczastej i w pobliżu pęczków naczyniowych, a w tkance palisadowej nie ma jej wcale.

Doświadczenie XIII. (20 Maja 1874 r. g. 10).

a — na wolnem powietrzu; *b* — w powietrzu zawierającem 6%, *c* — 25% kw. węglowego. Słońce czasem się pokazuje i znowu się chowa za chmury. Ciepłota 20—16° C.

Po godzinie:

a — ku brzegom listniów zaledwo dostrzegalne ślady skrobi. *b* — skrobia choć w niewielkiej ilości we wszystkich komórkach,

najwięcej w dolnych komórkach tkanki palisadowej. *c* — ani śladu skrobi.

Doświadczenie XIV. (22 Maja 1874 r. g. 11).

a, jak wyżej; *b* — w powietrzu 6%, *c* — 15%, *d* — 30% kw. węglowego zawierającem. Słońce już świeci, już zachodzi za chmury. Ciepłota 22—25° C.

Po upływie godziny:

a — ślady skrobi, zaledwo dostrzedz się dające. *b* — skrobia dość obficie we wszystkich komórkach, w tkance gębczastej obficiej niż w palisadowej, bezpośrednio pod przyskórkiem leżącej. *c* — małe ilości skrobi tylko w pobliżu pęczków naczyniowych, a w innych komórkach nie ma jej prawie wcale. *d* — ani śladu skrobi.

Doświadczenie XV. (25 Maja 1874 r. g. 4).

a, jak wyżej; *b* — w powietrzu 6%, *c* — 13% kw. węgl. zawierającem. Słońce świeci prawie bez przerwy. Ciepłota 20—22° C.

Po upływie 2 godz:

a — skrobia rozsiana we wszystkich komórkach, mianowicie w tkance palisadowej, ale wszędzie w bardzo małej ilości. *b* — skrobia obficie, zwłaszcza w tkance palisadowej, wycinki mocno fioletowe. *c* — skrobia dość obficie, głównie w pobliżu pęczków naczyniowych i w miękiszu gębczastym; warstwa tkanki palisadowej bezpośrednio pod przyskórkiem prawie od skrobi wolna.

Doświadczenie XVI. (1 Czerw. 1874).

Polygonum fagopyrum.

Młode roślinki, które już po kilka liści rozwinęły; doświadczenie na liściach — nie na listniach.

a — na wolnem powietrzu; *b* i *c* — w powietrzu 6% kw. węgl. zawierającem; ale *b* — roślina, jak zwykle, umieszczona pod dzwonem w wazoniku; *c* — jeden liść oderwany od rośliny i umieszczony w rurce szklannej około 100 cent. sześć. objętości mającej i zamkniętej wodą.

Po upływie godziny:

a — małe ilości skrobi rozsiane we wszystkich komórkach; wycinki słabo fioletowe.

Po $2^1/_2$ godzinach:

a — skrobia prawie tak obficie, jak w *b* po 1 godzinie. *b* — komórki przepełnione skrobią. *c* — skrobia bardzo obficie, mało co mniej, niż w *b*.

Doświadczenie XVII. (21 Czerw. 1874 r. g. 1 m. 35).

Polygonum fagopyrum.

a — na wolnem powietrzu; *b* — w powietrzu 7%, *c* — 20% kw. węgl. zawierającem. Pochmurno, deszcz. Ciepłota 16° C.

Po upływie godziny i 15 min.:

a — skrobia w niewielkiej ilości prawie we wszystkich komórkach, *b* — skrobia we wszystkich komórkach rozrzucona, ale może jeszcze w mniejszej ilości niż w *a*. *c* — ani śladu skrobi.

Po upływie $2^1/_2$ godzin:

a i *b* — rozłożenie skrobi jak po godzinie, tylko jej więcej.

Doświadczenie XVIII. (24 Czerw. godz. 11 m. 50).

Raphanus sativus.

a — na wolnem powietrzu; *b* — w powietrzu zawierającem 3%, *c* — 6%, *d* — 12%, *e* — 25% kw. węgl. Roślinki nie tylko z listniami, ale i z liśćmi rozwiniętemi; badano jedne i drugie.

Po upływie 25 minut:

a — wycinki bezbarwne; ślady skrobi ku brzegom liści. *b* i *c* — skrobia dość obficie we wszystkich komórkach, szczególniej w tkance palisadowej. *d* — skrobia we wszystkich komórkach, ale mniej niż w *b* i *c*.

Wprowadzono na nowo kwas węglowy pod dzwony. Po upływie następnych 25 minut, a więc po 50 minutach od początku doświadczenia, znaleziono:

a — wycinki słabo szarawe; małe ilości skrobi rozrzucone mniej więcej we wszystkich komórkach; w ogonkach koło pęczków nie ma jeszcze skrobi. *b* i *c* — komórki tak listniów, jak i liści, przepełnione skrobią i prawie czarne; w ogonkach około pęczków naczyniowych skrobia się znajduje. *d* — skrobia obficie, jednak mniej, niż w *b* i *c*; w warstwie komórek bezpośrednio pod przyskórkiem leżącej bardzo jej mało. *e* — na granicy między tkanką gębczastą i palisadową skrobia obficie, ale w warstwach bezpośrednio pod przyskórkiem leżących nie ma jej ani śladu.

Doświadczenie XIX. (1 Lipca 1874 r. g. 1 m. 30).

Raphanus sativus.

a — na wolnem powietrzu; *b* — w powietrzu zawierającem 2%, *c* — 6%, *d* — 16% kw. węgl. Niebo zachmurzone, ciemno, deszcz przez cały czas. Ciepłota 20° C.

Po upływie 2 godzin:

a — skrobia we wszystkich komórkach, ale w bardzo małej ilości. *b* i *c* — jeszcze mniej skrobi niż w *a*. *d* — wątpliwe ślady skrobi w niektórych komórkach, ku brzegom liści położonych.

Doświadczenie XX. (3 Lipca godz. 3 m. 30 p.).

Raphanus sativus.

a — jak wyżej; *b* — w powietrzu 1%, *c* — 4% kw. węgl. zawierającem. Roślinki z rozwiniętemi liśćmi i liście, a nie listnie wzięto do doświadczenia. Słońce świeci bez przerwy. Ciepłota 29° C.

Po upływie 45 minut:

a — skrobia rozrzucona we wszystkich komórkach, ale w bardzo małej ilości, wycinki mają bardzo słaby odcień fioletowy. *b* — skrobia we wszystkich komórkach obficie; wycinki mocno fioletowe. *c* — wszystkie komórki tak skrobią przepełnione, że wycinki prawie czarne.

Doświadczenie XXI. (5 Lipca g. 12).

Salix alba.

Do doświadczenia tego użyto liści, które w doświadczeniu IV części I tej pracy zostały skrobi pozbawione. Liście zostały umieszczone pojedynczo w rurkach szklannych, już powyżej (doświadczenie XVI *c*) wzmiankowanych, w mięszaninie kw. węglowego i powietrza. Aby liść zabezpieczyć od więdnięcia, ogonek każdego z nich tkwił w cienkiej rurce szklannej, w jednym końcu zatopionej i napełnionej wodą. Rurka ta wsparta była na drucie, do którego umocowaną była za pomocą wązkiej rurki kauczukowej. Zestawienie tego przyrządu okazuje fig. 3. Wprowadzenie kw. węgl. odbywa się w ten sposób, że wodę podnosi się w rurce przez wyciąganie z niej powietrza za pomocą rurki kauczukowej, a następnie wpuszcza się kw. węglowy, który wodę wypycha. Ciepłota 29—30° C.

a — liść w rurce zawierającej 2%, *b* — 8%, *c* — 25% kw. węgl. na 100 części powietrza.

Po półgodzinnem wystawieniu liści na działanie bezpośrednich promieni słonecznych znaleziono:

a — skrobia obficie we wszystkich komórkach. *b* — skrobia jeszcze obficiej niż w *a*. c — skrobia prawie tak obficie jak w *b*.

Doświadczenie XXII. (10 Lipca).

Polygonum fagopyrum.

Liście tatarki wolne od skrobi umieszczono, jak w doświadczeniu poprzedniem, w rurkach zamkniętych wodą: *a* — w powietrzu zawierającem 8%, *b* — 35% kw. węglowego, i wystawionych na działanie promieni słonecznych.

Po upływie 1 godziny:

a — skrobia obficie we wszystkich komórkach: zdaje się, że w każdej gałeczce zieleni. *b* — tylko gdzie niegdzie w pobliżu pęczków naczyniowych zaledwo ślady skrobi dostrzedz się dają.

Wyniki doświadczeń.

Doświadczenia powyżej zestawione stwierdzają w zupełności wypadki poprzedniej mojej pracy nad wpływem kw. węglowego w powietrzu na jego rozkład przez liście roślin. Pokazują one że większa lub mniejsza ilość kw. węglowego w powietrzu działa zupełnie tak samo na powstawanie skrobi w gałeczkach zieleni, jak i na rozkład kw. węglowego przez liście roślin.

Z doświadczenia I, II, IV, VII i innych wnosić na pewno możemy, że w atmosferze zawierającej 6—8% kw. węglowego skrobia przy silnem oświetleniu i ciepłocie dwudziestu kilku do 30° C., przynajmniej 4 razy prędzej się wytwarza, aniżeli w zwyczajnem powietrzu; kiedy bowiem w tej atmosferze, sztucznie wzbogaconej w kwas węglowy, już po 15 minutach skrobia we wszystkich gałeczkach zieleni się znajdowała, to w zwyczajnem powietrzu miało to miejsce dopiero po całogodzinnem wystawieniu rośliny na światło.

Doświadczenia znowu VIII, IX, X, XI, XII i inne pokazują: że zbyt wielkie ilości kw. węglowego w otaczającej roślinę atmosferze oddziaływają szkodliwie na wytwarzanie się w liściach

skrobi. W powietrzu, zawierającem 30% kw. węglowego, powstawanie skrobi jest nawet daleko powolniejszem, aniżeli w zwyczajnem powietrzu atmosferycznem. Bardzo zajmującą jeszcze rzeczą jest i to, że ten nadmiar kw. węglowego w powietrzu nie w jednakowym stopniu wstrzymuje powstawanie skrobi w rozmaitych komórkach i najbardziej szkodzi komórkom bezpośrednio pod przyskórkiem leżącym. To jeszcze nie byłoby tak trudnem do pojęcia, bo przypuścić można, że te komórki najbardziej na działanie tego kwasu są wystawione, a mniej go już przenika do warstw głębiej położonych. Trudniejszem do zrozumienia jest zjawisko, że komórki tkanki gębczastej w ogóle daleko mniej cierpią, aniżeli komórki tkanki palisadowej, najmniej zaś powstawanie skrobi wstrzymywanem jest przez zbytek kw. węglowego w komórkach położonych w pobliżu pęczków naczyniowych. Te różnice są tak wielkie, że, kiedy w większej części komórek tkanki palisadowej nawet śladu skrobi się nie wytworzyło, to w komórkach otaczających pęczki naczyniowe skrobia tak obficie się znajdowała, że przy działaniu jodu można było już gołem okiem rozróżnić na słabo żółtawem tle kilka ciemno fioletowych punktów, odpowiadających właśnie pęczkom naczyniowym. W ogóle rozłożenie skrobi w komórkach liścia wystawionego na światło, w atmosferze bardzo w kw. węglowy bogatej, jest bardzo podobne do tego, jakie zajmuje skrobia w liściu przy znikaniu zeń w ciemności. I tu najprzód skrobia znika z tkanki palisadowej, począwszy od warstwy bezpośrednio pod przyskórkiem leżącej coraz niżej; później z tkanki gębczastej; a naostatku dopiero z komórek położonych w pobliżu pęczków naczyniowych, a i tu pierwej z komórek po nad pęczkiem położonych, a później dopiero z komórek leżących pod wiązką.

Zbyt wielkie ilości kw. węglowego w powietrzu nie dla wszystkich roślin są jednakowo szkodliwe. Kiedy liście rzodkwi (doświadczenie XI, XII) i tatarki (doświadczenie XXII), nawet przy pełnem świetle słonecznem w atmosferze, zawierającej 25—30% kw. węglowego, nadzwyczaj słabo skrobię wytwarzają, to liście wierzby (doświadczenie XXI) w atmosferze zawierającej 35% tegoż kw. prawie z taką samą siłą wytwarzały skrobię, jak w powietrzu, do którego tylko 8% tego gazu było przymięszanych. W pracy mojej nad rozkładem kw. węglowego znajdowałem toż samo. Przy silnem oświetleniu 36% kw. węglowego w powietrzu

nie szkodziło działalności liści oleandra, kiedy tymczasem znacznie osłabiało czynność liści przypałki. Wytwarzanie się skrobi (jeżeli działanie światła jest silne) najszybciej zdaje się odbywać w powietrzu, zawierającem około 4—8% kw. węglowego. Tak przynajmniej doświadczenie XX wykazuje, gdy przy 4% powstawanie skrobi daleko szybciej ma miejsce, niż przy 1%; a natomiast doświadczenia XIV i XV wskazują, że 15%; a nawet 13% kw. węglowego w powietrzu oddziaływa już szkodliwie na powstawanie skrobi w listniach rzodkwi. Natężenie światła, a prawdopodobnie i ciepłota, bardzo znaczny wpływ wywierają na zależność powstawania skrobi od ilości kw. węglowego w powietrzu. Przy silniejszem oświetleniu wzbogacenie powietrza w kw. węglowy daleko bardziej przyspiesza powstawanie skrobi, aniżeli przy słabszem. Porównajmy np. wypadki doświadczenia III i IV. W pierwszem z nich tylko światło rozproszone do roślin dochodziło; w drugiem były one wystawione na bezpośrednie działanie promieni słońca. To też w doświadczeniu III rośliny, znajdujące się w powietrzu 8% kwasu węglowego zawierającem, tylko dwa razy prędzej, a w doświadczeniu IV cztery razy prędzej wytwarzały skrobię, aniżeli te, które umieszczone były w zwyczajnej atmosferze. Co więcej, jeżeli światło jest bardzo słabe, jak bywa w dniach słotnych, wtedy przymieszka kilku odsetek kw. węglowego do powietrza wcale nawet nie przyspiesza powstawania skrobi (dośw. IX, XVII, XIX). Odwrotnie znowu rzecz się ma ze szkodliwym wpływem zbyt wielkich ilości kw. węglowego w powietrzu na powstawanie skrobi. Wpływ ten jest tem szkodliwszy, im natężenie światła jest słabszem, jak to pokazuje bardzo wyraźnie doświadczenie XI, umyślnie w tym celu urządzone; albo porównanie doświadczenia X z XVII. Widzieliśmy już, że w pracy mojej nad rozkładem kw. węglowego przekonałem się, iż przy silniejszem natężeniu światła mała przymieszka kw. węglowego więcej przyspiesza, a większa mniej opóźnia ten rozkład, aniżeli przy świetle słabszem; można więc było przewidywać, że i z powstawaniem skrobi rzecz się będzie miała podobnie, co też, jak widzimy, i doświadczenie najzupełniej stwierdziło.

Wszystkie zatem wypadki, do których doszedłem przy badaniu wpływu ilości kw. węglowego w powietrzu na jego rozkład przez liście roślin, znalazły się teraz w doświadczeniach nad wpływem tegoż samego czynnika na szybkość powstawania skrobi.

To potwierdzenie ma tem większą doniosłość, że usuwa zarzut, jakiby można było zrobić mojej pracy nad rozkładem kw. węglowego, że z doświadczeń robionych na oderwanych od rośliny liściach wnioskujemy o czynnościach tychże liści będących w związku z rośliną. Tutaj robione były doświadczenia na całych roślinach, a jednak doprowadziły one do tych samych, co i tamte, wypadków. Chciałem się jeszcze przekonać, czy wyniki byłyby takie same, gdybyśmy powstawanie skrobi badali także na oderwanych liściach[1]; i w tym względzie doświadczenia XVI, XXI i XXII nie pozostawiają żadnej wątpliwości. W liściach oderwanych skrobia zupełnie w tenże sam sposób powstaje, jak i w liściach zostających w związku z rośliną, a nawet i szybkość powstawania jej jest i tu zależną od ilości kw. węglowego znajdującego się w powietrzu, w którem liść jest umieszczony.

Wypadki doświadczeń nad powstawaniem skrobi dadzą się streścić w następujących punktach:

1. Przymieszka kilku odsetek kw. węglowego do powietrza roślinę otaczającego przyspiesza znacznie powstawanie skrobi w gałeczkach zieleni.

2. Im natężenie światła jest silniejsze, tem korzystny wpływ wzbogacenia powietrza w kw. węglowy na wytwarzanie skrobi przez liście jest widoczniejszy.

3. W najkorzystniejszych warunkach oświetlenia, przy 4—8% kw. węglowego w powietrzu, potrzeba 15 minut, a w zwyczajnej atmosferze całej godziny czasu, żeby każda gałeczka zieleni w liściu (rzodkwi) wytworzyła tyle skrobi, aby ta dokładnie wykrytą być mogła.

4. Przymieszka kilkunastu, a tembardziej kilkudziesięciu % kw. węglowego w powietrzu, wpływa szkodliwie na powstawanie skrobi w liściach.

5. Ten wpływ szkodliwy jest tem większy, im światło słabsze.

6. Komórki tkanki palisadowej bardziej cierpią w swej czynności od zbyt wielkich ilości kw. węglowego, niż komórki tkanki gębczastej; najmniej zaś te komórki, które są w pobliżu pęczków naczyniowych położone.

[1] Wytwarzania się skrobi w oderwanych liściach dotąd nikt nie obserwował.

7. *Liście oderwane od rośliny wytwarzają skrobię tak samo, jak i liście w związku z rośliną będące.*

Uwagi polemiczne.

Wypadki obu części niniejszej pracy są najsilniejszem, jakie tylko może być, poparciem zdania, że w istocie skrobia w gałeczkach zieleni nie jest niczem innem, jak tylko wynikiem sprawy przyswajania, istotą wyrobioną przez gałeczki zieleni z kw. węglowego i wody. Jeżeli bowiem, pomimo zupełnie jednakowych warunków oświetlenia i ciepłoty, tworzenie się skrobi w powietrzu, 4—8% kw. węglowego zawierającem, odbywa się przynajmniej 4 razy szybciej, aniżeli w zwyczajnej atmosferze; jeżeli nadto, w roślinie, do której kw. węglowy nie ma wcale przystępu, pomimo najprzyjaźniejszych warunków oświetlenia, skrobia zupełnie w gałeczkach zieleni powstawać nie może — to w tych objawach mamy najoczywistszy dowód, że kw. węglowy obok wody jest właśnie owym surowym materjałem, z którego gałeczki zieleni skrobię wytwarzają. Dostarczenie takiego nowego dowodu na poparcie dawno już przyjętego zapatrywania się na rolę skrobi w gałeczkach zieleni jest tem bardziej na czasie, że nie dawno pojawiły się głosy, powątpiewające o prawdziwości tego zapatrywania się. Uczony niemiecki Böhm w rozprawie[1] o oddychaniu roślin lądowych, przed 2 laty wydanej, sądzi, że ilość kw. węglowego, jaka w danym czasie może być rozłożoną przez liście roślin, jest zbyt małą w stosunku do szybkości, z jaką skrobia się wytwarza, aby bez dalszego sprawdzenia przyjąć było można, że skrobia ta powstaje wskutek jego rozkładu. Böhm mniema raczej: »że w komórce nie zawierającej skrobi, bądź to w jej wnętrzu, bądź też w ściankach, znajduje się pewna istota organiczna, która w czasie przemiany materji w ciemności nie może być dalej spożytkowaną, z powodu, że nie jest w zupełności przyswojoną (*ihrer unvollständigen Assimilation wegen*). Aby to przypuszczalne ciało postać skrobi przyjąć mogło, lub aby mogło posłużyć za materjał budowlany, potrzebuje jeszcze uledz dalszym przemianom, które tylko pod wpływem światła dokonać się mogą«. W ten sposób

[1] Böhm. *Ueber die Respiration der Landpflanzen.* Odbitka z *Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wissenschaft. in Wien.* 1873.

utartą i na doświadczeniach opartą teorję Sachsa stara się Böhm zastąpić swojem odrębnem na samych przypuszczeniach opartem zapatrywaniem.

Gdy dla zapewnienia sobie prawa pierwszeństwa ogłosiłem był w Lipcu 1873 r. w czasopiśmie »Flora« krótką notatkę o moich doświadczeniach, Böhm podjął na nowo sprawę znaczenia skrobi w gałeczkach zieleni, a wypadki odnośnej swej pracy ogłosił w zeszycie marcowym 1874 sprawozdań Akademji Umiejętności w Wiedniu p. t. »*Ueber die Stärkebildung in den Keimblättern der Kresse, des Rettigs und des Leins*«. Przy podjęciu tej pracy miał, jak powiada, nadzieję[1] przekonać się, że jego wątpliwości co do prawdziwości panującego zapatrywania się są mylne, i z żalem, jak twierdzi, przeświadczył się, że tak nie jest.

W początkowych swoich badaniach postępował Böhm, jak powiada, tak samo jak Kraus i ja, to jest: przed każdem doświadczeniem badał listnie, czy nie zawierają skrobi. Wypadki, jakie tą drogą otrzymywał, były, jak twierdzi, już zgodne z naszymi, już też im przeciwne. Za przyczynę tych różnorodnych wypadków uważa Böhm trudność wyhodowania roślinek, których gałeczki zieleni byłyby dokładnie wykształcone, a jednak od skrobi wolne. Pozbawienie zieleni istoty skrobiowej przez umieszczenie roślin w ciemności czasem udawało mu się bardzo łatwo, a czasem następowało dopiero po kilku dniach, i wtedy, po przeniesieniu rośliny na światło, gałeczki zieleni całymi dniami pozostawały zupełnie od skrobi wolne. Te trudności zdawały się Böhmowi tak niepodobnemi do przezwyciężenia, że wolał zupełnie dotychczas używaną metodę w swoich badaniach porzucić i uznać ją za nieprowadzącą do celu. »Te wypadki, mówi on[2], przekonały mnie, że za pomocą metody dotychczas używanej do żadnych stanowczych wypadków dojść nie można«. Co do mnie, sądzę, mimo tego twierdzenia Böhma, że wypadki, które za pomocą tej metody otrzymałem i powyżej podałem, są najzupełniej stanowcze. Jeżeli zaś Böhm metodę tę za złą uważa, to pochodzić to musi chyba ztąd, że nie zachowywał potrzebnych przy niej ostrożności.

O ostrożnościach tych mówiliśmy już na właściwem miejscu

[1] Str. 8 w odbitce.
[2] Str. 9.

niniejszej rozprawy. Wspomnieliśmy tam, że roślina nigdy dłużej jak 24 godzin w ciemności trzymaną być nie powinna. Jeżeli zaś Böhm twierdzi, że czas ten często nie wystarcza do pozbawienia liści skrobi, i że do tego nie raz kilku dni potrzeba, — to znowu pochodzić to musi ztąd, że albo odpowiednie doświadczenia robił przy zbyt niskiej ciepłocie, albo też używał do nich zbyt młodych jeszcze i w listniach tłuszcz zawierających roślinek; tak, że ten tłuszcz, stopniowo w ciągu doświadczenia w skrobię się przeobrażając, utrudniał tem samem ostateczne jej zniknięcie.

Ale nie dosyć na tem, że Böhm bez potrzeby porzucił dotychczas używaną metodę; sam punkt wyjścia jego pracy, samo postawienie sobie przez niego pytania jest zupełnie fałszywe. Pytanie to ułożył on sam w sposób następujący:

»Ostatnia (skrobia w listniach) jest albo, jak twierdzą Kraus i Godlewski, bezpośrednim płodem przyswojonego przez zielone listnie kw. węglowego, albo też, jak ja przypuszczam, jest powstałym z przeobrażenia się zapasowych istot odżywczych, już poprzednio znajdujących się w listniach«.

Aby na to pytanie odpowiedzieć, postępował Böhm w sposób następujący: Po kilkaset nasion jednej z 3 używanych przez siebie roślin zasiewał na wilgotnej flaneli, rozciągniętej na porcelanowych miseczkach. Jedne z tych miseczek umieszczał w zwyczajnej, drugie w pozbawionej kw. węglowego atmosferze, jedne w świetle, drugie w ciemności; a po upływie kilku dni przeznaczonych na doświadczenie, zbierał roślinki, odbarwiał je wyskokiem, a następnie działał na nie w całości wodnikiem potasowym, wodą, kw. octowym, znów potem wodą, aż wreszcie zamykał je w rurkach napełnionych roztworem jodowym. Stosownie do zabarwienia, jakie roślinki z jodem przybierały, rozdzielał je na ciemno, jasno fioletowe i bezbarwne, — jednem słowem badał roślinki na zawartą w nich skrobię. Jeżeli teraz znajdował pomiędzy roślinkami, które rosły w atmosferze pozbawionej kw. węglowego, mniej więcej taką samą ilość roślinek fioletowo zabarwionych, jak i między temi, które rosły w zwyczajnej atmosferze; jeżeli nadto znajdował skrobię w roślinkach wyhodowanych w ciemności — to widział w tem najoczywistszy dowód, że skrobia w listniach powstaje bez współudziału kw. węglowego.

Ale doświadczenia te dowodziły tylko, że tłuszcz nasion przy

ich kiełkowaniu przeobraża się w skrobię. Jest to objaw, o którym dziś chyba nikt nie wątpi i który znany jest od lat 12[1].

Na ten objaw zwróciliśmy uwagę zaraz w doświadczeniu I części pierwszej niniejszej pracy. Widzieliśmy tam, że i listnie roślinek, do których kw. węglowy nie miał przystępu, zawierały w pierwszych okresach swego rozwoju skrobię. Ale też tej skrobi ani ja, ani nikt zapewne za wynik z rozkładu kwasu węglowego powstający nie uważa, skoro jeszcze w r. 1863 wykazał Sachs, że ona powstaje z przeobrażenia się tłuszczu. Dla tego to trudno mi pojąć, na jakiej zasadzie Böhm twierdzi, że pochodzenie skrobi w listniach dotąd źle było tłumaczone, i że on dopiero właściwie je objaśnił.

Ja tak samo jak Kraus, Sachs i, zdaje się, wszyscy nowsi fizjologowie, sądzę tylko, że skrobia w gałeczkach zieleni listniów już rozwiniętych, w których istoty zapasowe nasienia są już wyczerpane, powstaje wskutek rozkładu kw. węglowego, czyli że jest wypadkiem sprawy przyswajania. Co zaś do skrobi, powstającej w listniach przy kiełkowaniu, to, tak samo jak Böhm, uważam ją za istotę powstającą z przeobrażenia się tłuszczu.

Całe nieporozumienie, z którego rozprawa Böhma powstała, pochodzi ztąd, że badacz ten, w niepojęty dla mnie sposób, pomieszał występowanie skrobi w listniach nasion kiełkujących z powstawaniem skrobi w gałeczkach zieleni listniów już rozwiniętych. Są to dwie czynności, nie mające ze sobą nic wspólnego. Pierwsza z nich jest prostą przemianą materji, druga nowem tworzeniem się istoty organicznej.

Tymczasem Böhm, wykazawszy mnogiemi, ale zupełnie zbytecznemi doświadczeniami, rzeczywistość pierwszej z tych czynności, zdaje się sądzić, że udowodnił fałszywość powszechnie panującego zapatrywania na czynność drugą.

Metoda używana przez Böhma mogła tylko służyć do zbadania okoliczności, przy których przeobrażenie tłuszczu w skrobię w czasie kiełkowania nasion tłuszczowych najłatwiej się dokonywa; ale nigdy nawet użytąby nie mogła być do badania powstawania skrobi w gałeczkach zieleni rozwiniętych listniów. Ile że do tego, aby skrobia w gałeczkach zieleni mogła powstawać,

[1] Sachs. *Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachstum der Zellhäute liefern. Jahrb. für Wissenschaftliche Bot.* 1863.

nie tylko potrzeba wpływu światła i przystępu kw. węglowego, ale i innych jeszcze warunków, jak obecności pewnych soli mineralnych w gruncie, na którym rośnie roślina [1]. Dla tego, chcąc robić tego rodzaju doświadczenia, należy przy nich hodować rośliny w ziemi, a nie na wilgotnej flaneli, jak to robił Böhm. Z tych wszystkich względów, całe wystąpienie Böhma uważać musimy za zupełnie chybione, a zarzuty jego przeciwko zapatrywaniu się nowszej fizjologji na rolę skrobi w gałeczkach zieleni uznać za bezzasadne.

Utrzymujemy zatem w całej mocy zdanie, że skrobia w gałeczkach zieleni jest istotą, wytworzoną w czasie sprawy przyswajania z kw. węglowego i wody. Ze względu na rozprawę, jaka przy przedstawieniu niniejszej mojej pracy na posiedzeniu Wydziału przyrodniczego Akademji Umiejętności miała miejsce, winien jestem jeszcze dać wyjaśnienie, jak zdanie powyższe rozumieć należy. Otóż, mówiąc, że skrobia w gałeczkach zieleni z rozkładu kw. węglowego i wody powstaje, nie rozumię przez to, aby to powstawanie miało miejsce zupełnie bezpośrednio, bez żadnych innych przejściowych działań chemicznych, ale tylko to, że jakiekolwiek byłyby te działania, ostatecznym a zarazem pierwszym widocznym ich wypadkiem jest wytworzenie się skrobi. Tworzenie się skrobi w roślinach wyrażają zwykle wzorem:

$$6CO_2 + 5H_2O = C_6H_{10}O_5 + 6O_2.$$

Wzór ten wskazuje ostateczny wypadek sprawy przyswajania, ale bynajmniej nie ma znaczyć, że przebieg jego tak bezpośrednio się odbywa, jak ten wzór wyraża. Jakie przemiany chemiczne towarzyszą sprawie przyswajania u roślin, tego zupełnie nie wiemy; a czcze przypuszczenia, jakieby w tym względzie robić można, w niczem nie przyczynią się do wyjaśnienia sprawy. Teorje takie jak Liebiga [2] lub Rochledera, pomimo swego wysokiego zakroju, pomimo stanowczej formy, z jaką je ich autorowie wygłaszali, pomimo wreszcie powagi tych autorów, poszły w zupełne zapomnienie. Aby poznać, jak czczemi są przypuszczenia nawet najgenjalniejszych uczonych, jeśli nie opierają się na gruncie do-

[1] Nobbe, Schroeder u. Erdmann. *Ueber die Organische Leistung des Kalium in der Pflanze.* Chemnitz. 1871.

[2] Liebig. *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur u. Pflanzenphysiologie.* Braunschweig 1865. T. I. str. 48—50.

świadczalnym, rozbieramy je pokrótce. Liebig twierdzi, że kw. węglowy, nim przejdzie w jakiś wodan węgla, zamienia się pierwej w organiczne kwasy, coraz to uboższe w węgiel. Przeistacza się więc kolejno w kwas szczawiowy, winowy, jabłkowy, cytrynowy i t. d. Te zatem, jak i inne występujące w roślinach kwasy, uważał Liebig jako pośrednie stopnie pomiędzy kw. węglowym a wodanami węgla. Idąc dalej, sądził Liebig, że wyjaśnił znaczenie zasad mineralnych niezbędnych roślinom, uważając je jako potrzebne do zobojętnienia tworzących się w ten sposób kwasów. Nawet zasadom organicznym, t. zn. alkaloidom, tę samą przypisywał on rolę; tak, że nieledwie wszystkie związki organiczne, w roślinach występujące, znalazły w przypuszczeniu Liebiga swoje usprawiedliwienie i uważane były jako niezbędne czynniki sprawy przyswajania. Ale, niestety, całe to przypuszczenie nie miało żadnych podstaw; było tylko grą wyobraźni znakomitego chemika. Oprócz pewnika, że w tym samym organie roślinnym i kilka z wyżej wspomnianych kwasów często współcześnie się znajduje, nic więcej na poparcie swego twierdzenia Liebig nam nie podaje. Już więc z powodu braku pozytywnych dowodów przypuszczenia Liebiga za naukową teorję brać nie można. Znalazły się też wkrótce i fakta przeciwko niej mówiące. Wykazano, że, w wielu przynajmniej wypadkach, kwasy — szczególniej nad ranem — obficie się znajdują, a w ciągu dnia znikają. Gdyby wszakże miały w istocie to znaczenie, jakie im Liebig przypisuje, to właśnie w ciągu dnia najwięcej gromadzić by się ich powinno.

Nie wiele szczęśliwsze są przypuszczenia Rochledera[1]. Broni on Liebiga przeciwko słusznym zarzutom Mohla, a więc uznaje ich prawdziwość, mimo to jednak ze swej strony stawia nowe przypuszczenia, zupełnie różne od tych, jakie postawił Liebig. Rochleder sądzi, że kw. węglowy traci tylko połowę ze swego tlenu, zamieniając się na tlenek węgla, który, łącząc się z wodą, wydaje kw. mrówkowy. Dowód tego widzi w syntezie Berthelota, który otrzymał kw. mrówkowy przez działanie tlenku węgla na wodę. Rodnik kw. węglowego czyli formyl, utworzony w ten sposób, ma się podstawić za wód w materjach roślinnych już istniejących i tworzyć związki więcej złożone. Z drugiej strony — przez

[1] *Chemie u. Physiologie der Pflanzen.* Heidelberg 1858. str. 108—112.

zastąpienie tlenu formylu przez wód, będący w stanie rodnia wskutek rozkładu wody, — ma się tworzyć metyl; a gdy w ten sposób formyl i metyl są utworzone, to już przez podstawienie się rodnika jednego w miejscu wodu w drugim rodniku, cały szereg homologiczny połączeń grupy tłuszczowej powstać może. Przytem, w miarę potrzeby, połączenia już w roślinach się znajdujące mają tracić tlen albo przybierać wód i węgiel, z rozkładu kw. węglowego i wody pochodzące, a w ten sposób tworzyć coraz więcej złożone, w tlen coraz uboższe związki. Związki bardziej złożone mają się znów pod wpływem pewnych fermentów rozpadać na prostsze. Tworzenie się wodanu węgla wyprowadza Rochleder od glykozydów, które, rozszczepiając się, dają glykozę i resztę. Glykoza może zmieniać się na inne wodany węgla; reszta zaś albo już dalej zużytą nie bywa, albo też może znów przybierać pewne rodnie, tworzące się z rozkładu kw. węglowego i wody, i na nowo później się rozszczepiać. Glykozydom tedy przypisuje Rochleder pierwszorzędne znaczenie w życiu roślin; uważa je bowiem za jedyne zródło, z którego wodany węgla powstają. Atoli cały ten gmach przypuszczeń, wzniesiony przez Rochledera, jest tylko jednem z tysiąca przypuszczeń, jakie chemik (obdarzony pewną żywością wyobraźni) o przebiegu sprawy przyswajania wytworzyć sobie może, a za których prawdziwością tak mało przemawia, że nawet zbijanie ich jest prawie rzeczą zbyteczną.

Gdyby pierwsze przemiany chemiczne kw. węglowego i wody odbywały się w taki i tak różnorodny sposób, jak sobie Rochleder wyobraża, to trudnoby nawet pojąć, dlaczego zawsze taka sama, albo mało co różna, objętość tlenu zostaje przez liście wydzieloną, jaką jest pochłonięta objętość kw. węglowego.

Glykozydy nie mogą też mieć znaczenia takiego, jakie im Rochleder chce nadawać już dlatego, że głównem ich siedliskiem nie są liście, w których właśnie wodany węgla się wytwarzają, ale najczęściej kora lub nawet korzenie roślin. Trzymając się ściśle spostrzeżonych zjawisk, to tylko na pewno powiedzieć możemy, że: ostatecznym wynikiem rozkładu kw. węglowego i wody — jest skrobia, żadnych zaś pośrednich istot pomiędzy nią a materjałami surowemi, z których powstaje, dotąd nie znamy. Bacząc zaś na szybkość, z jaką skrobia powstaje, na stały i niezmienny stosunek

między ilością pochłoniętego kw. węglowego i wydzielonego tlenu, za rzecz prawdopodobną uznać musimy: że nawet skrobia, lub przynajmniej ciało jednego z nią składu, jest pierwszym produktem z kw. węglowego i wody w roślinie powstającym. W jaki sposób czynność tego powstawania skrobi się odbywa, jaki udział biorą w nim istoty organiczne już w roślinie zawarte i sole mineralne do tego niezbędne, jaką przytem rolę odgrywa pierwoszcze, a jaką sam barwik zieleni? – są to wszystko pytania, na które w dzisiejszym stanie nauki żadnej odpowiedzi dać nie jesteśmy w stanie; i póki doświadczalnego gruntu nie będziemy mieć pod nogami, najlepiej poprzestać na wyznaniu naszej w tym względzie niewiadomości.

Fig. 1.

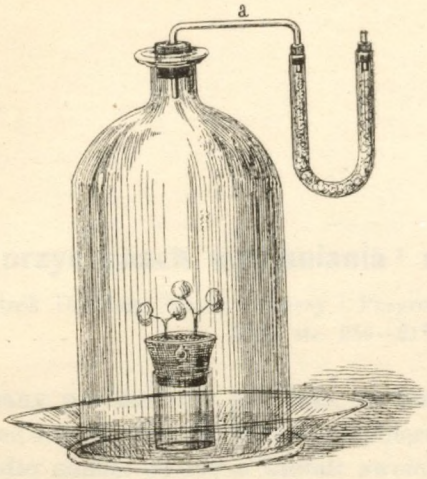


Fig. 3.

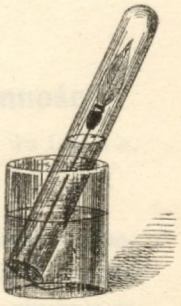
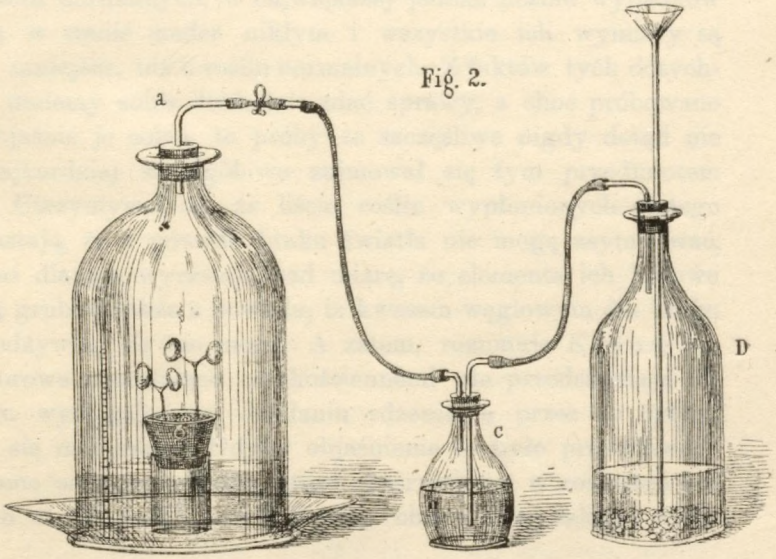
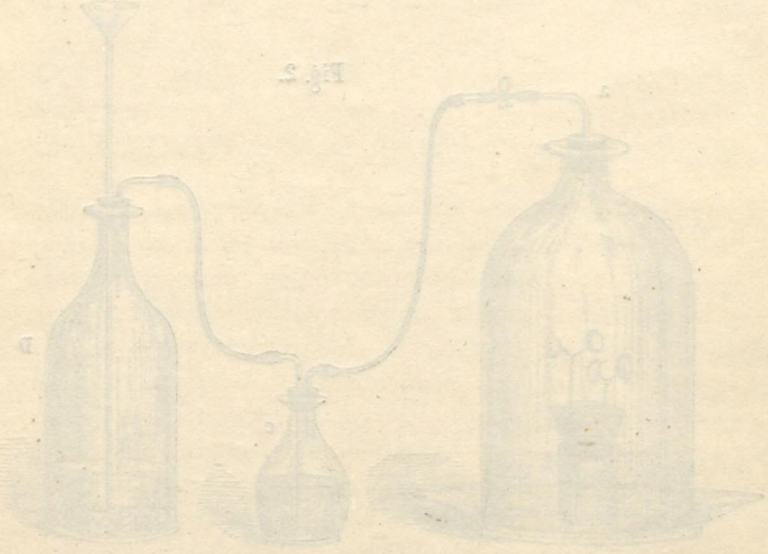


Fig. 2.







O przyczynach wypłaniania[1] roślin w ciemności.

(Pamiętnik Drugiego Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich we Lwowie, 1875, str. 215—217).

Znany powszechnie jest fakt, że jeżeli roślina hodowaną będzie bez światła, to nietylko nie przybierze zwykłej zielonej barwy, ale nadto zmieni znacznie kształt swoich organów. Te zmiany są różne u różnych roślin. Łodygi zazwyczaj niezwykłą przybierają długość, liście czasami (np. u traw) także znacznie są dłuższe, aniżeli u roślin normalnych, w największej jednak liczbie wypadków pozostają w stanie nader nikłym i wszystkie ich wymiary są znacznie mniejsze, niż u roślin normalnych. Z faktów tych dotychczas nie umiemy sobie dokładnie zdać sprawy, a choć próbowano nieraz objaśnić je sobie, to próby te szczęśliwe nigdy dotąd nie były. Najbardziej szczegółowo zajmował się tym przedmiotem Kraus. Utrzymywał on, że liście roślin wypłonionych dlatego nie wyrastają, że z powodu braku światła nie mogą asymilować, łodygi zaś dlatego wyrastają nad miarę, że elementa ich korowe nie mogą grubieć także z powodu, iż kwasem węglowym dla braku światła odżywiać się nie mogą. A zatem, rozumuje Kraus, komórki korowe pozostające cienkościennemi nie przedstawiają dosyć oporu wyciągającemu działaniu rdzenia, a przez to łodyga wydłuża się nad miarę. Gdyby objaśnienie to było prawdziwem, to też same zmiany kształtu, które obserwujemy w roślinach hodowanych w ciemności, powinnibyśmy obserwować także i w ro-

[1] Wyraz wypłanianie wzięty jest z rozprawki p. Rzętkowskiego p. t. »Przyczynek do fizjologji blaszek liściowych roślin dwuliściennych wypłonionych«, Warszawa, 1875. Tę, jak i inne prace, kwestją wypłaniania się zajmujące, rozbiorę w szczegółowej pracy, którą po ukończeniu wszystkich doświadczeń ogłosić zamierzam.

ślinach hodowanych na świetle w atmosferze, pozbawionej kwasu węglowego, bo i tu gałeczki zieleni, jakkolwiek obecne, z powodu braku kwasu węglowego wcale asymilować nie mogą.

Należało więc ten wniosek doświadczeniem sprawdzić. Atoli, wszystkie doświadczenia, jakie w tym względzie robiłem, okazały zgodnie, że rośliny, hodowane w atmosferze pozbawionej kwasu węglowego, w niczem nie przypominają roślin wypłonionych, ale owszem, kształtem swoich organów zgadzają się zupełnie z normalnemi roślinami. Te doświadczenia, robione na rzodkiewce, fasoli i kukurydzy, dowodzą, że przyczyn wypłaniania roślin w ciemności nie w procesie przyswajania, ale gdzieindziej szukać należy.

Aby dojść do jakich w tym względzie wskazówek, przedsięwziąłem szereg doświadczeń, które jednak zaledwo są dopiero rozpoczęte. Zastanawiałem się dotąd nad rozdziałem wody w różnych organach, z jednej strony u roślin rosnących w ciemności, z drugiej — u roślin hodowanych w świetle bez przystępu kwasu węglowego. Jakkolwiek i w tym względzie bardzo nieliczne dotąd robiłem doświadczenia, rzucają one jednak już pewne światło na przyczyny nienormalnego rozwoju roślin w ciemności. W tej tymczasowej notatce opisywać doświadczeń wykonanych nie będę, wspomnę tylko o otrzymanych z nich rezultatach. Otóż okazało się, że stosunek materji suchej do wody jest w roślinach hodowanych w ciemności zupełnie inny, niż w normalnych roślinach. I tak: łodygi roślin wypłonionych zawierają nierównie większy procent wody, aniżeli łodygi roślin normalnych. Liście roślin wypłonionych zachowują się u różnych roślin rozmaicie: tam, gdzie one są mniejsze aniżeli u roślin normalnych, zawierają stosunkowo daleko większy procent materyj suchych, niż u roślin rosnących na świetle. Natomiast u tych roślin (kukurydza), u których i liście w ciemności nad miarę się wydłużają i one także zawierają większy procent wody, a mniejszy materji suchej, niż liście roślin normalnych. Można tedy postawić ogólne prawo, że te organa, które w ciemności nad miarę wyrastają, zawierają w stosunku do tychże organów roślin normalnych zbyt wiele wody w swych tkankach; te zaś, które zwykłej miary nie dochodzą, zawierają w swych tkankach zbyt wielki procent materyj suchych. Tak więc, najbliższej przyczyny wypłaniania roślin w ciemności szukać należy w nienormalnem rozdzieleniu wody w tkankach ro-

ślinnych z powodu braku światła. W jaki sposób działa z jednej strony światło na ten rozdział wody w różnych organach roślinnych, z drugiej strony, dlaczego ten rozdział wody powoduje tak wielkie zmiany w sposobie wzrostu rośliny, na to dotąd odpowiedzieć nie jestem w stanie, i być może, że dalsze badania, które prowadzić zamierzam, dadzą w tym względzie jakie wskazówki.

Czy produktem przyswajania u roślin bananowatych jest tłuszcz czy skrobia?

(Pamiętnik Drugiego Zjazdu Lekarzy i Przyrodników Polskich we Lwowie, 1875, str. 224—226).

Od prac Sachsa z r. 1862 i 1863 utarło się, jako fizjologiczny pewnik, zdanie, że zawartości skrobiowe, występujące w gałeczkach zieleni niemal wszystkich roślin, są pierwszym widocznym produktem, wytworzonym przez rośliny z mineralnych ich pokarmów, t. j. z kwasu węglowego i wody. Proces tego powstawania skrobi może być wyrażony wzorem:

$$6CO_2 + 5H_2O = C_6H_{10}O_5 + 6O_2.$$

Sachs twierdzi, że z pomiędzy wszystkich roślin, jakie poszukiwał, tylko u jednej cebuli nigdy nie znajdywał skrobi w gałeczkach zieleni, a natomiast komórki, zieleń zawierające, zawierają tu według niego zawsze znaczne ilości glikozy, która zatem ma tu odgrywać taką samą rolę, jak skrobia u innych roślin. To powstawanie glikozy pod wpływem światła i kwasu węglowego z wodą może być wyrażone formułą:

$$6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Przed niedawnym czasem Briosi wystąpił z pracą[1], w której dowodzi, że u roślin bananowatych (*Musaceae*) w gałeczkach zieleni skrobia nigdy nie występuje, a natomiast stale znajduje się w nich tłuszcz. Briosi twierdzi zatem, że u roślin do tej rodziny należących pierwszym produktem procesu przyswajania jest tłuszcz. Gdyby w istocie tak było, to przyjmując, że tym tłuszczem jest np. trzyoleina, proces przyswajania mógłby tu być wyrażony wzorem:

$$57CO_2 + 52H_2O = C_3H_5(OC_{18}H_{33}O)_3 + 80O_2;$$

[1] Botanische Zeitung, 1873 r.

zatem na 57 objętości kwasu węglowego, pochłoniętego przez roślinę, 80 objętości tlenu musiałoby być wydzielone; objętość zatem powietrza, otaczającego roślinę, musiałaby się zwiększyć. Przypuszczając, że tłuszczem powstającym nie jest trzyoleina, ale jakikolwiek inny tłuszcz, zawsze do tego samego doszlibyśmy wypadku, t. j. że roślina musiałaby wydzielić objętość tlenu większą od objętości pochłoniętego kwasu węglowego. Otóż przedsięwziąłem teoretyczne to rozumowanie sprawdzić doświadczeniem. Kawałek liścia bananowego (*Musa sapientium*) umieszczono w rurce eudiometrycznej w znanej mieszaninie powietrza z kwasem węglowym i wystawiono przez kilka godzin na światło. Po skończonem doświadczeniu przekonano się, że liść rozłożył 5 cm^3 kw. węglowego, a mimo to objętość gazów w rurce eudiometrycznej zamkniętych nie zmieniła się wcale. Drugie doświadczenie podobne taki sam dało wypadek. Z tego już można było wyprowadzić na mocy rozumowania powyżej podanego wniosek, że tłuszcz nie może być produktem przyswajania u bananowatych roślin, a zatem wypadek, do którego doszedł Briosi, był błędny.

Należało teraz skontrolować podanie Briosiego, że liście bananów nigdy skrobi nie zawierają. Ażeby tem wybitniejsze otrzymać rezultaty, kawałki rzeczonych liści umieszczano w rurkach zawierających powietrze z przymieszką 6—8% kwasu węglowego i wystawiano je przez kilka godzin na działanie bezpośrednie promieni słonecznych. Następnie liście badano na skrobię za pomocą mikrochemicznej metody, polegającej na odbarwieniu liści alkoholem, zrobieniu z nich delikatnych wycinków, dygerowaniu tychże w KOH, wodzie, kwasie octowym i znów w wodzie, a następnie na traktowaniu ich rozczynem jodu, przyczem najmniejsze ślady skrobi przez niebieskie zabarwienie poznać się dają. Doświadczenia robiono z *Musa sapientium*, *M. discolor*, *M. zebrina*, *M. Daca* i *Strelitzia reginae*. Wszędzie, zwłaszcza gdy liście użyte były młode, znajdowano komórki ich przepełnione skrobią. W starszych liściach niektóre partje komórek, a nawet czasem i wszystkie komórki, wcale skrobi nie zawierały, co jednak dowodzi tylko, że całe liście lub niektóre ich komórki, mimo swego zielonego wejrzenia, utraciły już zdolność przyswajania i już więcej nie były w stanie rozkładać dostarczonego im kwasu węglowego.

I w liściach wprost z roślin zdjętych znajdowano znaczne ilości skrobi, mianowicie w liściach młodych, zwłaszcza zbiera-

nych wieczór po jasnym słonecznym dniu. Wszystkie obserwacje robione były w czasie gorącego lata jeszcze w r. 1874.

Z doświadczeń tych pokazuje się jasno, że produktem procesu przyswajania u roślin bananowatych nie jest tłuszcz, jak utrzymywał Briosi, ale tak samo, jak i u innych roślin, skrobia. Tłuszcz wprawdzie znajduje się w istocie w komórkach zieleniowych, ale jest on tu jakimś późniejszym wytworem, nie zaś pierwszym produktem z kwasu węglowego i wody przez roślinę wytworzonym. Być może, że istnieją jakie rośliny, u których tłuszcz w gałeczkach zieleni tę samą, co skrobia u innych roślin, odgrywa rolę, rośliny jednak bananowate niemi niewątpliwie nie są.

Ist das Assimilationsprodukt der *Musaceen* Oel oder Stärke?

(Flora, 1877, pp. 218—223).

In der Botanischen Zeitung von 1873 (Seite 529 und 545) publicirte Briosi eine Arbeit, in welcher er nachzuweisen suchte, dass das erste sichtbare Assimilationsprodukt der von ihm untersuchten Musaceen nicht Stärke wie bei den anderen Gewächsen, sondern Oel ist. Dies veranlasste mich, die Kohlensäurezersetzung bei diesen Pflanzen näher zu studiren, indem ich mich der Vermuthung hingab, dass die genannten Pflanzen mehr Sauerstoff aushauchen müssen, als sie Kohlensäure zersetzen. Ich war nämlich durch folgende Erwägungen geleitet. Stellen wir uns die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern der meisten Pflanzen durch die Formel

$$6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6H_{10}O_5 + 6\,O_2$$

dar, so werden wir uns die Fettbildung bei den Musaceen, angenommen, dass das Fett Triolein z. B. ist, durch die Formel

$$57\,CO_2 + 52\,H_2O = C_3H_5\,(OC_{18}H_{33}O)_3 + 80\,O_2$$

veranschaulichen können.

Wenn nun aus der ersten Formel sofort zu ersehen ist, dass auf ein Volumen der zersetzten Kohlensäure ein gleiches Volumen von Sauerstoff ausgeschieden sein muss, so zeigt dagegen die zweite, dass, im Falle der Fettbildung, das Volumen des ausgeschiedenen Sauerstoffes um etwa 40% (bei Trioleinbildung) von dem Volumen der zersetzten Kohlensäure grösser sein müsste, wenn wir nicht die unwahrscheinliche Annahme machen wollen, dass gerade dieser Ueberschuss zu irgend welchen unbekannten Oxydationsprozessen in der Pflanze sofort verwendet wird. Das Resultat dieser Schlussfolgerung wird dasselbe bleiben, wenn wir

auch annehmen, dass das fragliche Oel nicht Triolein, sondern irgend ein anderes Fett ist. Ich habe mich entschlossen, diese Schlussfolgerung einer experimentalen Prüfung zu unterwerfen, um einen endgültigen Beweis für die Richtigkeit der Briosi'schen Annahme beizubringen; unglücklicher Weise aber ergaben meine Versuche ein vollständig negatives Resultat.

Die Methode der Versuche war die, dass ich Blattstücke von *Musa sapientium* in der Luft, welcher etwa 10% Kohlensäure beigemengt war, in einer Eudiometerröhre einige Stunden lang dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt habe, und dann das Volumen der Gase und die Menge der übrig gebliebenen Kohlensäure bestimmte. Sämmtliche Vorsichtsmassregeln, in welchen ich mich bei meiner früheren Arbeit über Sauerstoffausscheidung im Würzburger-Laboratorium eingeübt habe, wurden berücksichtigt. Wäre die Briosi'sche Auffassung richtig, so müsste sich das Volumen der Gase in der Eudiometerröhre nach der Insolation unbedingt vergrössern. Der erste Versuch ergab kein Resultat, da es sich herausgestellt hat, dass das Blattstück keine Kohlensäure zersetzt hat. Das Stück war aus einem älteren aber noch schön grünen Blatte genommen, und dies beweist, dass die Assimilationsfähigkeit des Blattes früher als die grüne Farbe desselben erlischt. Diese Thatsache habe ich bereits bei meiner Arbeit über Sauerstoffausscheidung in Würzburg an Blättern von *Evonymus japonica* und verschiedenen Rhododendronarten beobachtet. Blätter dieser Pflanzen, welche in Treibhäusern überwintert haben, zeigten im Frühjahre eine sehr schwache, und einige sogar keine Assimilationsfähigkeit, obgleich sie in ihrer grünen Farbe noch nicht merklich gelitten haben.

Zum zweiten Versuche verwendete ich ein Stück aus einem jungen kaum entfalteten Blatte von *Musa sapientium*. Nach einer dreistündigen Insolation sind von den 7 c. c. der eingeführten Kohlensäure nur 2 c. c. übrig geblieben. Das Blattstück hat also 5 c. c. Kohlensäure zersetzt; das gesammte Gasvolumen ist aber nicht nur nicht grösser, sondern sogar um 0,2 c. c. kleiner geworden.

Es wurde noch ein Versuch angestellt, welcher ein ähnliches Resultat geliefert hat. Auch hier hat sich trotz einer namhaften Kohlensäurezersetzung das Volumen der Gase im Eudiometer nach der Insolation nicht merklich verändert.

Wir sehen also, dass die *Musaceen*, wie die übrigen Pflanzen,

ein Volumen des Sauerstoffes, welches dem Volumen der zersetzten Kohlensäure nahezu gleich ist, ausscheiden. Die theoretischen Schlussfolgerungen, welche als Ausgangspunkt für obige Versuche gedient haben, sind also durch das Experiment nicht bestätigt worden. Da aber diese Schlüsse aus der Briosi'schen Voraussetzung mit Nothwendigkeit folgen, so dürfen wir annehmen, dass auch diese Voraussetzung nicht richtig ist. Demnach war es nothwendig, die Briosi'schen Angaben über das gänzliche Fehlen der Stärkeeinschlüsse in den Chlorophyllkörnern der *Musaceen* einer nochmaligen Untersuchung zu unterwerfen. Bei den ersten flüchtigen Beobachtungen an hier und da entnommenen Blattstücken von *Musa*- und *Strelitzia*-Arten, fand ich auch die Chlorophyllkörner derselben stärkefrei; um aber die Sache endgültig zu entscheiden, habe ich eine andere Methode angewendet. Schon früher (Flora 1873, vorläufige Mittheilung; Sitzungsberichte der Krakauer Akademie der Wissenschaften 1875, die ausführliche Arbeit) zeigte ich, dass in einer einige Procente Kohlensäure enthaltenden Luft die Stärkebildung bedeutend schneller vor sich geht, als in gewöhnlicher Atmosphäre[1]; wenn also überhaupt

[1] Diese von mir gefundene Thatsache hat neuerdings (Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften in Wien B. LXXIII. S. 39) Herr Professor Böhm aufs neue entdeckt, während er über meine Versuche sich ganz einfach dahin äussert, dass sie zu keiner Schlussfolgerung berechtigen, da sich in den Cotylen des Rettigs auch im Dunkeln aus dem vorhandenen Oel Stärke bildet, wie er in der Abhandlung »Ueber Stärkebildung in den Keimblättern der Kresse etc.« nachgewiesen hat. Dass sich bei der Keimung der ölhaltigen Samen in den Cotyledonen derselben Stärke aus dem Oel bildet, hat nicht erst Herr Böhm in der oben genannten Abhandlung, sondern schon bereits Sachs vor 18 Jahren (Ueber das Auftreten der Stärke bei der Keimung ölhaltiger Samen in Bot. Zeitung 1859. Ueber die Stoffe, welche das Material zur Bildung der Zellhäute liefern, Pringsheims Jahrbücher B. III.) nachgewiesen und Peters (citirt bei Sachs Handbuch der Experimentalphysiologie s. 364) hat ja sogar durch quantitative Analysen die Menge dieser s. g. transitorischen Stärke in drei Entwickelungsstadien der keimenden Kürbissamen bestimmt. Diese Thatsache müsste mir also aus meinen Elementarstudien sehr gut bekannt sein, sie berührt aber meine Versuche nicht im geringsten einfach darum, weil dieselben sämmtlich an Pflänzchen, bei welchen die Reservestoffe schon vollständig verbraucht wurden, angestellt waren. Ich habe doch ausdrücklich hervorgehoben, dass bei jedem einzelnen Versuche die völlige Stärkefreiheit der zum Experiment angewandten Cotyledonen constatirt wurde, was also beweist, dass die Reservestoffe bereits vollständig

in den Chlorophyllkörnern der *Musaceen* Stärke gebildet wird, so wird man das an den Blattstückchen, welche in Kohlensäurereicherer Luft insolirt waren, am leichtesten wahrnehmen können. Aus diesem Grunde wurden Stückchen von schönen jungen Blättern, in Absorptionsröhren, in einer 6 - 8% Kohlensäure enthaltenden Luft, 3—4 Stunden lang insolirt, und erst nachträglich auf ihren Stärkegehalt untersucht. Die Versuche wurden an *Musa*

---

erschöpft waren, denn so lange dies nicht geschieht, existirt, meines Wissens nach, kein Modus die Cotyledonen von Stärke frei zu haben. Um Herrn Böhm zu beweisen, dass ich dies sehr gut wusste, mache ich ihn auf folgende Stelle auf der letzten Seite meiner vorläufigen Mittheilung in der Flora aufmerksam: »Ich habe auch versucht, den ganzen Keimungsprocess ohne Kohlensäurezutritt im Lichte vor sich gehen zu lassen, und überzeugte mich, dass derselbe ganz normal vor sich geht. Keine Ueberverlängerung der Stengel, keine Missbildung der Cotyledonen ist zu bemerken. Die Chlorophyllkörner sind vollkommen ausgebildet und von ganz normalem Farbenton. Der ganze sichtbare Unterschied von den frei vegetirenden Pflänzchen liegt darin, dass nachdem die Reservestoffe aus den Cotyledonen verbraucht worden sind, sie keine Spur Stärke mehr enthalten, während die frei vegetirenden die Stärke reichlich bilden«. Die durchschossen gedruckten Wörter zeigen unzweideutig, dass ich sehr gut wusste, dass, so lange die Reservestoffe nicht verbraucht sind, auch in kohlensäurefreier Luft, und natürlich auch in Dunkelheit (was ich öfters beobachtete, aber als eine bekannte Thatsache nicht erwähnt habe) Stärke in den Cotyledonen natürlich aus Oel gebildet wird. Diese Stärke als unmittelbares Assimilationsprodukt zu betrachten, fiel mir niemals ein. Dass auch die wichtige von Böhm (mittelst der von mir zuerst in die Pflanzenphysiologische Untersuchungen eingeführten Methode der Experimentirung in kohlensäurefreier Luft, von welcher man noch viel zu hoffen hat) entdeckte Thatsache des Einflusses des Lichtes auf Stärkewanderung meine Resultate keineswegs alterirt, folgt daraus, dass immer Parallelversuche in freier Luft und in kohlensäurereicher Atmosphäre angestellt waren, und dass während in der letzten schon namhafte Stärkequanta in den Chlorophyllkörnern der Cotyledonen gebildet worden sind, die ganzen Cotylen der Pflänzchen, welche im Freien der Lichtwirkung ausgesetzt wurden, noch vollkommen stärkefrei waren. Uebrigens sind in meiner ausführlichen Abhandlung, welche ich der Krakauer Akademie der Wissenschaften in der Sitzung vom 20. März 1875 vorgelegt habe, auch Versuche an Laubblättern (Versuch XVI, XVIII, XX) und an den von den Stengeln isolirten Blättern (XVI, XXI) beschrieben, die gleiche, wie die an Cotyledonen der Keimpflänzchen angestellten, Resultate lieferten. Somit ist der Einfluss des Kohlensäuregehaltes der Luft auf die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von mir mit voller Sicherheit nachgewiesen, und Herr Professor Böhm brauchte nicht denselben nochmals zu entdecken.

sapientium, *M. discolor*, *M. zebrina*, *M. Daca* und *Strelitzia Reginae* angestellt. Jetzt wurden fast überall die Mesophyllzellen mit Stärke überfüllt gefunden, so dass die entfärbten und mit Kali und Essigsäure behandelten Blattschnitte sich, mit Jod behandelt, schwarzblau gefärbt haben. In einem Versuche waren Stücke aus einem jungen und aus einem ziemlich alten Blatte insolirt. Nach 3 Stunden sind fast sämmtliche Mesophyllzellen der erstern mit Stärke überfüllt geworden, während nur einige Zellpartieen der letzteren reichlich Stärke gebildet haben, die meisten aber vollkommen stärkefrei geblieben sind. Aus diesem Versuche ist zu ersehen, dass nicht sämmtliche Zellen eines Blattes gleichzeitig ihre Assimilationsfähigkeit verlieren, vielmehr die einen behalten sie noch fast vollständig, während die anderen sie bereits gänzlich verloren haben.

Wir sehen demnach, dass bei dem künstlich gesteigerten Assimilationsprocesse in den Chlorophyllkörnern der *Musa*- und *Strelitzia*-Arten die Stärke eben so reichlich gebildet wird, wie bei sonstigen Pflanzen. Es ist mir aber auch gelungen, in den frisch aus denselben Pflanzen entnommenen, und sofort in Alkohol gesteckten Blattstücken, die Stärke in den Mesophyllzellen nachzuweisen.

Ganz besonders, wenn die Stückchen aus jungen Blättern stammten, und Abends nach einem heissen Tage entnommen wurden, enthielten sie reichlich die Stärke in ihren Chlorophyllkörnern. Alles das zeigt, dass das Assimilationsprodukt der *Musa*- und *Strelitzia*-Arten nicht Oel, wie es Briosi annahm, sondern Stärke wie bei den übrigen Pflanzen ist.

Fragen wir nun, warum Briosi die Stärke in den Chlorophyllkörnern der in Rede stehenden Pflanzen nicht nachweisen konnte, so ist das ohne Zweifel in den ungünstigen Witterungsverhältnissen während seiner Untersuchungen zu suchen. Die bekannte, vom Böhm angegebene und von Sachs vervollkommnete Methode der Stärkenachweisung ist so sicher, und bei einiger Uebung so leicht zu handhaben, dass sie jede Möglichkeit des Irrthums ausschliesst; und deswegen bin ich vollkommen überzeugt, dass die Mesophyllzellen der von Briosi untersuchten Blätter in der That stärkefrei waren. Briosi hat aber seine Untersuchungen im Februar und März, also in der für die As-

similation sehr ungünstigen Jahreszeit gemacht, während die *Musaceen.* als Pflanzen des heisseren Climas, wahrscheinlich mehr Licht und Wärme bedürfen als unsere einheimischen Gewächse. Die Blätter von *Strelitzia Princeps* aus dem botanischen Garten zu Ferrara im Juni entnommen, welche Briosi untersuchte, waren vielleicht zu alt, oder aus irgend einem anderen Grunde stärkefrei (übrigens habe ich *Strelitzia Princeps* nicht untersucht.). Meine sämmtlichen Untersuchungen waren aber im Juni bei sehr heissem Wetter angestellt, die Verhältnisse waren demnach dem Assimilationsprocesse sehr günstig, und das ist, meiner Meinung nach, der Grund, wesshalb es mir die von Briosi vermisste Stärke in den Chlorophyllkörnern nachzuweisen gelungen ist. Es bleibt mir noch übrig, mich über die Bedeutung des, in den Mesophyllzellen unzweifelhaft vorhandenen und von Briosi nachgewiesenen Oeles, auszusprechen. Da ich keine auf diese Frage gerichteten Versuche angestellt habe, so kann ich auch dieselbe unmöglich endgültig entscheiden, mit einiger Wahrscheinlichkeit jedoch liesse sich vielleicht vermuthen, dass das Oel hier eine ähnliche Rolle wie die bekannten Oelkörper der Lebermoose spiele[1]. Diese Vermuthung wird durch zwei Thatsachen unterstützt: 1. Dass in den älteren Blättern, bei welchen der Assimilationsprocess, wie oben hervorgehoben wurde, schwächer ist, der Oelgehalt in den Mesophyllzellen nicht nur nicht geringer, sondern sogar grösser als in den jungen Blättern ist[2], und 2. dass dem Oele, besonders in dem die Gefässbündel der Blattstiele umgebenden Parenchym[3], aber auch in Mesophyllzellen[4], Gerbsäure beigemengt ist; was eben Pfeffer für die Oelkörper der Lebermoose auch nachgewiesen hat. Nach dieser Analogie wäre es zu vermuthen, dass das Oel aus den Mesophyllzellen der *Musaceen* keine weitere Verwendung findet; ob es aber wirklich so ist, oder ob das Oel noch weiter zum Wachsthum als Zellstoffbildner verwendet wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen; so viel steht aber fest, dass dieses Oel kein Assimilationsprodukt ist, sondern dass es erst

[1] Pfeffer in Flora 1874.

[2] Vergleiche das Referat von Kraus Bot. Zeit. 1873. S. 234, wo erwähnt wird, »dass bei älteren Blättern das Oel sich auch frei in zahlreichen Tropfen in Chlorophyllzellen findet«.

[3] Briosi l. c. S. 547.

[4] Briosi l. c. S. 549.

nachträglich, unmittelbar oder mittelbar, aus der durch Assimilation entstandenen Stärke entsteht. Ich will damit nicht behaupten, dass es nicht Pflanzen gebe, bei denen das Fett das erste sichtbare Assimilationsprodukt sei, dass dies aber bei den *Musaceen* nicht der Fall ist, darüber besteht kein Zweifel.

Lemberg, Januar 1877.

Wpływ światła na wzrost roślin.

(Kosmos, 1877, str. 366—369).

Już od dość dawnego czasu zajęty jestem badaniem pytania, dla czego rośliny w ciemności rosnące przybierają kształt tak różny od normalnego, a polegający zwykle na tem, że liście ich lub listnie pozostają bardzo małe, a za to łodygi lub członki podlistniowe nad miarę się wydłużają. Niektóre dane, odnoszące się do tego przedmiotu, przedstawiłem już przed dwoma laty na drugim zjeździe przyrodników polskich we Lwowie. Obecnie poszukiwania moje odnośnie do wypłaniania rzodkiewki cokolwiek naprzód postąpiły, chcę tu więc podać w streszczeniu najwybitniejsze rezultaty, zachowując sobie opis samych doświadczeń do specjalnej rozprawy. Rezultaty faktyczne dadzą się streścić w następujących punktach:

1. Hodując rzodkiewkę (z nasion jednakowej wagi) w zwyczajnej ziemi ogrodowej, z jednej strony w ciemności, z drugiej na świetle, ale w atmosferze pozbawionej bezwodnika węglowego, otrzymujemy roślinki, zawierające prawie jednakową wagę stałej materji organicznej, np. z 10 mgr. nasion otrzymano po 8 dniach w ciemności roślinki, zawierające po $6._5$ mgr., na świetle po $6._{98}$ mgr. materyj organicznych stałych.

Rezultat ten stwierdza dawniejsze podania Corenwindera i nowsze Böhma, że przynajmniej największa liczba roślin zielonych z ziemi pokarmu węglowego czerpać nie może.

2. Roślinki, hodowane na świetle w atmosferze pozbawionej bezwodnika węglowego, w niczem swoim kształtem nie przypominają roślin wypłonionych (etjolowanych), ale owszem rozwijają się do czasu zupełnie tak samo, jak roślinki hodowane na świetle w zwyczajnej atmosferze; dowodzi to, że kształt roślin wypłonio-

nych w żadnym związku z przyswajaniem nie stoi, że więc zapatrywanie Krausa na wypłanianie było mylne.

3. Ogólna ilość materji organicznej stałej w listniach rzodkiewki wypłonionej jest znacznie mniejsza, niż ilość tejże materji zawartej w listniach rzodkiewki normalnej [1] tego samego wieku (np. z ośmiodniowych roślinek, wyhodowanych z nasion po 10 mgr. ważących, zawierały listnie wypłonione $2._{31}$ mgr., normalne, ale nie asymilujące, $4._{28}$ mgr.). Co dowodzi, że z listni roślinek wypłonionych daleko więcej materji organicznej wychodzi do łodyżki (właściwie członka podlistniowego) niż z listni roślinek normalnych. Fakt ten już sam przez się wyklucza twierdzenie Famintzina, jakoby nadmierne wydłużanie się łodyżki w ciemności odbywało się tylko kosztem słabszego rozwoju korzenia.

4. Listnie rzodkiewki wypłonionej zawierają w 100 częściach wagi świeżej daleko więcej materji suchej a daleko mniej wody niż listnie roślinek normalnych.

5. Listnie rzodkiewki wypłonionej zawierają daleko mniej materyj mineralnych stałych niż listnie normalne (np. wypłonione $0._{22}$ mgr., normalne $1._{08}$). Nawet procentowa zawartość popiołów w 100 częściach materji suchej jest w listniach wypłonionych o wiele mniejszą niż w normalnych (np. u wypłonionych $8._{7}\%$, w normalnych $20._{2}\%$) [2].

6. Ogólna ilość materyj organicznych stałych w łodyżkach (członkach podlistniowych) rzodkiewek wypłonionych jest znacznie większa niż ilość tychże materyj, zawartych w łodyżkach tegoż wieku (i z nasion tej samej wagi wyhodowanych) roślinek normalnych (np. w wypłonionych $2._{81}$ mgr., w normalnych $1._{18}$ mgr.), co stwierdza, że prąd materyj zapasowych z listni do łodyżek jest w ciemności silniejszy, niż na świetle.

7. Łodyżki wypłonione zawierają w 100 częściach wagi świeżej daleko większy procent wody a daleko mniejszy materyj organicznych stałych niż normalne (np. wypłonione $1._{53}\%$, normalne 3% materyj organicznych stałych, wody zaś pierwsze $97._{6}$, drugie $95._{8}$).

8. Łodyżki rzodkiewek wypłonionych zawierają więcej popiołów niż normalne, np. wypłonione $1._{59}$ mgr., normalne $0._{46}$ mgr., co

[1] Pod roślinkami normalnemi rozumiane tu są wszędzie roślinki hodowane na świetle w atmosferze pozbawionej bezwodnika węglowego.

[2] Popioły listni nie topią się przy wypalaniu i są białe, woda prawie ich nie narusza, w HCl rozpuszczają się prawie zupełnie z burzeniem.

obliczone na 100 części materji suchej czyni dla pierwszych 36%, dla drugich 27.4% [1].

9. Ogonki listniowe rzodkiewek wypłonionych bardzo niejednostajnie się rozwijają, u jednych indywiduów powstają bardzo małe, u innych roślin równie silnie jak u roślinek normalnych.

10. Korzonki rzodkiewek wypłonionych są czasem cokolwiek krótsze niż normalnych, jednakowoż przewaga ostatnich jest nieznaczna a często żadna, nigdy zaś nie może być mowy o tem, aby słabszy wzrost korzonków równoważył nadmierne wydłużanie się łodyżek rzodkiewek wypłonionych; nie ma też żadnej wybitnej różnicy pomiędzy procentową zawartością materyj suchych i wody w korzonkach rzodkiewek normalnych z jednej a wypłonionych z drugiej strony.

11. Jeżeli w czasie kiełkowania nasion odosobni się listnie od kiełków i, umieściwszy je na wilgotnej bibule, wystawi część na światło, część zaś zostawi w ciemności, to i w takim razie odosobnione listnie rosnąć będą silniej na świetle, odosobnione łodyżki silniej w ciemności.

12. Jeżeli zamiast umieszczać całą roślinkę w ciemności zaciemnimy same tylko łodyżki a listnie pozostawimy na świetle, to i wtedy łodyżki rosną znacznie silniej, listnie widocznie słabiej niż wtedy, gdy cała roślinka na świetle się znajduje (np. podczas gdy łodyżki roślinek na świetle ważyły $0._{066}$ a w tem $2._8\%$ materji organicznej, listnie ich $0._{06}$, w tem $5._9\%$ mat. org., to łodyżki zaciemnione ważyły $0._{113}$, w tem $2._4\%$ mat. org., ich listnie $0._{052}$, w tem $6._7\%$ mat. org.).

13. Jeżeli zaciemnione zostaną same listnie rzodkiewki a łodyżki zostaną na świetle, to i tak listnie rosną o wiele słabiej, łodyżki (o ile wnosić mogę z dotychczasowych doświadczeń) widocznie silniej niż wtedy, gdy cała roślinka zostaje na świetle (np. w doświadczeniu cytowanem pod 12. listnie zaciemnione ważyły $0._{089}$, w tem $8._7\%$ mat. org., łodyżki do nich należące $0._{108}$, w tem $2._5\%$ mat. org.).

Według powyższych faktów wypłanianie rzodkiewki polega na tem, że, kiedy w świetle przeważna część materyj zapasowych złożonych w nasieniu zostaje zużyta do wzrostu samych listni,

[1] Popioły łodyżek topią się nawet przy bardzo powolnem wypalaniu, większa ich część rozpuszcza się w wodzie z reakcją silnie alkaliczną.

w ciemności głównie zużywają się te materje do wzrostu łodyżki. Najbliższą przyczyną tego objawu zdaje się być wpływ, jaki światło wywiera na zdolność pochłaniania wody przez pierwoszcze komórek listni z jednej a łodyżek z drugiej strony.

Światło wpływa oddzielnie na listnie a oddzielnie na łodyżki, ale z drugiej strony silniejszy wzrost jednego z tych organów oddziaływa znowu na osłabienie wzrostu drugiego organu tak, iż ostateczny kształt organu jest rezultatem skombinowanego działania bezpośredniego i pośredniego wpływu światła na jego wzrost. Pytanie, na czem polega oddziaływanie światła na pochłanianie wody przez rosnące roślinki, będzie przedmiotem dalszych moich poszukiwań. Dziś to tylko wspomnę, że najprostszem przypuszczeniem, jakie się nasuwa, zdaje się być to, że światło wpływa na powstawanie jakichś związków chemicznych endosmotycznie działających. O ile przypuszczenie to jest prawdziwem, spodziewam się dalszemi doświadczeniami rozstrzygnąć.

Zur Kenntniss der Ursachen der Formänderung etiolirter Pflanzen.

(Botanische Zeitung, 1879).

Seit ich, bei Gelegenheit meiner Untersuchungen über Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern, gefunden habe, dass der Mangel an Assimilation selbst keine Formänderung im Sinne des Etiolements verursacht[1], habe ich mich vielfach bemüht, die wahre Ursache dieser eigenthümlichen Form, welche die Pflanze in der Dunkelheit annimmt, aufzufinden. Da ich bis jetzt in dieser Hinsicht zu keinem definitiven Resultate gelangt bin, so habe ich auch mit der Veröffentlichung meiner Versuche und ihrer Resultate gezögert[2]. Da ich jedoch der Schwierigkeit des Gegenstandes wegen die gewünschte Abrundung meiner Arbeit nicht so bald zu erzielen hoffe, so habe ich mich entschlossen, meine bisherigen Bemühungen, zur Aufklärung der Etiolirungserscheinungen etwas beizutragen, an dieser Stelle mitzutheilen.

Vielleicht wird meine Arbeit geeignet sein, manche nutzlose Hypothese aus der Wissenschaft wegzuschaffen und den Weg weiterer Forschungen zu erleichtern.

Präcisirung der Etiolirungserscheinungen.

Der Ausgangspunkt meiner Untersuchungen war die Ueberzeugung, dass man überall, wo es sich um die Feststellung der

[1] Flora 1873.

[2] Zwei kleine vorläufige Mittheilungen über die bezüglichen Versuche habe ich in polnischer Sprache gemacht: 1) Denkschrift der zweiten Versammlung der polnischen Naturforscher und Aerzte in Lemberg 1875 S. 215, 2) »Kosmos«, Organ der polnischen Ges. der Naturforscher in Lemberg 1877 S. 366.

Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum chlorophyllhaltiger Pflanzen handelt, in kohlensäurefreier Luft experimentiren soll. Sämmtliche Versuche, welche man bis jetzt über diese Fragen angestellt hat[1], waren mit assimilirenden Pflanzen gemacht, so dass man nie wissen konnte, ob die beobachtete Erscheinung als Folge unmittelbarer Lichtwirkung oder als Resultat der Assimilationsthätigkeit zu deuten war. Bei meinen sämmtlichen Versuchen wurden die etiolirten Pflanzen, nicht mit im Freien am Lichte vegetirenden, sondern mit Pflanzen, welche in kohlensäurefreier Luft wuchsen, verglichen.

Die erste Frage, welche ich mir vorgelegt habe, war die, worin beruht die Ueberverlängerung des Stengels und die Verkümmerung der Blätter der etiolirten Pflanzen? Es sind hier folgende drei Möglichkeiten denkbar:

1) Die Vertheilung der organischen Baustoffe ist in etiolirten Pflanzen dieselbe wie in den grünen, die überverlängerten Organe nehmen aber mehr, die verkümmerten weniger Organisationswasser auf, als die entsprechenden Organe der grünen[2] Pflanzen.

2) Der procentische Gehalt an Organisationswasser ist in den Stengeln und Blättern (resp. Cotyledonen) bei den etiolirten Pflanzen derselbe wie bei den grünen, aber zum Wachsthum des Stengels wird bei den etiolirten Pflanzen mehr, zum Wachsthum der Blätter weniger Baustoff verbraucht als bei grünen.

3) Bei den etiolirten Pflanzen ist der procentische Gehalt an Organisationswasser der Stengel grösser, der procentische Gehalt der Blätter (resp. Cotyledonen) kleiner als bei den grünen, und ausserdem werden auch bei den etiolirten Pflanzen zum Wachsthum der Stengel mehr, zum Wachsthum der Blätter weniger Baustoffe verbraucht als bei den grünen.

Um unter diesen Möglichkeiten zu entscheiden, habe ich folgende Versuche angestellt.

Eine gewisse Anzahl gleich schwerer[3] Samen wurde in Was-

[1] Die einzige Ausnahme macht die ganz neu erchienene Arbeit: Vines »The Influence of Light upon the Growth of Leaves«. Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. Bd. II. Heft I.

[2] Unter grünen oder normalen Pflanzen werden in dieser Abhandlung immer im Lichte, aber ohne Kohlensäurezutritt gewachsene Pflanzen verstanden.

[3] Ich habe sämmtliche Samen gewogen und nur solche, deren Gewichte nicht mehr als um 0,5 Mgr. unter einander differirten, zum Experiment be-

ser eingequellt, auf nassen Fliesspapier zur Keimung gebracht und endlich in kleine (etwa 9 Centim. breite und ebenso hohe), mit gewöhnlicher Gartenerde gefüllte Töpfchen eingepflanzt. Die Töpfchen waren in kleine Porzellanschalen und sammt denselben auf grössere Teller oder auf mit schwarzem Papier beklebte Glasschalen gebracht. Darauf stülpte ich tubulirte Glasglocken. Der mit einem einfach durchbohrten Pfropfe geschlossene Tubus war mit einem Schenkel einer U-förmigen Glasröhre, welche mit in Kalilauge gesättigten Bimssteinstückchen und mit zerkleinertem Kalihydrat gefüllt war, verbunden. Somit konnte von aussen Luft, nicht aber Kohlensäure unter die Glasglocke eindringen. Einige der Glocken wurden mit schwarzem Papier beklebt, so dass die unter ihnen vegetirenden Pflänzchen in constanter und voller Dunkelheit wuchsen, unter den anderen Glocken genossen die Pflänzchen das Licht. Die hellen Glocken waren von unten durch Kalilauge, welche man auf den Teller goss, nach aussen abgeschlossen. Die Pflänzchen unter hellen und schwarzen Glocken standen dicht neben einander, und da die Glocken nur selten den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt wurden, so waren die Temperaturunterschiede unter beiden Glockensorten unbedeutend, und stiegen, wie ich ermittelte, nur selten auf 1° C. Nach einigen Tagen wurden die gleichmässig entwickelten Pflänzchen sammt ihren Wurzeln geerntet, wobei die Erde sorgfältig von den Wurzeln abgewaschen wurde. Nun wurden sämmtliche Theile des Pflänzchens gemessen, im frischen und bei 100° C. getrockneten Zustande gewogen, und endlich auch deren Aschengehalt bestimmt. Bis jetzt habe ich bei meinen Versuchen fast ausschliesslich *Raphanus*samen benutzt, und nur vereinzelte und nicht ganz vollständige[1] Experimente mit *Phaseolus* und *Zea* angestellt. Aus diesem Grunde beziehen sich die erlangten Resultate zunächst nur auf Etiolirungserscheinungen der *Raphanus*keimlinge, und bei der Beurtheilung des Etiolements anderer Pflanzen können sie nur als Anhaltspunkte dienen, was ich hier ausdrücklich hervorheben will.

Mögen nun einige Versuche zusammengestellt werden.

---

nutzt. So mühsam dieses Verfahren auch war, so schien es mir doch deshalb unumgänglich, weil nicht alle Samen keimen, und weil sich oft im Laufe des Versuches die Nothwendigkeit, einige Pflänzchen ihrer ungleichmässigen Entwickelung wegen zu beseitigen, herausstellt.

[1] Die Aschen wurden nicht bestimmt.

Versuch I.

Dieser Versuch ward in einem ziemlich dunkeln Zimmer vorgenommen, so dass auch diejenigen Pflänzchen, welche unter hellen Glocken vegetirten, sichtbare Merkmale der Etiolirung zeigten; man hatte hier also nicht mit etiolirten und normalen, sondern mit gänzlich und theilweise etiolirten Pflanzen zu thun. Die *Raphanus*samen wurden am 8. Mai in zwei Töpfchen (zu sechs in einen Topf) eingepflanzt. Jeder Same wog 11,07 Mgr. Ein Töpfchen wurde unter helle, ein anderes unter schwarze Glocke gebracht. Während der Vegetationszeit schwankte die Temperatur zwischen 16 und 18° C. Am 17. Mai wurden die Pflänzchen geerntet.

Die Resultate der Messungen und Wägungen, sämmtlich als Durchschnittszahlen auf ein Pflänzchen berechnet, sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Name des Pflanzentheils	Breite		Länge		Frisches Gew. in Mgr.		Gewicht d. org. Trockensubstanz				Gewicht der Aschenbestandtheile					
							absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		in Proc. des Gewichts der Trockensubst.	
	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt
Cotyledonen	11,8 9 8	7,7 6,5	7,0 5,5	4,3 3,5	43,55	22,0	4,60	3,28	10,5	14,9	0,67	0,25	1,56	1,14	12,7	7,0
Cotyledonarstiele			11,8 6,8	8,9 3,2	17,80	11,22	0,83	0,54	4,6	4,9	0,37	0,15	2,05	1,34	30,8	21,7
Hypocotyles Glied			49,5	84,2	79,63	160,13	2,55	4,23	3,2	2,6	1,23	2,07	1,54	1,29	32,4	32,8
Wurzel			92,0	85,5	23,88	27,55	0,83	0,86	3,5	3,1	0,27	0,24	1,12	0,89	24,5	21,8
Ganzes Pflänzchen					164,86	220,90	8,81	8,91	5,3	4,0	2,54	2,71	1,54	1,23	22,4	23,3

Versuch II.

Die *Raphanus*samen von 9,7 Mgr. Gewicht wurden am 22. Juni in zwei Töpfchen (fünf Samen in jeden Topf) eingepflanzt. Das eine Töpfchen war unter eine dunkle, das andere unter eine helle Glocke in kohlensäurefreie Luft gebracht. Während der Vegetationszeit schwankte die Temperatur zwischen 21 und 27° C., der

Versuch war in einem sehr hellen Zimmer vorgenommen, directe Sonnenstrahlen trafen aber die Pflänzchen nur selten. Am 27. Juni wurden die Pflänzchen geerntet. Die Untersuchung ergab folgendes Resultat.

Name des Pflanzentheils	Breite		Länge		Frisches Gew. in Mgr.		Gewicht d. org. Trockensubstanz				Gewicht der Aschenbestandtheile					
							absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc des Gewichts der fr. Substanz		in Proc. des Gewichts der Trockensubst.	
	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt
Cotyledonen	15,6 13,8	7,7 7,1	10,2 8,8	4,6 4,1	83,20	24,2	4,28	2,31	5,2	9,55	1,08	0.22	1,3	0,91	20,2	8,7
Cotyledonarstiele			10,2 7	13,3 5,4	14,26	14,3	0,58	0,43	4,1	3,0	0,14	0,17	1,0	1,2	20	28
Hypocotyles Glied			30,2	129,0	39,66	184,0	1,18	2,81	3,0	1,53	0,46	1,58	1,15	0,86	27,4	36
Wurzel			103	90,3	24,36	26,4	0,94	0,95	3,8	3,6	0,46	0,30	1,9	1,14	33	24
Ganzes Pflänzchen					161,48	248,9	6,98	6,50	4,3	2,6	2,14	2,27	1,3	0,91	23,4	25,9

Versuch III.

Am 17. November wurden in acht Töpfchen 48 *Raphanus*samen (sechs in jedes Töpfchen), von denen jeder 9,9 Mgr. wog, eingepflanzt. Vier Töpfchen wurden im Dunkeln, vier in kohlensäurefreier Luft im Lichte aufgestellt. Während der Vegetation schwankte die Temperatur zwischen 11 und 17° C.

Die Pflänzchen wurden in vier verschiedenen Vegetationsperioden geerntet. Ich will nur die Resultate der ersten und der letzten Periode mittheilen (s. Tafeln S. 277).

Ausser diesen habe ich noch mehrere andere den hier mitgetheilten ähnliche Versuche angestellt, namentlich in der Absicht, die Stoffwanderung und ihre Beziehung zum Wachsthum in verschiedenen Entwickelungsperioden näher zu präcisiren; da aber der Zweck dieser Versuche in Folge der ungleichmässigen Entwickelung der Pflänzchen nicht erreicht wurde, so will ich die bezüglichen Zahlen nicht weiter anführen, und begnüge mich mit der Erwähnung, dass die Resultate, welche sich aus den oben

1. Die Pflänzchen am 21. November geerntet.

Name des Pflanzentheils	Breite		Länge		Gewicht d. fr. Substanz		Gewicht d. org. Trockensubstanz				Gewicht der Aschenbestandtheile					
							absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		absolutes Gewicht in Mgr.		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		in Proc. des Gewichts der Trockensubst.	
	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt
Cotyledonen	7 6,2	5,7 5	3,7 3,2	3,1 2,5	16,4	12,8	5,40	5,68	33,0	44,0	0,34	0,18	2,08	1,41	5,9	3,1
Cotyledonarstiele			3,4 1,7	1,8 1,1	2,7	1,5	0,36	0,25	13,3	16,6	0,04	0,05	1,49	3,33	10,0	16,6
Hypocotyles Glied			12,2	17,5	16,6	18,25	1,00	1,08	6,0	5,9	0,26	0,20	1,56	1,09	20,6	15,6
Wurzel			50,4	42,2	18,6	11,4	0,96	0,60	5,2	5,2	0,08	0,08	0,43	0,70	7,7	11,7
Ganzes Pflänzchen					54,3	43,95	7,72	7,57	14,2	17,0	0,72	0,50	1,33	1,13	8,5	6,3

2. Die Pflänzchen am 20. November geerntet.

Cotyledonen	11,8 12,2	7,1 6,1	8,1 8,1	4,6 3,1	65,5	19,0	4,26	2,70	6,5	14,2	1,07	0,18	1,6	0,9	20,1	6,3
Cotyledonarstiele			16,0 12,2	14,0 5,2	27,4	14,6	0,94	0,53	3,4	3,7	0,38	0,15	1,4	1,1	28,8	22,0
Hypocotyles Glied			34,0	123,5	46,0	182,6	1,35	3,38	3,0	1,3	0,57	1,42	1,3	0,8	30,0	29,6
Wurzel			102		29,8	18,0[1]	0,88	0,70	2,9	3,9(?)	0,27	0,12	0,9	0,7	23,5	14,6
Ganzes Pflänzchen					168,7	234,2	7,43	7,31	4,4	3,1	2,29	1,87	1,3	0,8	24,3	20,4

mitgetheilten Versuchen ergeben haben, auch durch jene Zahlen auf das bestimmteste bestätigt sind. Diese Resultate sind nun folgende:

1. Das Gesammtgewicht der organischen Trockensubstanz der etiolirten und der grünen (aber in kohlensäurefreier Luft wachsenden), aus Samen gleichen Gewichtes erzogenen *Raphanus*pflänzchen, ist nahezu das gleiche, und in keinem Fall grösser als das Gewicht der organischen Trockensubstanz des Samens.

Dieses Resultat beweist auf das bestimmteste in Uebereinstimmung

[1] Diese Zahl ist zu klein, da die Würzelchen in gewelktem Zustande zur Wägung kamen.

stimmung mit den Angaben Corenwinder's[1], Böhm's[2] und Moll's[3], dass nur diejenige Kohlensäure, welche von den Pflanzenblättern aus der Luft aufgenommen wird, zur Bildung der organischen Substanz verwendet werden kann; dass dagegen die mit den Wurzeln in Berührung stehende, im Bodenwasser gelöste Kohlensäure, ohne jede Bedeutung für die Pflanze ist[4].

Als weiteren Beleg für diesen Satz will ich noch einige Zahlen aus anderen oben nicht mitgetheilten Versuchen angeben:

1.	grünes Pflänzchen	10,0 Mgr.	Trockensubstanzgewicht ohne Abzug d. Aschenbestandtheile
	etiolirtes »	9,3 »	
2.	grünes »	9,1 »	Trockensubstanzgewicht ohne Abzug d. Aschenbestandtheile
	etiolirtes »	9,3 »	
3.	grünes »	7,40 »	Gewicht der organ. Trockensubstanz allein
	etiolirtes »	7,32 »	
4.	grünes »	7,18 »	Gewicht der organ. Trockensubstanz allein
	etiolirtes »	7,54 »	
5.	grünes »	9,00 »	Gewicht der gesammten Trockensubstanz
	etiolirtes »	8,45 »	
6.	grünes Pflänzchen	13,4 Mgr.	Gewicht der gesammten Trockensubstanz.
	grünes Pfl., in gewöhnlicher nicht CO_2—freier Atmosphäre . . .	26,0 »	
	etiolirtes Pfl.	12,4 »	

*Zea*pflänzchen nach dreiwöchentlicher Vegetation:

Grün in kohlensäurefreier Luft .	168 Mgr.	Gewicht der gesammten Trockensubstanz.
Grün in gewöhnl. Atmosphäre .	451 »	
Grün in künstlicher, 5 Proc. CO_2 enthaltender Atmosphäre. . .	530 »	
etiolirt	137,7 »	

2. Die Pflänzchen, welche im Lichte, aber in kohlensäurefreier Luft aus Samen erzogen worden sind (welche also nicht assimiiren), sind von ganz normalem Habitus und haben mit den etio-

[1] Corenwinder, Comptes rendus. 1876.

[2] Böhm, Ueber Stärkebildung in Chlorophyllkörnern. Sitzungsberichte der k. Akademie der Wiss. zu Wien. 1876.

[3] Moll, Ueber die Herkunft des Kohlenstoffs der Pflanzen. Arbeiten d. bot. Inst. zu Würzburg. Bd. II. Heft 1,

[4] Zugleich wird auch mit diesem Experimente bewiesen, dass die Humusstoffe nicht von der Pflanze (*Raphanus*) aufgenommen werden.

lirten Pflänzchen gar keine Aehnlichkeit, somit ist weder die Ueberverlängerung der Stengel in der Dunkelheit, noch die Verkümmerung der Cotyledonen eine Folge der verhinderten Assimilation.

Diesen normalen Habitus der unter Ausschluss der Assimilation im Lichte cultivirten Pflanzen habe ich nicht nur bei *Raphanus*keimlingen, sondern auch bei *Phaseolus* und *Zea Mais* constatirt. Die Primordialblätter des *Phaseolus*, welcher in kohlensäurefreier Luft cultivirt wurde, waren natürlich kleiner als bei den Pflanzen, welche in gewöhnlicher Luft wuchsen, aber doch war ihre Länge und Breite doppelt so gross als in der Dunkelheit. Die Stengel zeigten gar keine Ueberverlängerung. Auch die Blätter von in kohlensäurefreier Luft cultivirter *Zea* zeigten keine Ueberverlängerung, ja sie waren sogar kürzer als bei den Pflanzen, die in normaler Luft vegetirten. Somit ist, wie ich das schon anderswo[1] ausgesprochen habe, und wie es bereits früher Batalin[2] auf Grund anderer Versuche hervorhob, die G. Kraus'sche[3] Erklärungsweise der Etiolirungserscheinungen unrichtig[4].

3. Die Gesammtmenge der organischen Trockensubstanz ist in den Cotyledonen der etiolirten *Raphanus*pflänzchen bedeutend kleiner als in denen der grünen; was also beweist, dass in der Dunkelheit mehr Baustoffe aus den Cotyledonen in die übrigen Pflanzentheile auswandern, als im Lichte. Diese Thatsache allein schliesst schon die Möglichkeit der allgemeineren Geltung der Famintzin'schen Behauptung[5], dass die Ueberverlängerung der hypocotylen Glieder durch Kürzerbleiben

[1] Flora 1873.

[2] Batalin, Bot. Ztg. 1871 S. 669.

[3] G. Kraus, Ueber die Ursachen der Formänderungen etiolirender Pflanzen. Jahrbücher f. wiss. Bot. Bd. VII. S. 209.

[4] Eine endgültige Widerlegung der Kraus'schen Selbst-Ernährungstheorie der Blätter hat neulichst Vines geliefert: Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. Bd. II. Heft I. In dieser Arbeit beweist der Verf. durch Versuche, welche sowohl an Keimpflanzen als an verschiedenen erwachsenen Pflanzen nach dreifacher Methode angestellt waren, dass sowohl die Cotyledonen als auch die Blätter wachsen können unter Umständen, welche die Assimilation unmöglich machen.

[5] Famintzin, Ueber die Wirkung des Lichtes auf die Keimung der Kresse.

der Wurzel compensirt wird, aus. Auch die Primordialblätter der unter Ausschluss der Assimilation im Lichte cultivirten *Phaseolus*-pflänzchen enthalten mehr Trockensubstanz als die nämlichen Blätter der etiolirten Pflanzen, z. B.:

Primordialblätter der grünen, nicht assimilirenden Pflanze enthalten . . . . 75 Mgr. Trockensubst.

Primordialblätter der etiolirten Pflanze enthalten . . . . . 42 Mgr. Trockensubst.

was wieder beweist, dass bei *Phaseolus* im Lichte mehr Baustoffe aus den Cotyledonen den Primordialblättern zufliessen, als in der Dunkelheit.

4. Auf gleiche Mengen der frischen Substanz enthalten die Cotyledonen der etiolirten *Raphanus*pflänzchen mehr an organischer Substanz als die der am Licht vegetirenden, mit anderen Worten, die etiolirten Cotyledonen sind procentisch wasserärmer als die grünen. Ganz dasselbe bezieht sich auch auf die Primordialblätter von *Phaseolus*, so fand ich z. B. in 100 Theilen der frischen Substanz der Primordialblätter:

bei etiolirten Pflanzen 16 Proc. an Trockensubstanz
bei grünen Pflanzen 5,6 » » »

somit sind also auch die etiolirten Primordialblätter von *Phaseolus* bedeutend wasserärmer als die grünen.

5. Die Gesammtmenge der organischen Trockensubstanz des hypocotylen Gliedes ist bei den etiolirten *Raphanus*pflänzchen grösser als bei den grünen; dadurch wird nun bestätigt (was wir bereits bei 3 gefolgert haben), dass in beständiger Dunkelheit mehr organische Baustoffe aus den Cotyledonen in das hypocotyle Glied übergehen und zum Wachsthum desselben verwendet werden als im Lichte. Dasselbe gilt von den Stengeln und den hypocotylen Gliedern von *Phaseolus*; z. B. von zwei 14 Tage alten *Phaseolus*-pflanzen, welche aus Samen gleicher Schwere erzogen wurden, enthielten

der etiolirte Stengel[1] 202,0 Mgr. Trockensubstanz
der grüne Stengel 141,0 Mgr. »

6. Auf gleiche Mengen der frischen Substanz der hypocotylen Glieder findet man bei den etiolirten *Raphanus*pflänzchen weni-

[1] Sammt dem hypocotylen Gliede.

ger, bei den grünen mehr Trockensubstanz, d. h. die hypocotylen Glieder der etiolirten Pflänzchen sind procentisch wasserreicher als die der grünen. Auch dieses Verhältniss findet man bei den *Phaseolus*stengeln wieder; so fand ich z. B. den Trockensubstanzgehalt der oben erwähnten Bohnenstengel bei den etiolirten Pflanzen 5,2 Proc., bei den grünen 6,3 Proc. des gesammten frischen Substanzgewichtes.

Auch die überverlängerten Blätter der etiolirten *Zea* sind procentisch wasserreicher als die grünen; z. B. grüne Blätter einer in kohlensäurefreier Luft cultivirten *Zea* enthielten 9,3 Procent, etiolirte 7,2 Procent an Trockensubstanz.

7. Die Cotyledonarstiele von *Raphanus* (und auch Blattstiele von *Phaseolus*) entwickeln sich im Allgemeinen in der Dunkelheit viel schwächer als im Lichte, jedoch bei einigen Individuen entwickeln sie sich ebenso stark als bei normalen Pflänzchen.

8. Die Wurzeln sind gewöhnlich bei den etiolirten Pflänzchen kürzer als bei den grünen, doch ist dieser Unterschied so gering, dass von einer Compensation der Ueberverlängerung des hypocotylen Gliedes durch Kürzerbleiben der Wurzel keine Rede sein kann.

Nach diesen hier zusammengestellten Resultaten können wir die Frage, worin beruht die Formänderung der etiolirten *Raphanus*pflänzchen? folgender Weise beantworten:

Die hypocotylen Glieder sind bei den etiolirten Pflänzchen länger als bei normalen, weil in der Dunkelheit mehr aus den im Samen aufgespeicherten Reservestoffen zu ihrem Wachsthum verwendet wird, und weil sie einen grösseren Procentgehalt von Organisationswasser aufnehmen als im Lichte, dagegen bleiben die Cotyledonen in der Dunkelheit verkümmert, weil in ihnen eine geringere Menge Baustoffe zurückbleiben, und weil sich diese mit einem geringeren Procentgehalt von Organisationswasser vereinigen als im Lichte geschieht. Die Formänderung der etiolirten *Phaseolus* ist ganz analog zu deuten. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Cotyledonen, sowohl in der Dunkelheit als auch im Lichte, nicht wie bei *Raphanus* blattartig auswachsen, sondern nach und nach von Reservestoffen erschöpft werden und verschrumpfen, während die Reservestoffe zum Wachsthum der Stengel und Blätter verwendet werden. Nun werden aber die Stengel der etiolirten Pflanzen länger als die der grünen, weil

in der Dunkelheit mehr von den in den Cotyledonen aufgespeicherten Reservestoffen zu ihrem Wachsthum verwendet wird und weil sie einen grösseren Procentgehalt an Organisationswasser aufnehmen als im Lichte. Umgekehrt sind wieder diese Verhältnisse bei den Primordialblättern, und aus diesem Grunde entwickeln sich dieselben bei den etiolirten Pflänzchen schwächer als bei den normalen.

Einfluss der Mineralstoffe.

Ausser den bereits zusammengestellten Resultaten ist noch eine beachtenswerthe Thatsache hervorzuheben, welche sich aus den obigen Versuchen ergibt; es ist der ausserordentlich hohe Aschengehalt, sowohl der etiolirten als auch der grünen Keimpflänzchen von *Raphanus*, welcher oft über 20 Proc. des gesammten Trockensubstanzgewichtes der Pflanze beträgt. Dieser Reichthum an Aschenbestandtheilen liess vermuthen, dass schon in dieser Entwickelungsperiode, in welcher das Wachsthum noch auf Kosten der in dem Samen aufgespeicherten Reservestoffe vor sich geht, die mineralischen Nährstoffe nothwendig sind. Diese Vermuthung lag um so näher, als dies für die Bohne bereits von Böhm constatirt wurde[1]; dieser gibt an, dass die Reservestoffe, welche in den Cotyledonen der Bohne angesammelt sind, nur dann zum Wachsthum vollständig verbraucht werden, wenn der Pflanze Mineralnahrungsstoffe, und namentlich Kalksalze, zu Gebote stehen. Der hohe Aschengehalt der *Raphanus*keimlinge liess also erwarten, dass auch hier etwas ähnliches vorkommt.

Für unsere Frage ist aber noch von besonderem Interesse die Thatsache, dass die Vertheilung der Aschenbestandtheile bei den grünen Pflanzen eine andere ist, als bei den etiolirten. Besonders deutlich treten diese Verschiedenheiten in den Cotyledonen hervor. Hier ist nicht nur der absolute Aschengehalt bei den grünen Pflänzchen vielfach grösser als bei den etiolirten, sondern auch der procentische Gehalt, sowohl der frischen als der getrockneten Substanz, an Aschenbestandtheilen bei den ersteren bedeutend grösser als bei den letzteren. Während die Trockensubstanz der etiolirten Cotyledonen nicht mehr als 6—8 Proc. Asche enthält,

[1] Böhm, Ueber den vegetabilischen Nährwerth des Kalkes. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien. B. LXXXI. 1875, S. 287.

erreicht der Aschengehalt der grünen Cotyledonen bis zu 20 Proc. der gesammten Trockensubstanz. Die hypocotylen Glieder enthalten wieder bei den etiolirten Pflänzchen absolut mehr Asche als bei den grünen. Der procentische Aschengehalt der Trockensubstanz der hypocotylen Glieder ist aber nicht immer bei den etiolirten Pflanzen grösser als bei den grünen.

Nach diesen Ergebnissen war es nicht unwahrscheinlich, dass die Etiolirungserscheinungen auch mit der ungleichen Vertheilung der Mineralnahrungsstoffe in den, im Lichte einerseits und in der Dunkelheit andererseits, vegetirenden Pflanzen, im Zusammenhange stehen. Aus diesem Grunde habe ich auch einige Versuche über die Bedeutung der Mineralnahrungsstoffe bei den ersten Entwickelungsstadien der *Raphanus*pflänzchen im Lichte und in der Dunkelheit angestellt. Möge hier ein Versuch angeführt werden.

Am 26. December wurden die *Raphanus*samen eingequellt und auf Fliesspapier ausgesäet. Nachdem dieselben hinlänglich lange Würzelchen getrieben hatten, wurden einige von ihnen in Nährstoffflüssikeit ($^1/_2$ pro Mille), andere in destillirtes Wasser gebracht, und einige ins Licht in kohlensäurefreie Atmosphäre, andere in die Dunkelheit gestellt. Am 8. Januar wurden die Pflänzchen geerntet. Die Untersuchung ergab umstehende Resultate.

Aus diesen Versuchen ist zu ersehen, dass bereits in den ersten Entwickelungsstadien der Pflänzchen in der Zeit, wo das Wachsthum noch auf Kosten der Reservestoffe des Samens vor sich geht, den Mineralnährstoffen eine hohe Bedeutung zukommt. Sowohl im Lichte als in der Dunkelheit blieben die Pflänzchen aus destillirtem Wasser in sämmtlichen Theilen[1] weit hinter denen aus Nährstoffflüssigkeit in der Entwickelung zurück.

Ob es, ähnlich wie nach Böhm's Angaben bei *Phaseolus*, auch hier ausschliesslich auf Kalksalze ankommt, habe ich bis jetzt nicht untersucht. Es ist nicht die Wanderung der Reservestoffe, die hier in so hohem Grade durch Mangel an Mineralnährstoffen beeinträchtigt zu sein scheint, vielmehr scheinen diejenigen Stoffumsatzprocesse, von welchen auch die Aufnahme von Organisationswasser bedingt wird, mit dem Vorhandensein gewisser Mi-

[1] Die Wurzeln waren in destillirtem Wasser etwas länger als in Nährstoffflüssigkeit; in dieser Hinsicht ist aber der obige Versuch nicht maassgebend, da in Folge dessen, dass ich es versäumte, die Nährflüssigkeit oft genug zu erneuern, die Wurzeln in ihm kränkelten.

Etiolirte Pflänzchen.

Samengewicht 13,58 Mgr., 3 Pflänzchen in Nährstofflösung, 3 in destillirtem Wasser. Durchschnittszahlen auf ein Pflänzchen berechnet.

Name des Pflanzentheils	Breite		Länge		Frisches Gewicht		Gewicht d. org. Trockensubstanz				Gewicht der Aschenbestandtheile					
							absolutes Gewicht		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		absolutes Gewicht		in Proc. des Gewichts der fr. Substanz		in Proc. des Gewichts der Trockensub.	
	Pflanzen aus Nährstofflösung	Pflanzen aus destillirtem Wasser	Pflanzen aus Nährstofflösung	Pflanzen aus destillirtem Wasser	Pflanzen aus Nährstofflösung	Pflanzen aus destillirtem Wasser	Pflanzen aus Nährstoffl.	Pflanzen aus dest. Wasser	Pflanzen aus Nährstoffl.	Pflanzen aus dest. Wasser	Pflanzen aus Nährstoffl.	Pflanzen aus dest. Wasser	Pflanzen aus Nährstoffl.	Pflanzen aus dest. Wasser	Pflanzen aus Nährstoffl.	Pflanzen aus dest. Wasser
Cotyledonen	9 7,3	7 6,3	5 4,8	4,3 3,5	33,5	22,7	4,7	4,5	14,0	19,8	0,40	0,33	1,2	1,2	7,8	6,0
Cotyledonarstiele			34,0 17,0	4,7 1,7	54,4	4,3	1,5	0,51	2,8	11,9	0,53		1,2		26,2	
Hypocotyles Glied			96	81 [1]	163,3	84,3	3,1	2,50	1,9	3,0	1,30	0,33	0,8	0,4	29,5	11,7
Wurzel			71	90	27,5	34,0	0,8	1,37	2,9	4,0	0,10	0,13	0,4	0,4	11,1	8,9
					278,7	145,3	10,10	8,88	3,6	6,1	2,33	0,79	0,8	0,54	18,8	8,9

Grüne Pflänzchen.

Samengewicht: 2 Samen zu 14,0 Mgr., 3 Samen zu 16,8 Mgr.

Die Pflänzchen aus den ersten (leichteren) in Nährstoffflüssigkeit, die aus den zweiten in destillirtem Wasser cultivirt.

Cotyledonen	13,3 11,8	10,3 10,0	7,5 6,5	5,7 5,3	77,0	52,3	5,40	5,53	7,0	10,6	1,25	0,33	1,6	0,63	18,9	5,9
Cotyledonarstiele			15,5 11,0	6,7 6,0	24,2	11,0	0,90	0,84	3,7	7,6	0,50	0,03	2,0	0,27	35,7	4,0
Hypocotyles Glied			26,0	13,7	44,0	22,3	1,35	1,47	3,1	6,6	0,75	0,10	1,7	0,45	36,0	6,3
Wurzel			46,0	67,3	46,0	43,0	1,75	1,70	3,8	4,0	0,25	0,17	0,54	0,39	12,5	9,0
Erstes Blatt	2,0	1,5	5,0	1,7	5,0	0,8	0,60		12,0							
					196,0	129,4	10,0	9,54	5,1	7,3	2,75	0,63	1,4	0,48	22,0	6,3

[1] Die hypocotylen Glieder waren bei den Pflänzchen aus destillirtem Wasser nicht nur kürzer, sondern auch bedeutend dünner als die der in Nährstofflösung vegetirenden Pflänzchen.

neralsalze in der Pflanze auf das innigste verknüpft zu sein. Wir sehen nämlich, dass sämmtliche Theile der Pflänzchen, welchen die Mineralnährstoffe zu Gebote standen, procentisch bedeutend wasserreicher sind als die entsprechenden Theile der Pflänzchen aus destillirtem Wasser. Wichtig wäre noch, wenn es sich bestätigen sollte, dass die in destillirtem Wasser vegetirenden Pflänzchen mehr von ihrer organischen Trockensubstanz durch Athmung verlieren, als die, welche in Nährstofffflüssigkeit wachsen.

Was die Etiolirungserscheinungen selbst anbetrifft, so ist aus den obigen Versuchen zu ersehen, dass, trotz der grossen Bedeutung der Mineralstoffe bei der Keimungsperiode unserer Pflänzchen, wir nicht in der anomalen Vertheilung der Mineralstoffe in den in der Dunkelheit vegetirenden Pflänzchen, die Ursache der Formänderung zu suchen haben. Wir sehen nämlich, dass der Gegensatz zwischen der Gestalt der Pflänzchen im Lichte und in der Dunkelheit bei den in destillirtem Wasser cultivirten Pflänzchen ein nicht geringerer ist, als bei denen, welche in Nährstofflösung oder im Boden vegetiren. Daraus ist zu folgern, dass die anomale Vertheilung der Mineralstoffe, welche wir bei den in der Dunkelheit vegetirenden *Raphanus*pflänzchen gefunden haben, nicht die Ursache, sondern erst die Folge der Etiolirungserscheinungen ist.

Gegenseitige Beeinflussung des Wachsthums verschiedener Organe.

Nachdem ich die Etiolirungserscheinungen näher präcisirt hatte, stellte ich mir folgende Frage zur Beantwortung auf:

Wirkt das Licht auf das Wachsthum der Cotyledonen (resp. Blätter) einerseits und der hypocotylen Glieder (resp. Stengel) andererseits unmittelbar und von einander unabhängig, oder verändert es unmittelbar nur das Wachsthum eines dieser Organe, was nun wieder das Wachsthum des anderen beeinflusst? Es wäre z. B. denkbar, dass die Ueberverlängerung des Stengels nur eine Folge der Verkümmerung der Blätter sei, da es begreiflich wäre, dass dadurch, dass die Blätter in der Dunkelheit nicht normal wachsen können, mehr Reservestoffe zum Wachsthum der Stengel übrig blieben, und ausserdem auch, bei geringerer Entwicke-

lung der transpirirenden Fläche, ein höherer Turgor in den Stengeln zu Stande käme, was nun alles das Wachsthum derselben beschleunigen könnte.

Eine andere Möglichkeit wäre die, dass die Verkümmerung der Cotyledonen (resp. Blätter) nur eine Folge der Ueberverlängerung des hypocotylen Gliedes (resp. Stengels) sei. In diesem Falle würde sich die unmittelbare Wirkung des Lichtmangels nur auf das Wachsthum des hypocotylen Gliedes erstrecken und die Verkümmerung der Cotyledonen wäre nur eine secundäre Erscheinung. Ich habe keinen Grund gefunden, mich a priori für die eine oder die andere dieser Möglichkeiten zu erklären, vielmehr habe ich vorgezogen, die Entscheidung dem Experimente zu überlassen. Die Methode des Versuchs war eine höchst einfache, nämlich folgende: Ich liess mehrere *Raphanus*samen im Nobbe'schen Keimapparate keimen, und, sobald sie die Würzelchen zu treiben begannen, trennte ich die Cotyledonen von den hypocotylen Gliedern ab, und liess sowohl die ersteren als die letzteren auf nassem Fliesspapier, theils im Lichte, theils in der Dunkelheit weiter wachsen[1]. Jetzt konnte natürlich von einer Beeinflussung des Wachsthums der Cotyledonen durch die hypocotylen Glieder, und vice versa keine Rede sein, da beide ja nicht mehr unter einander im Zusammenhange standen; und die beobachteten Unterschiede des Wachsthums konnten nur auf Rechnung der unmittelbaren Wirkung des Lichtes oder des Mangels desselben gesetzt werden. Der Versuch wurde am 22. Mai begonnen, indem ich die Cotyledonen und die hypocotylen Glieder (sammt den Würzelchen) von zehn Samen auf nasses Fliesspapier gelegt, und die eine Hälfte in Licht, die andere in die Dunkelheit stellte. Am 27. Mai, also nach fünftägigem Wachsthum, wurden die Messungen vorgenommen, deren Resultate ich in nachstehender Tabelle zusammenstelle.

Die Resultate sind schlagend, sie beweisen auf das bestimmteste, dass die Cotyledonen unabhängig von der Beeinflussung seitens der hypocotylen Glieder im Lichte weit stärker zu wachsen vermögen als in der Dunkelheit; dass also das Licht eine unmittelbare Bedingung des normalen Wachsthums der Cotyledonen ist. Ich will damit nicht behaupten, dass

[1] Auch diese Versuche wurden in kohlensäurefreier Atmosphäre angestellt.

unter allen Bedingungen (z. B. beim Wechsel von Tag und Nacht) das Wachsthum der Cotyledonen und Blätter im Lichte immer

Messungen.

	Cotyledonen				Hypocotyle Glieder		Wurzeln	
	Breite		Länge					
	Licht	Dunkelheit	Licht	Dunkelheit	Licht	Dunkelheit	Licht	Dunkelheit
1	10 9,5	8,3 7,2	5 4,5	4,5 3,5	9	27	33	23
2	10,5 9,5	8,3 6,5	5 4,5	5,3 4,0	10	32,5	32	25
3	9,7 9,0	7,5 6,5	5 4	4,2 3,5	8	35	25	37
4	9,5 8,3	7,5 6,5	4,6 4,5	4,3 3	7	24	26	25
5	9,5 8,3	7,3 7,3	4,5 4	4,1 4,0	8	28,5	30	25
Durchschnittszahl	9,38	7,29	4,56	4,08	8,4	29,4	29,2	27

Wägungen.

	Frisches Gewicht in Mgr.		Trockensubstanzgewicht in Mgr.		Trockensubstanz in Procenten des frischen Substanzgewichtes	
	Licht	Dunkelheit	Licht	Dunkelheit	Licht	Dunkelheit
10 Cotyledonen	161,0	119,0	32,2	32,2	20,0	27,9
5 Hypocotyle Glieder .	37,8	110,0	2,9	3,2	7,8	2,9
5 Wurzel	18,3	31,5	0,9	1,6	4,9	5,1

stärker wäre als in der Dunkelheit, nur will ich constatiren, dass die dauernde Finsterniss das Wachsthum der Cotyledonen verhindert.

Was die hypocotylen Glieder anbetrifft, so sehen wir, dass dieselben, mögen sie mit den Cotyledonen verbunden sein oder nicht, in der Dunkelheit stärker wachsen als im Lichte; die Dunkelheit begünstigt unmittelbar das Wachsthum der hypocotylen Glieder.

Diese Unterschiede in dem Wachsthum, im Lichte und in der Dunkelheit, beruhen zunächst darauf, dass die Cotyledo-

nen bei constanter Dunkelheit weniger, die hypocotylen Glieder mehr Organisationswasser aufnehmen, als sie es bei gewöhnlichem Wechsel von Tag und Nacht thun würden. Diese ganz einfache und leicht zu constatierende Thatsache wiederlegt eine kürzlich von C. Kraus aufgestellte Theorie [1], durch welche er das schwierige Problem der Etiolirungserscheinungen, ohne irgend welche beweiskräftige Versuche anzustellen, einfach an seinem Schreibtische gelöst zu haben glaubt. Herr C. Kraus sieht in der Ueberverlängerung des Stengels die einzige Ursache der Verkümmerung der Blätter in der Dunkelheit [2]. Er stellt als allgemeine Regel auf: »Lichtmangel befördert das Wachsthum eines jeden Organs; ob aber gerade dieses oder jenes Organ im Finstern auch wirklich wächst, hängt von der gegenseitigen Beeinflussung der Organe oder davon ab, welches Organ im normalen Entwickelungsgange einer Pflanze zuerst zu wachsen beginnt etc.« Dass diese mit grosser Bestimmtheit ausgesprochenen Anschauungen mit den eben beschriebenen Thatsachen im directen Widerspruche stehen, brauche ich nicht weiter zu beweisen.

Mit der Feststellung der unmittelbaren Lichtwirkung auf das Wachsthum der Cotyledonen einerseits und der hypocotylen Glieder andererseits ist aber die Möglichkeit der gegenseitigen Beeinflussung des Wachsthums dieser Organe nicht ausgeschlossen. Wir sind demnach noch die Antwort auf folgende zwei Fragen schuldig:

1. Hat die Ueberverlängerung des hypocotylen Gliedes bei Lichtmangel irgend einen Einfluss auf das Wachsthum der Cotyledonen?

2. Hat die Verkümmerung der Cotyledonen in der Dunkelheit ein stärkeres Wachsthum des hypocotylen Gliedes zur Folge?

Die Feststellung dieser Fragen wird uns belehren, ob die Formänderung der etiolirenden Pflanzen ausschliesslich durch die

[1] Flora 1878.

[2] Dieser Gedanke ist nicht neu, eine ähnliche Anschauung wurde schon früher von Rzentkowski in einer Abhandlung »Przyczynek do fizjologji blaszek liściowych roślin dwuliściennych wypłonionych« Warszawa 1875, ausgesprochen. Rzentkowski hat sogar diese Anschauung durch gewisse Experimente zu begründen gesucht. Ein Referat hierüber Botan. Jahresbericht 1875.

unmittelbare Wirkung des Lichtmangels auf die einzelnen Organe bedingt ist, oder ob dabei auch die gegenseitige Beeinflussung des Wachsthums dieser Organe mit einwirkt. Zur Lösung dieser Frage wurde folgendes Experiment angestellt.

Am 21. Juni säete ich 12 eingequellte *Raphanus*samen in zwei Töpfchen (sechs Samen in jeden Topf) und stellte dieselben in einen dunkeln Schrank. Nachdem die hypocotylen Glieder eine Länge von 25—35 Mm. erreicht hatten, stellte ich die Töpfchen in eine kohlensäurefreie Atmosphäre ans Licht, nachdem ich zuvor bei zwei Pflänzchen die Cotyledonen allein, bei vier Pflänzchen die hypocotylen Glieder allein verdunkelt hatte; ein Pflänzchen wurde der schlechten Entwickelung wegen beseitigt; die fünf übrigen wurden frei gelassen, sie waren also von nun an gänzlich dem Lichte ausgesetzt. Zur Verdunkelung der Cotyledonen brachte ich über dieselben ein allseitig schliessendes, aus inwendig schwarzem Papier gefertigtes Kästchen. Dieses Kästchen hing an einem Faden, welcher über ein Röllchen lief und mit einem kleinen Gewichte beschwert ward. Wenn nun das hypocotyle Glied sich strecte, wurde auch das Kästchen gehoben, so dass immer nur die Cotyledonen in der Dunkelheit verweilten, während das hypocotyle Glied stets dem Lichte ausgesetzt war.

Die hypocotylen Glieder verdunkelte ich wieder mittels kleiner Papierrörchen mit schwarzer Innenfläche. Diese Röhrchen waren doppelt und das Innere liess sich aus dem äusseren wie Theile eines Fernrohrs ausschieben. Von Zeit zu Zeit wurden die inneren Röhrchen aus den äusseren hervorgeschoben, um die durch Zuwachs ans Licht getretenen Theile der Hypocotylen wieder zu verdunkeln. Die oberen Oeffnungen der Röhrchen waren selbstverständlich mittels schwarzem Papier bedeckt. Am 26. Juni um 9 Uhr früh wurden die Pflänzchen geerntet. Die Messungen und Wägungen ergaben folgendes Durchschnittsresultat (siehe die Tabelle S. 292 u. 293).

Aus dieser Tabelle sehen wir, dass die alleinige Verdunkelung der Cotyledonen eine starke Beeinträchtigung des Wachsthums derselben zur Folge hat. Diese Thatsache (welche wieder mit der C. Kraus'schen Erklärung der Etiolirungserscheinungen unvereinbar ist) bestätigt unsere frühere Folgerung, dass der Lichtmangel die Verkümmerung der Cotyledonen unmittelbar verursacht. Andererseits aber sehen wir, dass diese verdunkelten Cotyledonen,

obgleich sie fast gänzlich gelb geblieben (sie waren nur an der Basis ein bischen ergrünt), doch grösser waren, als die Cotyledonen der vollständig etiolierten Pflänzchen. Daraus ist zu folgern, dass die Wirkung des Lichtes auf das hypocotyle Glied auch nicht ohne Einfluss auf das Wachsthum der Cotyledonen ist. Die hypocotylen Glieder wieder waren bei den Pflänzchen mit verfinsterten Cotyledonen grösser, als bei denen, welche gänzlich dem Lichte ausgesetzt waren; darnach wäre wieder ein Einfluss der Verkümmerung der Cotyledonen auf das Längerwerden des hypocotylen Gliedes anzunehmen[1].

Aus unserer Tabelle ist weiter zu ersehen, dass die alleinige Verfinsterung der hypocotylen Glieder eine bedeutende Steigerung des Längenwachsthums derselben zur Folge hatte; nebendem waren auch die Cotyledonen der Pflänzchen mit verdunkelten Hypocotylen etwas kleiner, als die der gänzlich dem Lichte ausgesetzten Exemplare. Darnach ist zu folgern, dass die Ueberverlängerung des hypocotylen Gliedes auf das Kleinerbleiben der Cotyledonen in der That mit einwirkt; dass sie aber nicht, wie es C. Kraus haben wollte, die alleinige Ursache, sondern nur ein untergeordneter Nebenumstand bei der Verkümmerung der Cotyledonen in der Dunkelheit ist[2].

Nach allen diesen Erfahrungen können wir die Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum unseres *Raphanus*pflänzchens folgendermaassen zusammenfassen. Das Licht wirkt unmittelbar auf das Wachsthum der Cotyledonen einerseits und des hypocotylen Gliedes andererseits, ausserdem aber hat die stärkere Entwickelung eines dieser Organe die Schwächung des Wachsthums des anderen und vice versa zu Folge. Beständiger Lichtmangel ruft eine stärkere Entwickelung des hypocotylen Gliedes hervor, was be-

[1] Dieses Resultat ist mir nicht ganz zweifellos, da die bezüglichen Durchschnittszahlen Ergebnisse von nur zwei Messungen sind, und ausserdem scheint mir die Möglichkeit, dass eine theilweise Beschattung der Hypocotylen durch die Kästchen mit einwirkte, nicht ausgeschlossen zu sein.

[2] Aehnliche Versuche hat bereits Rzentkowski l. c. S. 21 mit *Phaseolus* angestellt. Er fand, dass, wenn man die Blattspreite dieser Pflanze allein etioliren lässt, dieselbe grösser wird, als dann, wenn das ganze Internodium sammt den Blättern etiolirt wird. In dieser Thatsache sah er den Beweis für die Richtigkeit seiner mit der C. Kraus'schen identischen Auffassung,, dass die Verkümmerung der Blätter eine Folge der Ueberverlängerung des Stengels ist.

reits eine Schwächung des Wachsthums der Cotyledonen zur Folge hat; ausserdem aber verhindert dieser Lichtmangel auch das Wachsthum der Cotyledonen, was wieder ein noch stärkeres Wachsthum des hypocotylen Gliedes verursacht. Somit ist die Endgestalt des etiolirten *Raphanus*keimlings ein Resultat des unmittelbaren Einflusses des Lichtmangels auf das Wachsthum einzelner Organe des Pflänzchens und der gegenseitigen Beeinflussung des Wachsthums dieser Organe. In wie weit sich dieses Ergebniss auch auf andere Pflanzen übertragen lässt, müssen erst weitere Untersuchungen entscheiden.

Allgemeine Betrachtungen.

Wir haben oben festgestellt, dass die Wirkung des Lichtes oder des Lichtmangels auf das Wachsthum einzelner Pflanzenorgane eine mittelbare und unmittelbare ist, dass die erstere in der gegenseitigen Beeinflussung der Organe, die letztere in dem Einflusse, welchen das Licht auf die Aufnahme des Organisationswassers durch verschiedene Pflanzentheile ausübt, zu suchen ist; wir haben constatirt, dass die Cotyledonen und Blätter weniger, die hypocotylen Glieder und Stengel mehr Organisationswasser in der Dunkelheit als im Lichte aufnehmen, und dass im Folge dessen in constanter Dunkelheit die ersteren schwächer, die letzteren stärker wachsen als dann, wenn in gewohnter Weise Tag und Nacht nach einander folgen. So weit die Thatsachen. Fragen wir nun, wo ist der Grund dieses Gegensatzes? warum wirkt das Licht auf die Cotyledonen und Blätter anders als auf hypocotyle Glieder und Stengel? so verlassen wir bald den sichern Boden der Thatsachen und sind von nun an auf Hypothesen angewiesen. Ohne auf die endgültige und sichere Feststellung dieser schwierigen Frage irgend einen Anspruch zu machen, will ich doch darüber einige Vermuthungen aussprechen, die vielleicht einiger Wahrscheinlichkeit nicht entbehren werden. Die erste Frage, welche wir uns bei diesen Betrachtungen zu stellen haben, ist die: In welcher Weise können überhaupt die äusseren Kräfte das Wachsthum der Pflanzenorgane beeinflussen? Da das Wachsthum ganzer Organe durch Wachsthum und Vermehrung einzelner Zellen bedingt ist, so müssen wir vor Allem diese Frage in Bezug auf eine einzige Zelle zu beantworten suchen.

Das Wachsthum einer Zelle können wir uns folgender Weise vorstellen: Wir wissen, dass nur solche Zellen wachsen, welche turgesciren. Als Turgor bezeichnen wir die zwischen der Zellhaut und dem Zellinhalte stattfindende Spannung. Bei sehr jungen Zellen ist diese Spannung eine Folge der Imbibition, welche beim

Name des Pflanzentheils	Breite			Länge			Gewicht der frischen Substanz in Mgr.		
	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte
Cotyledonen	10,5 9,5	12 11,8	13,5 12,3	6,0 6,0	7,5 7,1	7,8 7,8	38,7	52,3	60,5
Cotyledonarstiele				14,0 9,5	8,2 5,2	10,8 7,2	17,7	9,6	13,8
Hypocotyles Glied				61,0	80,0	53,4	108,0	113,6	66,0
Wurzel					93,0	103,0		26,0	38,3
Ganzes Pflänzchen								191,5	178,6

Protoplasma stärker als bei der Zellhaut ist. In Folge dieser Spannung wird die Zellhaut durch das Protoplasma gedehnt. In etwas älteren Zellen tritt im Protoplasma Zellsaft auf. Durch die endosmotische Wirkung dieses Zellsaftes wird von aussen das Wasser aufgenommen, die Menge des Zellsaftes vergrössert sich, wodurch ein Druck auf das ihn umgebende Protoplasma ausgeübt wird. Dieser Druck pflanzt sich durch das Protoplasma auf die Zellhaut fort, so dass jetzt der Turgor nicht nur durch die Imbibitionsfähigkeit des Protoplasmas, sondern auch durch die endosmotische Wirkung des Zellsaftes hervorgerufen wird. Diese endosmotischen Wirkungen des Zellsaftes treten in den Spannungsverhältnissen der Zelle immer mehr in Vordergrund, so dass in etwas älteren Zellen der Turgor ausschliesslich durch dieselben bedingt wird, das Protoplasma leitet nun nur den Druck, welchen es von dem Zellsafte erleidet, auf die Zellhaut fort. Jetzt können wir uns die mit Protoplasma ausgekleidete Zellhaut als ein zu-

sammengesetztes System vorstellen, das durch die endosmotische Kraft des Zellsaftes gespannt und gedehnt wird. Beide Theile dieses Systems, sowohl die Zellhaut selbst, als deren protoplasmatischer Wandbeleg sind unerlässlich, damit ein höherer Turgor sich in der Zelle entwickeln könne. Ohne Bekleidung der Zellhaut

Gewicht der organischen Trockensubstanz						Gewicht der Aschenbestandtheile								
in Mgr.			in Procenten des Gewichts der frischen Substanz			in Mgr.			in Procenten des Gewichts der frischen Substanz			in Procenten des Gewichts der Trockensubstanz		
Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte	Cotyledonen verdunkelt	Hypocotylen verdunkelt	Ganzes Pflänzchen am Lichte
3,35	3,53	3,60	8,7	6,7	5,9	0,50	0,62	0,72	1,3	1,16	1,2	13,8	16,7	16,6
0,95	0,51	0,62	5,3	5,3	4,5	0,20	0,17	0,10	1,13	1,7	0,75	17,7	24,5	14,0
2,70	2,75	1,92	2,5	2,4	2,8	1,05	1,12	0,78	1,0	1,0	1,2	28,0	29,0	28,0
	0,75	0,86		2,9	2,3		0,37	0,24		1,42	0,63		33,0	22,0
	7,54	7,0		3,9	3,7		2,08	1,84		1,09	1,0		23,6	21,0

durch den Beleg aus lebendigem Protoplasma könnte die Zelle nicht stärker turgesciren, weil die Zellhaut einen zu geringen Filtrationswiderstand besitzt, ohne Zellhaut wieder müsste das Protoplasma durch den Turgor zerrissen werden. Durch diesen Turgor wird die Zellhaut sammt dem protoplasmatischen Wandbeleg so weit gedehnt, bis die Elasticitätsspannung des gespannten Systems der endosmotischen Kraft des Zellsaftes das Gleichgewicht hält; diese Dehnung können wir als das erste wesentliche Moment bei dem Wachsthum der Zelle betrachten. Die Elasticitätsspannung der durch den Turgor gespannten Schichten wird nun aber durch Einlagerung neuer fester Molecüle, durch Wachsthum, Umlagerung und neue Gruppirung der schon vorhandenen und endlich durch die Aufnahme einer grösseren Menge von Organisationswasser zwischen die festen Molecüle nach und nach ausgeglichen. Diese Ausgleichung der Elasticitätsspannung der mit Plasma ausgekleideten und durch den Turgor gedehnten Zell-

haut, bildet das zweite Moment bei dem Wachsthum der Zelle. Durch die Spannungsausgleichung wird eine neue Dehnung der gespannten Schichten durch den Turgor ermöglicht, wonach abermals die Spannungsausgleichung, dann wieder Dehnung u. s. w. nach einander folgen. Die Processe, welche die Spannungsausgleichung bei dem Wachsthum bewirken, sind uns im einzelnen am wenigsten bekannt und die Aufklärung derselben bietet die schwierigste Aufgabe einer jeden Wachsthumstheorie [1].

[1] Traube glaubt diese schwierige Aufgabe durch die Herstellung seiner anorganischen Zellbläschen gelöst zu haben; die organischen geschlossenen Cellulosehäute sind nach ihm, in Bezug auf Entstehung, Verlauf und Form des Wachsthums, so gleichartig mit den anorganischen Zellbläschen, »wie es die verschiedenen anorganischen Zellbläschen unter einander sind« (Bot. Ztg. 1878 S. 699). Die Zellhaut soll also ganz wie die Membran eines anorganischen Zellbläschens eine Niederschlagsmembran sein. Protoplasma soll hier den inneren, Sauerstoff den äusseren Membranbildner darstellen. In dieser Erklärung der Zellhautbildung sieht Traube den Schwerpunkt seiner Wachsthumstheorie (l. c. S. 692). Ich will die hohe Bedeutung der anorganischen Zellbläschen Traube's für die Pflanzenphysiologie im Allgemeinen, und für die Wachsthumstheorie im Besonderen, nicht im mindesten bestreiten; doch muss ich hervorheben, dass der Schwerpunkt seiner Theorie mit den einfachsten physiologischen Thatsachen unvereinbar ist. Herr Tr. wird ja zugeben, dass das Wachsthum seiner anorganischen Zellbläschen nur dadurch möglich ist, dass die Niederschlagsmembran für beide Zellstoffbildner undurchdringbar ist; wollte er aber behaupten, dass auch die Pflanzenmembran für den Sauerstoff undurchdringbar ist? Wenn so, wie ist dann überhaupt die Athmung möglich? Glaubt denn Herr Tr. dass die Athmung sich blos auf der äussersten Oberfläche des Protoplasmas vollzieht, und dass der Sauerstoff sich nicht weiter auf Protoplasmatheilchen vertheilt? Die Athmung ist ja nicht nur für das Wachsthum, sondern auch für andere Lebenserscheinungen nothwendig. Herr Tr. muss ja wissen, dass z. B. die Protoplasmaströmungen in der Zelle aufhören, dass die Reizbarkeit der beweglichen Organe erlischt, wenn der Sauerstoffzutritt ausgeschlossen wird. Uebrigens irrt Herr Tr., wenn er meint, die Zelle athmet nur so lange sie wächst (l. c. S. 685), da es wohl bekannt ist, dass die Zelle athmet so lange wie sie lebt, und es ist anzunehmen, dass, abgesehen von den Ausnahmefällen, der Sauerstoff zu jedem Theilchen des Protoplasmas gelangt. Wollte aber Herr Tr. die Richtigkeit dieser Annahme nicht zugeben, so möchte ich ihn fragen, wie er sich die Sauerstoffausscheidung in dem Assimilationsprocesse vorstellt. Wenn die Zellhaut für Sauerstoff undurchdringbar ist, wie kann derselbe aus den grünen Zellen nach aussen austreten? wenn weiter in den Chlorophyllkörnern, also im Innern des Protoplasmas einer grünen Zelle immerfort (wenn nur das Licht wirkt) Sauerstoff entwickelt wird, wie ist es möglich, dass alles, was als Cellulose niedergeschlagen werden

Nach dieser Vorstellungsweise, welche mit der von Sachs gegebenen[1] fast identisch ist, können wir bei dem Wachsthum der Zelle zwei wesentliche Momente unterscheiden:

1. Die Dehnung der mit Plasma ausgekleideten Zellhaut durch den Turgor.

2. Die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Theile durch weitere Wachsthumsvorgänge.

Nach dieser Unterscheidung ist es ersichtlich, dass die äusseren Kräfte in doppelter Weise auf das Wachsthum der Zelle einwirken können: sie beeinflussen entweder das erste oder das zweite Moment des Wachsthums. Wenn durch irgend eine Kraft die Dehnung der gespannten Schichten gesteigert, oder die Ausgleichung der Spannung beschleunigt wird, so wird diese Kraft auch das Wachsthum der Zelle begünstigen; wenn dagegen die Dehnung der Zellhaut durch eine Kraft vermindert, oder die Spannungsausgleichung verlangsamt wird, so muss diese Kraft eine retardirende Wirkung auf das Wachsthum der Zelle ausüben.

Wie können nun die beiden Wachsthumsmomente von verschiedenen Kräften beeinflusst werden?

1. Die Dehnung der gespannten Schichten kann auf dreierlei Weise gesteigert oder vermindert werden:

a) Durch Vergrösserung oder Verminderung der spannenden Kräfte.

b) Durch Vergrösserung oder Verminderung des Filtrationswiderstandes der mit Plasma ausgekleideten Zellhaut; da durch die Grösse dieses Filtrationswiderstandes dem höchsten erreichbaren Turgor der Zelle eine Grenze gesetzt wird.

c) Durch Veränderung der Dehnbarkeit der gespannten Schichten.

Die spannenden Kräfte, wie wir sie bei den einzelnen Zellen kennen gelernt haben, sind Imbibition und endosmotische Kräfte.

---

kann, sich nicht sofort als solche im Innern der Zelle niederschlägt? Ich frage nun, wie ist unter diesen Verhältnissen das Wachsthum einer grünen Zelle durch Tr.'s Niederschlagstheorie zu erklären? Es liessen sich noch weitere Thatsachen, welche mit Tr.'s Theorie nicht in Einklang zu bringen sind, anführen, doch hoffe ich, dass die mitgetheilten Bemerkungen hinreichend sind, um zu beweisen, dass das Flächenwachsthum der Zellhaut nicht so ganz u. gar mit dem Wachsthum der anorganischen Zellbläschen identisch ist, und dass sich also doch gegen die Wachsthumstheorie des Herrn Tr. etwas Stichhaltiges anbringen lässt.

[1] Sachs, Lehrbuch der Botanik. IV. Aufl. S. 762.

Wenn die Zellen im Gewebe verbunden sind, so kommt noch die Gewebespannung hinzu, welche, je nach der Lage der Zelle, bald in derselben, bald in entgegengesetzter Richtung der erstgenannten Kräfte wirkt. Der Filtrationswiderstand der gespannten Schichten ist hauptsächlich durch einen gewissen Molecularzustand des Protoplasmaschlauches bedingt. Die Dehnbarkeit der gespannten Schichten endlich wird durch die Dicke und Eigenschaften der Zellhaut selbst, sowie durch Dicke, Consistenz und Verschiebbarkeit der Molecüle des die Zellhaut bekleidenden Protoplasmaschlauches bedingt.

Nach diesen Erörterungen ist es klar, dass die Dehnung der gespannten Schichten der Zelle auf sehr verschiedene Weise gesteigert oder vermindert werden kann. So kann z. B. die Dehnung gesteigert werden:

α) durch Vergrösserung der Imbibitionsfähigkeit des Protoplasmas,

β) durch Vergrösserung der endosmotischen Kräfte des Zellsaftes,

γ) durch Vergrösserung des Filtrationswiderstandes der gespannten Schichten,

δ) durch Vergrösserung oder Verminderung (je nach der Lage der Zelle) der Gewebespannung,

ε) durch Verhinderung der Verdickung, Verholzung, Cuticularisirung etc. der Zellhaut,

ζ) durch Dünnerwerden des Protoplasmaschlauches, sowie durch die Steigerung der Verschiebbarkeit seiner Molecüle,

η) durch Temperaturerhöhung.

2. Die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gespannten Schichten ist wieder vom Vorhandensein der Baustoffmaterialien und der zu ihren chemischen Umsetzungen nöthigen Kräfte, sowie auch vom Vorhandensein derjenigen Kräfte abhängig, welche die Einlagerung neuer fester Molecüle und des Organisationswassers in die gedehnten Schichten möglich machen. Es ist nun anzunehmen, dass diese Kräfte zum grössten Theil durch Athmung entwickelt werden, und dass eben aus diesem Grunde der Sauerstoffzutritt für das Wachsthum der Zelle unentbehrlich ist.

Demzufolge kann das zweite Moment des Wachsthums beschleunigt oder verlangsamt werden:

α) durch reicheres oder geringeres Vorhandensein der Bau-

stoffmaterialien, also auch durch Bedingungen, von welchen die Bildung und die Wanderung derselben abhängen,

β) durch Temperaturänderungen,

γ) durch reicheren oder geringeren Sauerstoffzutritt,

δ) durch sonstige Bedingungen (z. B. Vorhandensein gewisser Mineralstoffe etc.), von welchen der chemische Stoffwechsel und die Molecularvorgänge in der Zelle abhängen.

Wir sehen demnach, dass das Wachsthum einer Zelle und also eines Pflanzenorgans auf sehr verschiedene Weise beschleunigt werden kann. Daraus ist nun zu folgern, dass eine und dieselbe Kraft, je nach den Umständen, das Wachsthum bald beschleunigen, bald retardiren kann; denn eine und dieselbe Kraft kann die beiden Wachsthumsmomente in verschiedenster Weise beeinflussen und das Endresultat kann bald in dieser, bald in jener Richtung ausfallen. So ist z. B. möglich, dass eine Kraft den Turgor der Zelle steigert, dass sie aber die Dehnbarkeit der gespannten Schichten vermindert; es ist also klar, dass durch diese Kraft die Dehnung der gespannten Schichten, je nachdem eine ihrer Wirkungen überwiegt, bald gesteigert, bald vermindert werden kann, wodurch auch das Wachsthum entweder beschleunigt oder retardirt wird. In der That wissen wir, dass solche ganz entgegengesetzte Wirkungen einer und derselben Kraft auf das Wachsthum wirklich bestehen, und die Wirkungen des Lichtes, welche wir nun näher zu besprechen haben, liefern uns dafür treffliche Beispiele.

Die Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzenorgane ist eine doppelte:

1. eine retardirende Wirkung,
2. eine begünstigende Wirkung.

Wir wollen diese beiden Wirkungen nun näher ins Auge fassen, um damit den Weg zur Erklärung der Etiolirungserscheinungen betreten zu können.

1. Wachsthumretardirende Lichtwirkungen.

Die grosse Verbreitung der das Wachsthum der Pflanzenorgane retardirenden Lichtwirkungen ist jedem Botaniker sehr wohl bekannt. Der Unterschied in der Stengellänge der im Lichte und in der Dunkelheit wachsenden Pflanzen bildet hier nur ein am

meisten augenfälliges Beispiel, aber auch bei gewöhnlichem Wechsel von Tag und Nacht macht sich die retardirende Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum einzelner Internodien sehr anschaulich geltend. Es ist bekannt, dass bei diesem Wechsel das Wachsthum der Internodien nicht gleichförmig verläuft, sondern dass eine periodische Steigung und Verlangsamung der Wachsthumsgeschwindigkeit sich geltend macht. Diese sogenannte tägliche Wachsthumsperiode ist, wie Sachs nachgewiesen hat[1], durch die retardirende Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum hervorgerufen. Nicht nur die Internodien, sondern auch die Blätter unterliegen dieser retardirenden Lichtwirkung, wie dies bereits Prantl's Messungen[2] gezeigt haben und wie es vor Kurzem durch Vines[3] mit voller Bestimmtheit nachgewiesen worden ist. Auch bei dem Wachsthum einzelliger Organe wurde dieser retardirende Lichteinfluss beobachtet. Brefeld[4] zeigte, dass, während die Fruchtträger von *Pilobolus microsporus* im Lichte eine Höhe von nur $^1/_2$ Zoll annehmen, sie in constanter Finsterniss die Länge von 8—10 Zoll erreichen, wobei aber die Sporangienbildung unterbleibt. Vines[5] hat die Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum der Sporangienträger von *Phycomyces nitens* einer eingehenden Untersuchung unterworfen und gefunden, dass sogar sehr kurzdauernde ($^1/_2$—1 Stunde) Lichtwirkung sofort eine Verminderung der Wachsthumsgeschwindigkeit dieser Organe zur Folge hat. Auch die Erscheinungen des positiven Heliotropismus, sowohl der einzelligen als der vielzelligen Organe, ist diesem wachsthumretardirenden Einflusse des Lichtes zuzuschreiben. Wie sind nun diese retardirenden Wirkungen des Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzenorgane zu erklären?

In wie weit das Licht, abgesehen von der Wirkung auf Assimilation, unmittelbar die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gespannten Schichten in der Zelle beeinflussen kann, darüber wissen wir nichts, doch ist es wenig wahrscheinlich, dass die

[1] Sachs, Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. Band I. Heft 2.

[2] Prantl, Daselbst. Band I. Heft 3.

[3] Vines, Daselbst. Band II. Heft 1.

[4] Brefeld, Ueber die Bedeutung des Lichtes für die Entwickelung der Pilze. Separat-Abdruck aus Sitzb. der Ges. naturf. Freunde zu Berlin. 1877. S. 3.

[5] Vines, The Influence of Light upon the Growth of unicellular Organs. Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. Bd. II. S. 133.

Ursache der Retardation des Wachsthums durch das Licht hier zu suchen sei, dagegen haben wir viele Anhaltspunkte zur Behauptung, dass das Licht auf das erste Wachsthumsmoment der Zelle, d. h. auf die Dehnung der gespannten Schichten eine hervorragende Wirkung ausübt. Diese Dehnung könnte durch das Licht geringer gemacht werden dadurch, dass die Lichtwirkung entweder den Turgor der Zelle oder die Dehnbarkeit der gespannten Schichten verminderte. Die sehr verbreitete Erscheinung des positiven Heliotropismus einzelliger Organe, die ja nicht anders denn, als Folgen einer einseitigen Wachsthumsretardation dieser Organe durch das Licht aufzufassen ist, wäre aber unverständlich, wenn man annehmen wollte, dass diese retardirende Lichtwirkung durch Verminderung des Turgors durch das Licht hervorgerufen wird. Die Erklärung dieser und sämmtlicher anderer wachsthumretardirender Lichtwirkungen wird viel leichter gelingen, wenn wir annehmen, dass das Licht die Dehnbarkeit der gespannten Schichten in der Zelle vermindert. Bei einer einseitigen Beleuchtung wird die Dehnbarkeit der stärker beleuchteten Seite mehr als die der anderen beeinträchtigt, und in Folge dessen muss beim Wachsthum eine Krümmung erfolgen. Es bleibt aber noch fraglich, ob die Verminderung der Dehnbarkeit der Zellhaut selbst oder deren protoplasmatischer Bekleidung die Ursache der Retardation des Wachsthums durch das Licht ist. Vines zeigte, wie oben erwähnt, dass die retardirende Wirkung des Lichtes sich bei *Phycomyces nitens* schon nach einer sehr kurz dauernden Beleuchtung ($^1/_2$ Stunde) zeigt, daraus folgert er, dass das Licht nicht die Dehnbarkeit der Zellhaut, sondern die Beweglichkeit der Molecüle des Protoplasmaschlauches vermindert und dass die Retardation des Wachsthums eine Folge dieser Wirkung des Lichtes auf das Protoplasma ist. Ich kann Vines nur beistimmen, wenn er sagt, dass es schwer anzunehmen ist, dass die Verdickung der Zellhaut durch die Beleuchtung so schnell vor sich ginge, dass sie schon nach einer halbstündigen Beleuchtung eine Retardation des Wachsthums verursache; andererseits scheint es mir aber nicht geeignet, sämmtliche Erscheinungen der retardirenden Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum der Pflanzen durch die Verminderung der Beweglichkeit der Plasmamolecüle erklären zu wollen. Gegen eine solche Annahme scheint mir schon der Gang der täglichen Wachsthumsperiode zu sprechen, da bei

diesem, wie bekannt, keine plötzliche, sondern nur ganz allmähliche Veränderungen der Wachsthumsgeschwindigkeit zu beobachten sind. Die Wirkungen des Lichtes auf Protoplasma erfolgen verhältnissmässig rasch, so sind z. B. die durch Licht hervorgerufenen Bewegungen des Myxomycetenprotoplasmas nach einer Stunde bereits vollendet[1]; wenn also das Licht ausschliesslich durch die Verminderung der Beweglichkeit der Plasmamolecüle die Verlangsamung des Wachsthums bewirkte, so wäre vielleicht zu erwarten, dass die durch Licht verursachten Veränderungen der Wachsthumsgeschwindigkeit ziemlich plötzlich erfolgen. Nun ist dem aber nicht so. Die Wachsthumscurve sinkt während des Tages ganz allmählich gegen die Abscissenaxe herab, um dann wieder während der Nacht ebenso allmählich zu steigen. Die Erscheinungen der täglichen Wachsthumsperiode sind aber leicht verständlich, wenn man annimmt, dass nicht nur die Beweglichkeit der Plasmamolecüle, sondern auch die Dehnbarkeit der Zellhaut selbst durch das Licht vermindert wird. Dass schon eine kurzdauernde Beleuchtung eine Retardation des Wachsthums zur Folge hat, das wäre als Resultat der verminderten Beweglichkeit von Plasmamolecülen zu betrachten, dass aber bei fortdauernder Beleuchtung das Wachsthum immer mehr retardirt wird, das müsste man dadurch, dass unter dem Lichteinflusse die Dehnbarkeit der Zellhaut immer mehr abnimmt, zu erklären suchen. Beim Eintritt der Nacht wird zunächst die Dehnbarkeit der gespannten Schichten dadurch gesteigert, dass der protoplasmatische Wandbeleg seine frühere Dehnbarkeit erlangt, die Dehnbarkeit der Zellhaut wird aber erst nach und nach durch das Wachsthum in der Dunkelheit wieder hergestellt, und so ist es begreiflich, dass die Wachsthumsgeschwindigkeit, welche das wachsende Organ vor dem Eintritt der Lichtwirkung hatte, nicht sofort, wenn das Licht entzogen wird, sondern ganz allmählich, nach und nach, erreicht wird.

Die von uns angenommene Wirkung des Lichtes auf die Verminderung der Dehnbarkeit der Zellhaut ist keine nur hypothetische Voraussetzung, im Gegentheil, sie ist eine experimentell

[1] Baranetzky, Influence de la lumière sur les Plasmodia des Myxomycètes. Memoires de la Société nationale des Sciences naturelles de Cherbourg. T. XIX. p. 328.

festgestellte Thatsache. G. Kraus[1] hat nachgewiesen, dass die Stengel der etiolirten Pflanzen sich durch sehr schwache Verdickung der Zellhäute der Collenchym-, Holz- und Bastzellen von den Stengeln der grünen Pflanzen auszeichnen, und diese Angaben von Kraus wurden auch vor Kurzem an vielen Pflanzen durch die Untersuchungen Rauwenhoff's[2] vollkommen bestätigt. Mag nun diese stärkere Verdickung der Zellhäute am Lichte eine unmittelbare oder eine mittelbare Folge des Lichteinflusses sein, so kann sie doch, einmal vorhanden, unmöglich ohne Einfluss auf das weitere Wachsthum des Pflanzenorgans sein, und ich muss Kraus und Rauwenhoff nur beistimmen, wenn sie in dieser geringeren Erstarrung der peripherischen Gewebe die Hauptursache der Ueberverlängerung der etiolirten Stengel sehen. Um uns von dieser Ueberverlängerung Rechenschaft zu geben, brauchen wir uns nur darauf zu berufen, was wir über das nächtliche Steigen der Wachsthumsgeschwindigkeit gesagt haben. Wir haben angenommen, dass beim Eintritt der Nacht zunächst die Beweglichkeit der Plasmamolecüle, bei weiterem Wachsthum auch die Dehnbarkeit der Zellhaut gesteigert wird, und dass in Folge dessen das Wachsthum des Internodiums immer mehr an Geschwindigkeit zunimmt. Wenn nun in Folge der dauernden Finsterniss die Dehnbarkeit der gespannten Schichten nicht wieder vermindert wird, so steigt die Wachsthumsgeschwindigkeit weiter und erreicht eine Grösse, wie sie bei gewöhnlichem Wechsel von Tag und Nacht nicht vorkommt. Da die Erstarrung der Gewebe in der Dunkelheit unterbleibt, so wird auch die grosse Wachsthumsperiode des Internodiums später abgeschlossen[3], sein Wachs-

[1] Kraus, l. c. p. 232.

[2] Rauwenhoff, Sur les causes des formes anomales des plantes qui croîssent dans l'obscurité. Ann. des sc. nat. Bot. Sér. VI. T. V.

[3] Die grosse Wachsthumsperiode einer Zelle wird am leichtesten folgender Weise erklärt: so lange die Dehnung der Zellhaut durch Imbibition des Protoplasmas bedingt wird, kann das Wachsthum nur sehr langsam vor sich gehen; je mehr die endosmotischen Kräfte zur Wirkung gelangen, desto stärker wird die Zellhaut gedehnt, desto schneller wird auch die Zelle wachsen. Bei weiterem Wachsthum aber fängt die Zellhaut an sich zu verdicken und sogar oft chemisch zu verändern, dadurch wird ihre Dehnbarkeit immer mehr vermindert und in Folge dessen, muss auch die Wachsthumsgeschwindigkeit der Zelle immer geringer werden. In manchen Fällen kann die absteigende Wachsthumsperiode auch dadurch bedingt werden, dass in

thum dauert länger, als wenn die Pflanze dem Lichte ausgesetzt wurde. Wenn nun also das Wachsthum der etiolirten Stengel schneller vor sich geht und ausserdem noch länger dauert als das der grünen, so versteht sich von selbst, dass diese Stengel auch eine abnorme Länge erreichen müssen. G. Kraus gibt nun aber an, dass nur solche Internodien in der Dunkelheit eine abnorme Länge erreichen, in welchen zwischen den äusseren und inneren Geweben eine hohe Spannung stattfindet. Einerseits aber hat Rauwenhoff vor Kurzem nachgewiesen, dass diese Angaben von Kraus nicht immer zutreffend sind, und anderseits ist es auch leicht zu verstehen, dass eine starke Gewebespannung in den Internodien die Ueberverlängerung derselben in der Dunkelheit begünstigen muss. Wenn nämlich ein nicht gespanntes Organ sich in der Dunkelheit befindet, so wird es schneller wachsen als im Lichte, weil die Zellhäute der einzelnen Zellen mehr durch den Turgor gedehnt werden; wenn aber ein hochgespanntes Internodium in constante Dunkelheit gelangt, so wird das Wachsthum durch denselben Umstand und auch dadurch beschleunigt, dass

1. das spannende Gewebe, d. h. das Mark bei grösserer Dehnbarkeit der peripherischen Gewebe weniger comprimirt wird, dass es also bei seinem Wachsthum einen geringeren Widerstand zu überwinden hat, und dass es in Folge dessen (angenommen, dass seine anderen Wachsthumsbedingungen sich nicht geändert haben) auch schneller wachsen muss [1];

2. dass die gespannten, d. h. die äusseren Gewebe bei grösserer Dehnbarkeit ihrer Zellhäute, um so mehr wachsen werden, als sie nicht nur durch den Turgor ihrer eigenen Zellen, sondern auch durch Gewebespannung gedehnt sind; da ja von vorn herein

Folge des Mangels an geeignetem Baustoffmaterial die Elasticitätsspannung der gespannten Schichten immer langsamer ausgeglichen wird. Wo endlich die Zelle mit anderen Zellen in Verbindung steht, da kann ihr Wachsthum auch durch Festerwerden der Zellhäute anderer Zellen, durch welche sie comprimirt wird, verlangsamt und sogar zum Stillstand gebracht werden.

[1] Kraus betrachtet die Ueberverlängerung des Markes in der Dunkelheit neben der geringeren Erstarrung der peripherischen Gewebe als zweite selbständige Ursache der Ueberverlängerung der Stengel und sucht dies durch eine neue Hypothese zu erklären. Diese Annahme scheint überflüssig zu sein, da sich, wie oben gesagt, die Ueberverlängerung des Markes als Folge der Nichterstarrung der peripherischen Gewebe betrachten lässt.

klar ist, dass, je grösser die dehnende Kraft ist, desto mehr die Dehnung durch Vergrösserung der Dehnbarkeit gesteigert wird.

Es ist also nach dem Gesagten leicht verständlich, dass die hochgespannten Organe auch diese sind, bei welchen die Ueberverlängerung in der Dunkelheit am ausgiebigsten ist, dass aber auch die nicht gespannten Organe eine Ueberverlängerung in der Dunkelheit erleiden können.

Mit dem bisher Gesagten ist aber der retardirende Einfluss des Lichtes und somit auch die Ueberverlängerung der Stengel in der Dunkelheit bei Weitem noch nicht erklärt. Es bleibt noch eine höchst schwierige Frage zu lösen: Warum vermindert sich die Beweglichkeit der Protoplasmamolecüle und die Dehnbarkeit der Zellhäute unter dem Einflusse des Lichtes? In welcher Weise bewirkt das Licht die Erstarrung der von ihm getroffenen Gewebe? Warum unterbleibt die Erstarrung in der Dunkelheit?

Kraus hat die Nichterstarrung der peripherischen Gewebe der etiolirten Pflanzen durch den Mangel der Assimilation in der Dunkelheit zu erklären gesucht. Nach ihm bewirkt das Licht die Erstarrung der Rindengewebe der Stengel dadurch, dass es die Bildung der organischen Substanz in diesen Geweben ermöglicht[1]. Diese Annahme wird aber einfach durch die Thatsache beseitigt, dass die Erstarrung der in Rede stehenden Gewebe auch dann vor sich geht, wenn die Pflanze am Licht in kohlensäurefreier Luft vegetirt. Wäre die Kraus'sche Annahme richtig, so müssten die Stengel in kohlensäurefreier Luft auch am Lichte sich überverlängern, was nicht der Fall ist. Der wachsthumretardirende Einfluss des Lichtes auf die Stengel hat also mit dem Assimilationsprocesse gar nichts zu thun, und Vines[2] zeigte vor Kurzem, dass auch die retardirende Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum der Blätter von der Assimilationsthätigkeit derselben vollständig unabhängig ist. Es ist also unzweifelhaft, dass die Wirkung des Lichtes auf die Erstarrung und Verdickung der Pflanzenmembranen mit der Assimilation nichts zu schaffen hat; welcher Natur aber diese Lichtwirkung ist, bleibt vollständig unerklärt. Wirkt das Licht unmittelbar auf die Molecularstructur der Zellhaut? oder wirkt es auf die Stoffumsatzprocesse, welche die

[1] Kraus, l. c. p. 241.
[2] Vines, l. c. p. 132.

G. Kraus gibt an[1], dass, »wenn man Pflanzen in ihren jungen noch wachsenden und bereits assimilirenden Blättern zunächst Stärke erzeugen lässt, ihr Wachsthum constatirt, und dieselben alsdann ins Dunkle bringt, so vergrössern sich die Blätter nur in den ersten 2—4 Tagen, darauf hören sie zu wachsen auf und gehen erst am Licht wieder weiter. Man kann in den meisten Fällen in solchen stehen gebliebenen Blättchen Stärke in dem Chlorophyll aller Zellen nachweisen«. Diese Thatsache würde sich einfach dadurch erklären lassen, dass die Blätter nur so lange in der Dunkelheit wachsen können, als der in ihnen vorhandene Vorrath an endosmotisch wirkendem Stoffe nicht erschöpft wird; geschieht dies aber, so muss ihr Wachsthum, ungeachtet dass die nöthigen Baustoffe noch vorhanden sind, still stehen; sobald aber die Pflanze wieder ans Licht kommt, bilden sich in den Blättern endosmotisch wirkende Stoffe aufs neue, wodurch ihr Wachsthum wieder ermöglicht wird.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Wirkung des Lichtes auf die Keimung der Farnsporen und der Brutknospen der Marchantieen ähnlich zu erklären ist. Es ist leicht möglich, dass diese Gebilde in der Dunkelheit deshalb nicht keimen, weil ihr Wachsthum durch die endosmotischen Wirkungen solcher Stoffe, welche nur unter dem Einfluss des Lichtes entstehen, bedingt ist.

Auch die Beobachtungen Brefeld's über die Abhängigkeit der Hutbildung mancher *Coprinus*arten vom Lichte, könnten, wie ich glaube, auf den nämlichen Gesichtspunkt gebracht werden; ja die Wachsthumsvorgänge, wie sie Brefeld für *Coprinus ephemerus* schildert, möchte ich sogar als Stütze unserer Anschauungsweise betrachten. Nach Brefeld werden Hut und Stiel dieses Pilzes in der Dunkelheit ganz normal angelegt, sobald aber die Neubildung im Hute aufgehört hat und die Streckung der Elemente beginnen soll, bleibt die weitere Entwickelung in der Dunkelheit stehen: »Der Hut, äusserlich bis zum Punkte der Streckung der Elemente differenzirt, bleibt stehen, steht 8 Tage bis 3 Wochen unverändert, bis schliesslich der Stiel schlaff und der Hut welk wird«. »Die in diesen Thatsachen ausgesprochene Abhängigkeit der Entwickelung des Pilzes vom Lichte wird durch jede Exposition welkender Culturen bestätigt. Sogleich werden die

[1] Jahrbücher für wiss. Botanik. Bd. VII. S. 228.

Theile wieder straff, die Hüte gewinnen ihren Turgor wieder, es vollzieht sich die normale Streckung der Hutelemente, welchen die Aufspannung und Sporenentleerung nachfolgen«. Wir haben hier ein ganz ausgesprochenes Beispiel der Abhängigkeit des Zellenturgors vom Lichte, und die Annahme liegt sehr nahe, dass das Licht hier zur Erzeugung endosmotisch wirkender Stoffe nothwendig ist. So lange das Wachsthum vorwiegend durch Imbibition des Protoplasmas bedingt ist, kann es in der Dunkelheit ungehindert vor sich gehen, und deshalb werden die Gewebe auch in Finsterniss normal angelegt; sobald es aber bei weiterem Wachsthum auf die endosmotischen Kräfte ankommt, fängt das Licht an zur weiteren Fortentwickelung des Pilzes unerlässlich zu sein.

Als Folgen der wachsthumbegünstigenden Lichtwirkungen wären endlich noch die Erscheinungen des negativen Heliotropismus zu nennen; auf welchen Gesichtspunkt jedoch diese Erscheinungen zu bringen sind, lasse ich auf sich beruhen, da die nöthigen Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Ursachen dieser Erscheinungen zur Zeit noch fehlen.

Studja nad oddychaniem roślin.

(Pamiętnik Akademji Umiejętności w Krakowie, t. VII, 1882, str. 101—140).

Od czasu, jak Garreau we Francji, a Sachsse w Niemczech właściwe znaczenie oddychania roślin wykazali i proces ten, który dawniej tak niewłaściwie z procesem przyswajania mięszano, bliżej określili, oddychanie roślin stało się ulubionym przedmiotem badań nietylko botaników z zawodu, ale także tak zwanych chemików rolniczych. To też mało który dział fizjologji roślin posiada tak obszerną literaturę, jak nauka o oddychaniu. Mimo to jednak znajomość nasza tej tak ważnej sprawy życia roślinnego, jest nader powierzchowną. Zależność oddychania od różnych zewnętrznych czynników na roślinę oddziaływujących jest dotąd bardzo jeszcze niedokładnie poznaną, a w zbadaniu procesów chemicznych, jakie przy oddychaniu się odbywają lub z niemi są połączone, zaledwie pierwsze postawiono kroki. Nie może ulegać wątpliwości, że oddychanie, jako sprawa będąca źródłem sił życiowych rośliny, ze wszystkiemi niemal objawami życia roślinnego w pewnym związku zostawać musi, że musi być w ścisłej zależności z różnemi przemianami chemicznemi, jakie się w organizmie roślinnym odbywają, wszystko to jednak bardzo mało dotąd jest zbadanem.

Boussingault[1], Sachsse[2], Detmer[3], starali się swemi pracami rzucić pewne światło na stosunek oddychania do przemian, jakim skrobia i tłuszcz przy kiełkowaniu nasion ulegają.

[1] Boussingault. *Sur la végétation dans l'obscurité. Agronomie, chimie agricole et physiologie.*

[2] Sachsse. *Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung der Erbse.*

[3] Detmer. *Keimung der ölhaltigen Samen*, cytowane w tegoż *Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses.*

Garreau[1], Wiesner[2], badali zależność między oddychaniem a samoistnem rozgrzewaniem się niektórych organów roślinnych. Saussure[3], Boussingault[4], Dehérain[5], Landrin[5], Moisson[6] i inni badali stosunek między ilością pochłoniętego tlenu, a ilością wydzielonego dwutlenku węgla; Adolf Mayer[7], Rischawi[8], Pedersen[9], Böhm[10] i inni badali wpływ temperatury i częściowego ciśnienia tlenu na oddychanie; a mimo tych wszystkich i wielu jeszcze innych prac, na żadne z poruszonych pytań nie mamy dotąd wyczerpującej odpowiedzi. Praca też niniejsza nie będzie także niczem innem, jak tylko małym przyczynkiem, rozszerzającym dotychczasowe wiadomości nasze o oddychaniu roślin i ułatwiającym może dalsze badania tego ważnego procesu.

Ponieważ w rozprawie mojej: »O oddychaniu roślin«, umieszczonej w Kosmosie z r. 1878, przedstawiłem w streszczeniu wszystko, co dotąd o oddychaniu roślin było wiadomem, niech mi więc teraz będzie wolno z pominięciem historycznego wstępu przystąpić wprost do pytań obrabianych przezemnie.

W mojej pracy zwróciłem uwagę głównie na dwa pytania:

1) Na wpływ, jaki cząstkowe ciśnienie tlenu w powietrzu, roślinę otaczającem, na jej oddychanie wywiera;

2) Na stosunek pomiędzy ilością pochłoniętego tlenu i ilością wydzielonego bezwodnika węglowego.

Ponieważ związek oddychania z innemi procesami chemicznemi odbywającemi się w roślinie najłatwiej uchwycić się daje przy

[1] *Annales des Sciences naturelles*, 1855.

[2] *Sitzungsberichte der k. Akademie der Wissenschaften in Wien*, 1871.

[3] *Froriep's Notizen* 1842 T. XXIV, według cytaty Sachsa w *Handbuch der Experimentalphysiologie* s. 270.

[4] *Etudes sur les fonctions des feuilles. Agronomie, chimie agricole et physiologie* T. IV.

[5] *Annales des Sciences naturelles* T. XIX.

[6] *Sur les volumes d'oxygène absorbé et d'acide carbonique émis dans la respiration végétale. Annales agronomiques*, 1880.

[7] *Landwirtschaftliche Versuchsstationen* T. 18. *Landwirtschaftliche Jahrbücher* T. III.

[8] *Landwirtschaftliche Versuchsst.* T. XIX.

[9] Pedersen *Recherches sur l'influence de la température sur la production de l'acide carbonique par l'orge germée dans l'obscurité.* Odbitka z *Comptes rendus des traveaux du laboratoire de Carlsberg*, 1878.

[10] *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss.* Wien. T. 68. 1873.

kiełkowaniu nasion, więc też największa liczba moich doświadczeń na kiełkujących nasionach wykonaną była.

Metoda doświadczeń.

Jedną z przyczyn, dla których, mimo mnóstwa już przeprowadzonych doświadczeń, wiadomości nasze o oddychaniu roślin bardzo są niedokładne, jest, zdaniem mojem, brak dogodnej i w wykonaniu łatwej metody, za pomocą której jednocześnie moglibyśmy oznaczyć zarówno ilość pochłoniętego tlenu, jak i ilość wydzielonego dwutlenku węgla. Jeśli chciano oznaczyć stosunek między ilością pochłoniętego O i wydzielonego CO_2, postępowano dotąd w ten sposób, że umieszczano badaną roślinę lub organ roślinny w zamkniętej atmosferze, i po upływie pewnego czasu poddawano gazy w naczyniu całkowitej analizie, to jest oznaczano w niej ilość tlenu i ilość bezwodnika węglowego zwykłemi gazometrycznemi drogami.

Metoda ta miała wielkie niedogodności: przy jej użyciu z badanym przedmiotem jedno tylko doświadczenie zrobić było można, a nadto roślina w krótkim czasie po rozpoczęciu doświadczenia w zupełnie anormalnych znajdowała się warunkach, bo oddychała w atmosferze do zbytku przesyconej dwutlenkiem węgla, którego szkodliwy wpływ jest faktem doświadczalnie udowodnionym.

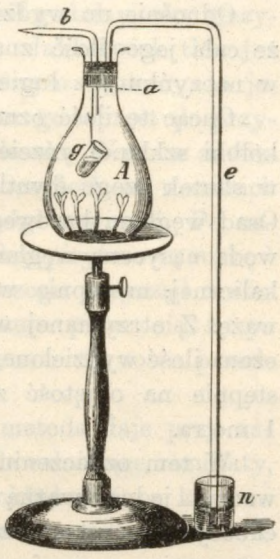
Niedogodności te, aż nadto widoczne, stały się niewątpliwie powodem, że znaczna większość badaczy, robiących doświadczenia nad oddychaniem roślin, kontentowała się albo oznaczaniem ilości pochłoniętego tlenu, albo też, co najczęściej, oznaczano ilość wydzielającego się bezwodnika węglowego, nie troszcząc się o to, wiele przytem tlenu pochłoniętego zostało.

Ale widoczną przecież jest rzeczą, że jasny obraz oddychania wtedy tylko mieć możemy, kiedy znamy całkowitą wymianę gazów, jaka się przy tem odbywa, to jest, kiedy znamy zarówno ilość tlenu, jaka pochłoniętą, jakoteż i ilość bezwodnika węglowego, jaka wydzieloną zostaje.

Pierwszem więc mojem staraniem było wyszukać metodę, któraby temu wymaganiu zadosyć uczynić mogła, nie posiadając niedogodności i błędów, jakie pociąga za sobą wykonywanie całkowitej analizy gazów, w których roślina oddycha. Metoda używana przezemnie polega na tem, że tylko ilość pochłoniętego tlenu oznacza

się drogą gazometryczną, wydzielony zaś bezwodnik węglowy oznacza się za pomocą wagi.

Przyrząd mój przedstawia pewne podobieństwo z aparatem Adolfa Mayera (opisanym także w jego chemji rolniczej), jest jednak nierównie prostszym, i każdy sam go sobie z łatwością zestawić może. Przyrząd ten składa się ze zwykłej kolby z grubego szkła, w której umieszczają się nasiona lub organa roślinne, których oddychanie badać chcemy.



Objętość tej kolby aż po kreskę *a*, na jej szyjce zrobioną, dokładnie wymierza się za pomocą biurety lub przez zważenie kolby z wodą po tę kreskę nalaną. Kolba ta po umieszczeniu w niej badanych części roślinnych zatyka się nizkim, dwoma dziurkami opatrzonym korkiem, który wsuwa się aż po kreskę *a* tak, aby część szyjki jeszcze ponad korek wystawała. W korku tkwią dwie rurki szklane, jedna z nich *e* dwa razy pod kątem prostym zgięta jest skalibrowana i w dolnej swej części opatrzona milimetrową podziałką. Koniec tej rurki zanurzony jest w rtęci zawartej w szklanem naczyńku, druga rurka *b* jest w jednym końcu cienko wyciągnięta i zatopiona, w drugim, będącym wewnątrz kolby, opatrzona haczykiem, na którym zawiesza się naczyńko szklane *g* zawierające bardzo stężony roztwór wodnika potasowego. Aby uzyskać zupełnie szczelne zamknięcie, w przestrzeń szyjki po nad korek wystającej nalewa się rtęci, a tę jeszcze przykrywa warstewką wody.

Aby oznaczyć objętość powietrza, w którem znajduje się oddychająca część roślinna, należy do objętości kolby dodać objętość powietrza w obu rurkach z nią połączonych, i odjąć od niej objętość wszystkich przedmiotów w kolbie zawartych. Tak skorygowaną objętość sprowadza się za pomocą znanej formuły:

$$lg\, v = lg\, v' + lg\,(b - b' - b'') - lg\,(1 + 0{,}00366\ t)$$

do temperatury 0° i ciśnienia jednego metra rtęci. Gdy teraz roślina w kolbie umieszczona zaczyna oddychać, tlen zostaje pochłaniany, dwutlenek węgla wydzielany, ale ten ostatni zostaje natychmiast przez wodnik potasowy pochłonięty, a zatem o ile

tlenu ubyło, o tyle też całkowita objętość gazów zmniejszyć się musiała. Odczytując po pewnym czasie wysokość rtęci w rurce *e*, obliczyć można z łatwością objętość pozostałych w kolbie gazów, a różnica między tą objętością a objętością pierwotną odpowiada ilości pochłoniętego przez roślinę tlenu. Odczytywania takie można co pewien czas ponawiać i tym sposobem oznaczyć cały bieg szybkości pochłaniania tlenu przez daną roślinę.

Odnośnie do wydzielonego dwutlenku węgla zauważyć należy, że cała jego ilość znajduje się w postaci węglanu potasowego w naczyńku *g* z ługiem potasowym.

Chcąc tę ilość oznaczyć, wylewam ten ług potasowy do małej kolbki szklanej, rozcieńczam go wodą i dodaję chlorku barowego, w skutek czego dwutlenek węgla strąca się jako węglan barowy. Osad węglanu barowego zbieram na sączku, wymywam najprzód wodą nasyconą węglanem barowym, aż do zniknięcia reakcji alkalicznej, następnie wodą czystą, i po wysuszeniu i wyprażeniu ważę. Z otrzymanej w ten sposób wagi węglanu barowego obliczam ilość wydzielonego dwutlenku węgla najprzód na wagę, następnie na objętość zredukowaną do temperatury 0° i ciśnienia 1 metra.

W tem oznaczeniu dwutlenku węgla należy koniecznie wprowadzić jednę ważną poprawkę. Wodnik potasowy handlowy, choćby najczystszy, zawiera mniejszą lub większą ilość węglanu potasowego, rozumie się więc, że kwas węglowy tego węglanu zostaje przez chlorek barowy także strącony, i w ten sposób ilość otrzymanego osadu węglanu barowego jest większą, aniżeliby była, gdyby wodnik potasowy był absolutnie czysty. Aby więc oznaczenie było ścisłe, należy wprzód oznaczyć stopień zanieczyszczenia wodnika potasowego, a to przez strącenie z niego w osobnej próbce kwasu węglowego chlorkiem barowym, a używając do doświadczenia zawsze odważoną ilość ługu potasowego, łatwo następnie obliczyć, wiele na rachunek zanieczyszczenia od znalezionej wagi węglanu barowego odjąć należy.

Przy badaniu oddychania kiełkujących nasion chodziło mi o to, aby poznać stosunek pomiędzy ilością pochłoniętego tlenu i ilością wydzielonego dwutlenku węgla w różnych perjodach kiełkowania, dla tego ponawiałem oznaczenia obu objętości gazów bez przerwy kilka dni z rzędu. W tym celu po otworzeniu przyrządu i wyjęciu z niego naczyńka z ługiem potasowym, zastępowałem je

natychmiast innem naczyńkiem ze świeżym ługiem i zamknąwszy przyrząd prowadziłem doświadczenie dalej.

Czasem zestawiałem jednocześnie dwa przyrządy, z których jeden napełniony był tlenem, drugi powietrzem; w ten sposób mogłem poznać wpływ, jaki mniejsze lub większe ciśnienie tlenu na przebieg oddychania wywiera. Dla napełnienia kolby tlenem wprowadzałem gaz ten z gazometru rurką *b* do przyrządu i przepuszczałem go przezeń mniej więcej przez pół godziny, aby wszystko powietrze przyrządu tlenem zastąpić. Jakkolwiek tlen już przy otrzymywaniu był w wodniku potasowym płukany, to jednak i teraz z gazometru nie wprowadzałem go wprost do przyrządu, ale przeprowadzałem jeszcze przez flaszkę Wulfa zawierającą stężony wodnik potasowy, aby go oczyścić ze wszelkich śladów dwutlenku węgla, jakieby jeszcze mógł zawierać. Po napełnieniu przyrządu tlenem zatapiałem lampką spirytusową rurkę *b* (poprzednio cienko wyciągniętą), w skutek czego przyrząd zostawał całkowicie zamknięty. Rozumie się samo przez się, że po każdem otwarciu aparatu napełnienie go tlenem na nowo przedsięwzięte być musiało.

Powody błędów. Powyżej opisana metoda daje przy zachowaniu należytych ostrożności zupełnie zadawalniające rezultaty, jednakże nie jest wolną od pewnych niedokładności, z któremi liczyć się należy, dla tego nad najważniejszemi z nich zastanowić się tutaj musimy.

1. Kolby, których w doświadczeniach moich używałem, miały około 400 c. sz. objętości. W obec tego mały stosunkowo błąd w odczytaniu ciśnienia lub temperatury był już dość znaczącym, i tak 1° C w odczytaniu temperatury stanowi różnicę około 1 centymetra sześciennego, 1 milimetr w odczytaniu ciśnienia 0,4 sześć. cent. Aby więc wypadki były ścisłe, należy starać się o jak najdokładniejsze odczytanie ciśnienia i temperatury. Najlepiej byłoby termometr umieszczać wewnątrz samego przyrządu, ze względu jednak na mechaniczne trudności, jakieby to za sobą pociągnęło, zwłaszcza, że nie miałem dość cienkiego termometru, umieszczałem termometr w osobnej kolbie stojącej tuż obok przyrządu. W ten sposób sądzę, że wahania się temperatury wewnątrz przyrządu były te same, które wskazywał termometr, coby nie miało miejsca wtedy, gdyby termometr nie był w kolbie zamknięty, ale swobodnie obok przyrządu postawiony. Pewien błąd mógł powstać

ztąd, że w skutek oddychania nasion wewnątrz przyrządu temperatura musiała być tem cokolwiek podwyższoną, jednakże ponieważ ilość nasion do doświadczenia używanych była bardzo małą, a wielkość kolby stosunkowo znaczną, więc podniesienie się temperatury w skutek oddychania musi tu być tak nieznaczne, że termometr niezawodnie nawetby go nie uwidocznił, błąd więc ztąd pochodzący może być bez obawy pominięty.

2. Pewien błąd mógł wyniknąć ztąd, że korek mógł nie zawsze dokładnie być wsuniętym po kreskę oznaczającą wymierzoną objętość kolby, jednakże choćby nawet ten błąd był wielki, to ponieważ powtarzał się on przy wszystkich odczytaniach, więc w obec zwłaszcza znacznej objętości powietrza w kolbie, wpływ jego na wyniki doświadczenia mógł być tylko bardzo mało znaczącym.

3. Toż samo mały wpływ na wyniki doświadczenia mógł mieć błąd, pochodzący z niedość dokładnego oznaczenia objętości różnych przedmiotów w kolbie zawartych, bo i ten błąd powtarzał się we wszystkich odczytaniach. Objętość nasion oznaczano, dzieląc ich wagę przez $1{,}_2$; objętość bibuły i waty, dzieląc ich wagę przez $1{,}_5$ jako *c. g.* cellulozy; objętość naczyńka szklanego zawierającego ług potasowy, dzieląc jego wagę przez 2 (jako *c. g.* szkła).

4. Pozornie tylko zdawaćby się mogło, że pewien błąd może wynikać ztąd, że roślinki rosnąc w kolbie coraz większą zajmują objętość, a w rachunek wprowadzamy tylko pierwotną objętość nasion. Błąd ten jest tylko pozorny, bo wzrost roślinek odbywa się kosztem wody do kolby dolanej, która także w rachunku uwzględnienie znajduje, o ile więc zwiększyła się objętość roślinek, o tyle się zmniejszyła objętość wody do kolby dolanej. Co się tyczy wody, to jeźli doświadczenie trwało czas dłuższy, w miarę jak woda wlana do kolby zużywała się do wzrostu roślinek, dodawano od czasu do czasu pewną ilość wody, aby roślinki z braku jej nie cierpiały. Rozumie się, że i ta później dolewana woda przy obliczaniu objętości powietrza w przyrządzie uwzględnioną była.

5. Znaczny błąd, który koniecznie przez odpowiednią poprawkę sprostować należało, pochodził ztąd, że po zestawieniu przyrządu nie można bezpośrednio przystąpić do odczytania objętości gazów, ale trzeba mniej więcej około pół godziny zaczekać, aby temperatura mogła się dostatecznie wyrównać.

Znaleziona objętość pochłoniętego tlenu odnosi się do czasu

pomiędzy pierwszem a ostatniem odczytaniem, natomiast znaleziona objętość wydzielonego CO_2 do czasu między zestawieniem przyrządu a jego rozebraniem, a więc do czasu o $^1/_2$ godziny do trzech kwadransy dłuższego niż pierwszy. Błąd ztąd wynikający starałem się sprostować, obliczając według liczby z doświadczenia otrzymanej, wiele tlenu w ciągu tego czasu wydzielonem być mogło i dodając tę ilość do liczby z doświadczenia otrzymanej. I tak: przypuśćmy, że między pierwszem a ostatniem odczytaniem upłynęło 24 godzin, a czas między zestawieniem przyrządu a pierwszem odczytaniem wynosił pół godziny, cały więc czas trwania doświadczenia wynosił nie 24 ale $24^1/_2$ godzin. Dajmy na to, że ilość pochłoniętego w ciągu 24 godzin tlenu znaleziono = 18 c. sz., więc według tego na cały czas trwania doświadczenia, t. j. na 24 i pół godzin, wypada $18 + \frac{18}{24} \times \frac{1}{2} = 18{,}37$ c. sz. Jednakże i ta poprawka w zupełności błędu jeszcze nie usuwa, opiera się ona bowiem na nie zawsze prawdziwem przypuszczeniu, że szybkość pochłaniania tlenu przez cały ciąg trwania doświadczenia jest jednakowa. Tak więc pewien błąd jest tu zawsze możliwy, a będzie on stosunkowo tem mniejszy, im dłuższy jest czas trwania doświadczenia.

6. Dwutlenek węgla, wydzielony przez rośliny, a znajdujący się w naczyńku z ługiem potasowym, oznaczano, jak mówiliśmy, przez strącenie go za pomocą chlorku barowego w małej kolbce szklanej. Otóż bardzo często się zdarzało, że pewna część osadu węglanu barowego tak mocno przylegała do ścian kolbki, że przy przesączaniu niepodobna jej było od tych ścian odmyć. W takim razie po skończeniu filtrowania kolbkę suszono lekko, na lampie spirytusowej prażono, następnie zważono, wymyto wodą zakwaszoną kwasem solnym, a po wysuszeniu znów zważono. Różnica między wagą kolbki przed i po wymyciu jej zakwaszoną wodą wskazywała wagę węglanu barowego, która z powodu przylegania do ścian kolbki nie mogła być sprowadzona na sączek, tę więc wagę należało do znalezionej ilości węglanu barowego dodać.

7. Powietrze atmosferyczne, jak wiadomo, zawiera pewną domieszkę dwutlenku węgla; o ile więc powietrze w aparacie zawarte już tym gazem było zanieczyszczone, o tyle znaleziona ilość dwutlenku węgla była większą od istotnie przez rośliny wydzielonej. Powietrze w kolbce wynosiło zwykle około 250 c. sz.

powietrza, zredukowanych do 1 metra ciśnienia i temperatury 0° C; przyjmując, że zawierało ono $\frac{1}{20}$ % CO_2, wypada, że znaleziona ilość tego gazu, wydzielonego przez rośliny, była o 0,12 c. sz. większa od prawdziwej; tę więc ilość od znalezionej odjąć należy.

Ta poprawka nie zupełnie błąd usuwa, gdyż powietrze pokojowe zawiera zwykle więcej CO_2 niż $\frac{1}{20}$ % i ilość ta stosownie do okoliczności bywa zmienną; a więc i tu pewien błąd mógł być popełniony.

8. Pewien błąd może także ztąd wynikać, że z chwilą rozebrania aparatu nie wszystek dwutlenek węgla, wydzielony przez rośliny, przez wodnik potasowy został pochłonięty, że pewna jego część została jeszcze w powietrzu. Błąd ten, prawdopodobnie niewielki, jest tem mniej znaczącym, że rozciąga się także w równym stopniu do znalezionej ilości pochłoniętego tlenu, na szukany więc stosunek między obu objętościami gazów mały wpływ wywierać może.

Zestawienie i wyniki doświadczeń.

1. Oddychanie kiełkujących nasion oleistych.

Doświadczenie I.

Raphanus sativa.

Aby powyżej opisaną metodę badania na przykładzie objaśnić, opiszę jedno doświadczenie szczegółowo, przy innych zaś ograniczę się do podania samych tylko rezultatów.

Do doświadczenia użyto 200 nasion rzodkwi, ważących 2,612 grm. Nasionka te ułożono w kolbie przyrządu na bibule, pod którą jeszcze włożono nieco waty. Dla dostarczenia potrzebnej do kiełkowania wody wlano jej do kolby tyle, aby bibuła jednostajnie była wilgotną, ale nasiona w wodzie nie były zanurzone, lecz całkowicie na powietrze wystawione. Po zestawieniu aparatu i zostawieniu go przez pół godziny w spokoju, aby temperatura dostatecznie się wyrównała, przystąpiono do odczytania objętości powietrza. Odczytanie to wykonano d. 30 Stycznia o godz. 4 min. 30 wieczór. Poprzednio wymierzona objętość kolbki po wepchnięty

korek wynosiła 375,6 c. sz., objętość powietrza w rurce b 1,0 c. sz., razem 376,6 cent. sz. Od tej objętości należało odjąć:

1) Objętość nasion $\frac{2,612}{1,2} = 2,18$ cent. sz.

2) Objętość bibuły i waty, które ważyły 0,67 grm., wynosiła $\frac{0,67}{1,5} = 0,45$ cent. sz., albowiem ciężar gatunkowy cellulozy, z której się te materje składają, wynosi 1,5.

3) Objętość naczyńka szklanego, w którym znajdował się ług potasowy. Naczyńko to ważyło 2,8 gr., a że $c.\ g.$ szkła = 2, więc ta objętość $\frac{2,8}{2} = 1,4$ cent. sz.

4) Objętość dolanej wody, która wynosiła przy pierwszem zestawieniu aparatu 6 cent. sz.

5) Objętość ługu potasowego, znajdującego się w naczyńku, który przy pierwszem zestawieniu znajdował się w ilości 1,434 gr., a że jego $c.\ g.$ był 1,4, więc objętość $\frac{1,434}{1,4} = 1,01$ c. sz.

Suma tych wszystkich objętości = 11,04, a więc kolba zawierała 376,6 — 11,04 = 365,56. Do tej objętości należało dodać objętość powietrza w rurce e aż po powierzchnię rtęci w tejże rurce. Objętość ta, odczytana z tablicy, wynosiła 8,66 c. sz., więc całkowita odczytana objętość powietrza w aparacie była:

$$365,56 + 8,66 = 374,22 \text{ cent. sz.}$$

Temperatura w czasie odczytania wynosiła 20,4° C., wysokość barometryczna 0,7314. Wysokość rtęci w rurce e 14,4 milimetry. Podstawiając w formule

$$lg\, v = lg\, v' + lg\,(b - b' - b'') - lg\,(1 + 0,00366\, t)$$

odpowiednie wartości, otrzymamy:

$lg\, v = lg\, 374,22 + lg\,(0,7314 - 0,0144 - 0,0178) - lg\,(1 + 0,00366 . 20,4)$

$lg\, 374,22 \ldots\ldots\ldots\ldots = 2,57313$

$lg\,(0,7314 - 0,0144 - 0,0178) = lg\, 0,6992 = 0,84460 - 1$

$2,41773$

$lg\,(1 + 0,00366 . 20,4) \ldots\ldots = 0,03128$

$2,38645 = lg\, 243,46.$

A więc objętość powietrza w aparacie po sprowadzeniu jej do temperatury 0° i ciśnienia 1 metra wynosiła 243,46 cent. sz.

Drugie odczytanie wykonane zostało d. 31 Stycznia o godz. 8 min. 30 rano. Do tego czasu żadne jeszcze ziarno nie skiełkowało, wszystkie tylko były napęczniałe. W tem drugiem odczytaniu:

$$lg\, v = lg\, 374{,}08 + lg\,(0{,}7323 - 0{,}0220 - 0{,}0184) - lg\,(1 + 0{,}00366.20{,}9).$$

Po wykonaniu wskazanego działania otrzymano:

$$v = 240{,}43.$$

Odjąwszy tę ostatnią objętość od objętości pierwszej, otrzymamy $243{,}46 - 240{,}43 = 3{,}03$ cent. sz., która to liczba wskazuje ilość pochłoniętego przez nasiona tlenu.

Zaraz po drugiem odczytaniu objętości powietrza w przyrządzie, przyrząd otworzono i wodnik potasowy wylano do małej kolbki; po rozcieńczeniu go wodą, do wypłukania naczyńka użytą, dodano chlorku barowego, aby dwutlenek węgla przez ług potasowy zabsorbowany strącić.

Osad węglanu barowego zebrany na sączku, wymyty najprzód wodą nasyconą węglanem barowym, następnie wodą czystą, wysuszony i wyprażony ważył 0,056 grm., ale ponieważ z jednego grama używanego do tego doświadczenia ługu potasowego chlorek barowy strącał (jak się w osobnem oznaczeniu przekonano) 0,0173 $Ba\,CO_3$, zkąd na 1,434 przypada 0,0248 grm., więc tę ostatnią liczbę od znalezionej ilości osadu $Ba\,CO_3$ należało odjąć. $0{,}0560 - 0{,}0248 = 0{,}0312$ grm. węglanu barowego, co odpowiada 0,0069 grm. $CO_2 = 2{,}70$ cnt. sz. zredukowanych do temp. 0° i ciśnienia 1 M. Odejmując od tego 0,12 cnt. sz., jako pierwotne zanieczyszczenie powietrza przez CO_2, wypada, że nasiona wydzieliły z siebie 2,58 cnt. sz. dwutlenku węgla.

Jak tylko przyrząd rozebrano i wodnik potasowy z naczyńka wylano, dodano doń znów świeżego ługu potasowego, przyrząd na nowo zestawiono, a po upływie pół godziny o godzinie 9 m. 15 rano przystąpiono do odczytania objętości. Odczytanie to okazało:

$$lg\, v = lg\, 374{,}8 + lg\,(0{,}7323 - 0{,}002 - 0.0187) - lg\,(1 + 0{,}00366\,.\,20{,}2).$$

Po wykonaniu wskazanego działania otrzymano: $v = 248{,}34$ cnt. sz.

O godzinie 3 po południu niektóre ziarnka zaczęły puszczać kiełki.

Dnia 1 Lutego o godz. 8 min. 15 rano, przystąpiono do odczytania objętości i rozebrania aparatu. W tym czasie już prawie wszystkie nasiona popuszczały kiełki po kilka milim. długie.

Odczytanie okazało: $lg\, v = lg\, 374{,}22 + lg\,(0{,}7340 - 0{,}0362 - 0{,}0146) - lg\,(1 + 0{,}00366 \cdot 17{,}2)$, zkąd $v = 240{,}52$ c. s.

$$248{,}34 - 240{,}52 = 7{,}82 \text{ c. sz.}$$

A więc od godziny 9 min. 15 rano do godziny 8 min. 15 rano dnia następnego czyli przez 23 godzin nasiona pochłonęły 7,82 c. sz. tlenu. Ale przyrząd zestawiony był już o godz 8 min. 45 t. j. na pół godziny przed odczytaniem; aby więc otrzymać ilość pochłoniętego przez cały czas trwania doświadczenia tlenu, należy do znalezionej ilości dodać

$$\frac{7{,}82}{23} \times {}^1/_2 = 0{,}34 \times {}^1/_2 = 0{,}17 \text{ c. sz.}$$

A więc w ciągu całego czasu trwania doświadczenia rośliny wydzieliły $7{,}82 + 0{,}17 = 7{,}99$ cnt. sz. Z ługu potasowego w naczyńku strącono za pomocą chlorku barowego 0,1152 $Ba\,CO_3$, a że z 1,301 gr. ługu, które do doświadczenia użyto, strąciłoby się 0,0225 $Ba\,CO_3$, więc ilość węglanu barowego, odpowiadająca wydzielonemu przez rośliny CO_2, wynosiła: $0{,}1152 - 0{,}0225 = 0{,}0927$ gr., co odpowiada: 8,02 cnt. sz. CO_2 przy temp. 0^0 i ciśnieniu 1 M., a $8{,}02 - 0{,}12 = 7{,}90$ cnt. sz. dwutlenku węgla przez rośliny wydzielonego.

Teraz dolano do kolbki 2 c. sz. wody, aby zastąpić jej ubytek przez wzrost roślinek spowodowany, i przyrząd zestawiono na nowo. Po upływie trzech kwadransy od zestawienia przedsięwzięto odczytanie objętości i znaleziono:

$$lg\, v = lg\, 372{,}48 + lg\,(0{,}7192 + 0{,}0005 - 0{,}0153) - lg\,(1 + 0{,}00366 \cdot 17{,}9)$$

$$\text{ztąd } v = 251{,}41 \text{ c. sz.}$$

Następne odczytanie dokonano d. 2 Lutego o godz. 8 min. 15 rano:

$$lg\, v = lg\, 371{,}17 + lg\,(0{,}7384 - 0{,}0790 - 0{,}0138) - lg\,(1 + 0{,}00366 \cdot 16{,}3)$$

$$v = 226{,}13 \text{ c. sz.}$$

$251{,}41 - 226{,}13 = 25{,}28$ c. sz. tlenu pochłoniętego przez 23 godzin, ztąd na godzinę wypada 1,10, na ${}^3/_4$ godziny 0,82. Więc przez cały czas trwania doświadczenia rośliny pochłonęły 26,10 cnt. sz. tlenu.

Z ługu potasowego chlorek barowy strącił $0{,}2505 - 0{,}0279 = 0{,}2226$ gr. $Ba\,CO_3$, co odpowiada 19,21 cent. sz. CO_2, a $19{,}21 - 0{,}12 = 19{,}09$ cnt. sz. przez roślinki przez czas trwania doświadczenia wydzielonego.

Teraz znów dolano do kolbki 2 cnt. sz. wody i przyrząd zestawiono. W pół godziny potem o godzinie 9 rano przystąpiono do odczytania objętości

$$lg\, v = lg\, 369{,}9 + lg(0{,}7384 - 0{,}0108 - 0{,}0151) - lg(1 + 0{,}00366 . 17{,}7)$$
$$v = 247{,}51.$$

Tegoż samego dnia o godz. 5 min. 30, a więc w $8^1/_2$ godzin po pierwszem odczytaniu okazało się

$$lg\, v = lg\, 369{,}04 + lg(0{,}7394 - 0{,}0630 - 0{,}0192) - lg(1 + 0{,}00366 . 21{,}6)$$
$$v = 224{,}76.$$

$247{,}51 - 224{,}76 = 22{,}75$ cent. sz. tlenu w ciągu $8^1/_2$ godzin przez rośliny pochłoniętego, $\frac{22{,}75}{8{,}5} = 2{,}67$ cent. sz. tlenu w ciągu jednej godziny. Przez cały ciąg doświadczenia, t. j. przez 9 godzin, roślinki pochłonęły $22{,}75 + \frac{2{,}67}{2} = 24{,}08$ cent. sz. tlenu.

Z ługu potasowego strącono 0,1956 gr. $Ba\, CO_3$, od czego odejmując 0,0315 jako osad, pochodzący z zanieczyszczenia 2,183 gr. ługu potasowego, otrzymamy: $0{,}1956 - 0{,}0315 = 0{,}1641$ grm. $Ba\, CO_3$, co odpowiada 14,17 cnt. sz. CO_2.

$14{,}17 - 0{,}12 = 14{,}05$ cent. sz. dwutlenku węgla w ciągu dziewięciogodzinnego trwania doświadczenia przez rośliny wydzielonego.

Teraz dolano 4 cent. sześc. wody do kolbki i aparat znów zestawiono, a w pół godziny potem, o godz. 6 min. 10, przystąpiono do odczytania

$$lg\, v = lg\, 366{,}36 + lg(0{,}7394 - 0{,}0087 - 0{,}0173) - lg(1 + 0{,}00366 . 19{,}9)$$
$$v = 243{,}60.$$

Dnia 3 Lutego o godz. 9 rano objętość ponownie odczytano:

$$lg\, v = lg\, 364{,}67 + lg(0{,}7406 - 0{,}1113 - 0{,}0153) - lg(1 + 0{,}00366 . 17{,}9)$$
$$v = 210{,}14.$$

$243{,}60 - 210{,}14 = 33{,}46$ cnt. sz. tlenu przez 15 godzin przez rośliny pochłoniętego. Ztąd na godzinę wypada $\frac{33{,}46}{15} = 2{,}25$. Przez cały czas trwania doświadczenia, t. j. przez $15^1/_2$ godzin roślinki pochłonęły $33{,}46 + \frac{2{,}25}{2} = 34{,}58$ cent. sz. tlenu.

Z ługu potasowego chlorek barowy strącił 0,2621 gr. $BaCO_3$, zanieczyszczenie 1,599 gr. ługu odpowiada 0,0231 gr. $BaCO_3$, więc: 0,2621 — 0,0231 = 0,2390 grm. $BaCO_3$, co odpowiada 20,63 cent. sz. dwutlenku węgla.

20,63 — 0,12 = 20.51 cnt. sz.

Roślinki więc wydzieliły teraz w ciągu ostatnich $15^1/_2$ godzin 20,51 c. sz. dwutlenku węgla.

Na tem zakończono doświadczenie. Przy końcu doświadczenia roślinki miały kilkanaście i więcej milim. długie korzonki gęsto włoskami pokryte, członki podlistniowe poczynały się już także wznosić i liścienie rozwijać. A teraz zestawmy sobie rezultaty opisanego doświadczenia w tablicę, w jakiej rezultaty innych doświadczeń podawać będziemy.

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłonięta przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O.
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
16	30 Styczn.	$4^1/_2$ wiecz.	31 Styczn.	$8^1/_2$ rano	20,0—21,0	3,03	2,58	0,07	0,06	81,8
$23^1/_2$	31 »	$8^3/_4$ rano	1 Lutego	$8^1/_4$ »	17,0—20,2	7,99	7,90	0,13	0,13	98,9
$23^3/_4$	1 Lutego	$8^1/_2$ »	2 »	$8^1/_4$ »	17,9—16,3	26,10	19,09	0,142	0,10	73,11
9	2 »	$8^1/_2$ »	2 »	$5^1/_2$ wiecz.	17,7—21,6	24,08	14,05	1,03	0,60	58,35
$15^1/_4$	2 »	$5^3/_4$ wiecz.	3 »	9 rano	19,1 17,9	34,58	20,51	0,87	0,53	59,66

Doświadczenie II.

Raphanus sativa.

W przyrządzie umieszczono 150 nasion rzodkwi, ważących 1,955 gr. i doświadczenie rozpoczęto d. 27 Stycznia o godz. 4 min. 30 wieczór. Rezultaty były następujące:

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłonięta przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O.
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
$22^1/_2$	27 Styczn.	$4^1/_2$ wiecz.	28 Styczn.	3 wiecz.	18,1 — 19,5	3,13	2,83	0,07	0,06	90,4
$20^1/_4$	28 »	$3^1/_2$ »	29 »	$11^3/_4$ rano	19,3—20	6,32	5,93	0,16	0,15	93,8

Doświadczenie III.

Raphanus sativa.

Dnia 1 Maja o godz. 1 po południu zestawiono dwa przyrządy, z których jeden napełniony był tlenem, drugi powietrzem. W każdym z nich umieszczono na wilgotnej bibule 50 nasion rzodkwi poprzednio w wodzie napęczniałych. Doświadczenie trwało 12 dni, a co każde 24 godzin robiono oznaczenia pochłoniętego tlenu i wydzielonego CO_2. Rezultaty były następujące:

Czas trwania doświadczenia	Temperatura	W przyrządzie z tlenem			W przyrządzie z powietrzem		
		Ilość pochłoniętego O w cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 w cnt. sz.	Ilość CO_2 wydziel. na 100 cz. pochłon. O	Ilość pochłoniętego O	Ilość wydzielonego CO_2	Ilość CO_2 wydziel. na 100 cz. pochłon. O
Przez pierwsze i drugie 24 godzin razem, t. j. przez pierwsze 48 godzin . . .	16,5—18,8	10,75	8,59	81,7	9,27	6,85	73,8
» 3-cie 24 »	17,3—18	17,37	10,75	61,8	16,22	10,59	65,8
» 4-te 24 »	16,8—17,4	20,10	11,76	58,6	19,53	12,05	61,7
» 5-te 24 »	16 —17,4	22,65	13,74	60,7	x[1]	x[1]	x[1]
» 6-te 24 »	17,2—18,9	21,39	13,66	63,8	26,27	16,16	62,1
» 7-me 24 »	17,9—18,4	17,90	12,89	71,5	23,11	15,59	67,0
» 8-me 24 »	15 —15,7	15,44	11,24	72,8	19,53	12,82	65,7
» 9-te 24 »	14,9—15,5	12,88	9,03	75,0	15,17	10,92	72,7
» 10-te 24 »	15 —15,6	13,50	10,12	75,0	15,62	11,36	74,1
» 11-te 24 »	15,3—16	11,55	10,04	86,9	14,62	11,84	79,8

Doświadczenie IV.

Raphanus sativa.

Miało na celu, prócz badania stosunku między ilością pochłoniętego tlenu i wydzielonego dwutlenku węgla w różnych okresach kiełkowania, także jeszcze zbadanie wpływu, jaki częściowe ciśnienie tlenu na szybkość oddychania wywiera. W tym celu odczytywano ilość pochłoniętego tlenu nie, jak w doświadczeniu poprzedniem, raz tylko na dobę, ale, ile możności, co trzy godziny. Im bowiem dłużej rośliny są w aparacie zamknięte i im więcej już z niego tlenu pochłonęły, tem atmosfera, w której oddychają, staje się w tlen uboższą. Odczytując więc co pewien czas ilość pochłoniętego tlenu, można się przekonać, o ile ubytek tego gazu z powietrza otaczającego roślinę wpływa na szybkość jej oddychania.

Doświadczenie rozpoczęto d. 5 Lipca (1878), zestawiając je-

[1] Oznaczenia nie dokonano z powodu wypadku.

dnocześnie dwa przyrządy, jeden tlenem, drugi powietrzem napełniony. W każdym z nich umieszczono na wilgotnej bibule 120 nasion rzodkwi poprzednio namoczonych; każda z tych porcyj ważyła po 1,454 grm. Rezultaty były następujące:

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Przyrząd napełniony tlenem					Przyrząd napełniony powietrzem				
Ilość godzin	Od		Do			Ilość pochłoniętego O	Ilość wydzielonego CO_2	Ilość CO_2 wydzielonego na 100 cz. pochłon. O	Ilość O pochłoniętą przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ciśnienie tlenu	Ilość pochłoniętego O	Ilość wydzielonego CO_2	Ilość CO_2 wydzielonego na 100 cz. pochłon. O.	Ilość O pochłoniętą przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ciśnienie tlenu
	dnia	godziny	dnia	godziny											
21	5 Lipca	8 wiecz.	6 Lipca	5 wiecz.	17 —18,75	6,03	5,39	90	0,18		3,28	3,22	98	0,10	
13	6 »	5 »	7 »	6 rano	18 —20	9,72	6,98	72	0,56		4,12	3,98	94,13	0,24	
12	7 »	7 rano	7 »	7 wiecz.	16 —20	15,40	10,41	67,18	0,98		11,28	8,35	74	0,65	
12	7 »	8 wiecz.	8 »	8 rano	17 —19	21,70	12,24	56,14	1,25		17,24	10,65	61,77	0,98	
25	8 »	9 rano	9 »	10 »	18 —20	52,32	27,94	53,14	1,38		36,82	21,98	59,78	1,01	
23	9 »	11 »	10 »	10 »	19 —21,75	50,22	29,31	58,74	1,38		39,79	22,84	58,72	1,12	
21	10 »	11 »	11 »	8 »	19 —22	42,93	26,41	61,14	1,39		34,38	21,06	60,76	1,14	
3	11 »	9 »	» »	12 w poł.	19 —22	5,67	—	—	1,28	0,7078	6,40	—	—	1,47	0,1377
3	» »	12 w poł.	» »	3 wiecz.	21,15 —22,75	5,18	—	—	1,18	0,6952	5,87	—	—	1,34	0,1198
3	» »	3 wiecz.	» »	6 »	21 —22,75	6,01	—	—	1,38	0,6781	5,17	—	—	1,18	0,1030
2	» »	6 »	» »	8 »	20,75 —21,75	4,61	—	—	1,52	0,6636	2,82	—	—	0,90	0,0960
11½	11 »	8½ rano	11 »	8 »	19 —22,75	22,11	13,89	62,19	—	—	21,06	11,76	55,78	1,26	
9¼	11 »	8¾ w.	12 »	6 rano	19 —20,75	13,72	—	—	1,01	0,6932	17,09	—	—	1,35	0,1198
3	12 »	6 rano	» »	9 »	19 —20	4,87	—	—	1,12	0,6675	4,78	—	—	1,03	0,0869
3	» »	9 »	» »	12 »	20 —22	4,80	—	—	1,04	0,6527	3,44	—	—	0,79	0,0748
3	» »	12 »	» »	3 wiecz.	22 —23	4,82	—	—	1,05	0,6471	2,7	—	—	0,83	0,0657
3	» »	3 wiecz.	» »	6 »	22 —23,77	4,66	—	—	1,08	0,6359	2,28	—	—	0,75	0,0581
21¾	11 »	8¼ »	12 »	6 »	19 —23,77	32,37	24,32	74,18	—	—	31,08	20,30	65,13	0,99	
10½	12 »	7½ »	13 »	6 rano	20 —23	13,72	—	—	1,90	0,7136	20,26	—	—	1,84	0,1418
3	13 »	6 rano	13 »	9 »	20 —21,75	4,48	—	—	1,03	0,6885	4,97	—	—	1,14	0,0791
3	» »	9 »	» »	12 »	21 —23,75	4,63	—	—	1,05	0,6858	4,10	—	—	0,94	0,0643
3	» »	12 »	» »	3 wiecz.	23 —24,75	4,25	—	—	0,97	0,6814	2,95	—	—	0,68	0,0532
2	» »	3 wiecz.	» »	5 »	22 23	3,03	—	—	1,05	0,6361	1,97	—	—	0,68	0,0427
3	» »	5 »	» »	8 »	21,15 —22,75	4,11	—	—	0,95	0,6255	2,08	—	—	0,48	0,0366
12	» »	8 »	14 »	8 rano	20 —21	15,21	—	—	0,88	0,6118	5,29	—	—	0,30	0,0801
2	14 »	8 rano	» »	10 »	22 —23	3,42	—	—	1,18	0,6727	1,12	—	—	0,38	0,0138
2	» »	10 »	» »	12 w poł.	23 —24	2,76	—	—	0,96	0,5594	0,38	—	—	0,13	0,0104
41	12 »	7 wiecz.	14 »	12 »	20 —24,75	55,61	44,41	73,78			43,12	32,83	77,15	0,76	

Doświadczenie V.

Raphanus sativa.

Dnia 5 Czerwca o godzinie 5 wieczór wsypano do aparatu (bez położenia na spód bibuły) 7,97 gr. nasion rzodkwi i wlano 9 cent. sz. wody. Rezultat był następujący:

Od 5 Czerwca godziny 5 wieczór do 6 Czerwca godziny 10 rano, t. j. przez pierwsze 17 godzin, nasiona pochłonęły $4{,}_{51}$ cent. sz. tlenu i wydzieliły $8{,}_{01}$ cent. sz. CO_2.

Od 6 Czerwca godziny 10 rano do godziny 7 wieczór tegoż dnia, t. j. przez 9 następujących godzin, pochłonęły $5{,}_{50}$ cent. sz. O i wydzieliły $5{,}_{57}$ cent. sz. CO_2.

Doświadczenie VI.

Cannabis sativa.

W przyrządzie umieszczono na wilgotnej bibule 80 nasion konopi, ważących 1,89 gr. Do zwilgocenia bibuły użyto na razie 5 cent. sz. wody, w ciągu zaś doświadczenia dolewano jej w miarę potrzeby. Doświadczenie rozpoczęto d. 16 Lutego (1881) o godzinie $3^3/_4$ wieczór. Rezultaty są zestawione w następującej tablicy:

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłonięta przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
$23^1/_4$	16 Lutego	$3^3/_4$ wiecz.	17 Lutego	3 wiecz.	17 —17,5	$5{,}_{14}$	$3{,}_{91}$	$0{,}_{11}$	$0{,}_{09}$	$76{,}_{1}$
23	17 »	$3^3/_4$ »	18 »	$2^3/_4$ »	17 18,5	$19{,}_{46}$	$13{,}_{20}$	$0{,}_{44}$	$0{,}_{30}$	$67{,}_{8}$
20	18 »	3 »	19 »	11 rano	14 —18	$27{,}_{24}$	$15{,}_{41}$	$0{,}_{72}$	$0{,}_{41}$	$56{,}_{6}$
$16^3/_4$	19 »	$3^1/_2$ »	20 »	$8^1/_4$ »	16 - 18	$32{,}_{27}$	$20{,}_{63}$	$1{,}_{32}$	$0{,}_{85}$	$63{,}_{9}$
$8^1/_2$	20 »	$8^1/_2$ rano	20 »	5 wiecz.	16 —18	$16{,}_{88}$	$11{,}_{12}$	$1{,}_{05}$	$0{,}_{69}$	$65{,}_{8}$
14	20 »	$5^1/_4$ wiecz.	21 »	$7^1/_4$ rano	$16{,}_{3}$ —19,0	$26{,}_{25}$	$16{,}_{75}$	$0{,}_{99}$	$0{,}_{63}$	$63{,}_{8}$
9	21 »	$7^1/_2$ rano	21 »	$4^1/_2$ wiecz.	17,5 19	$21{,}_{65}$	$13{,}_{07}$	$1{,}_{22}$	$0{,}_{76}$	$60{,}_{31}$

Przy końcu doświadczenia roślinki posiadały korzonki 25—35 mm. długie, członki podlistniowe miały 20 - 30 mm. wysokości, z pomiędzy roztoczonych liścieni wystawały pierwsze listki 4—6 mm. długie.

Doświadczenie VII.

Cannabis sativa.

W przyrządzie umieszczono na wilgotnej bibule 30 nasion konopi ważących 0,647 gr. Do zwilżenia bibuły użyto na razie 11,2 cent. sz. wody, w ciągu zaś doświadczenia dolewano jej w miarę potrzeby tak, że przy końcu doświadczenia znajdowało się w kolbce 27 cent. sz. wody. Doświadczenie rozpoczęto d. 27 Lutego (1881) i prowadzono do 11 Marca. Rezultaty były następujące:

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłonięta przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
24	27 Lutego	$4^1/_2$ wiecz.	28 Lutego	$4^1/_2$ wiecz.[1]	18 —19,2	3,28	2,82	0,20	0,18	86,0
24	28 »	$4^3/_4$ »	1 Marca	$4^3/_4$ »[2]	16 —18,6	11,31	7,31	0,74	0,46	64,6
$23^3/_4$	1 Marca	5 »	2 »	$4^3/_4$ »	17 —18,2	19,97	11,53	1,29	0,74	57,7
$16^1/_2$	2 »	5 »	3 »	$9^1/_2$ rano	17,5—19,7	17,25	10,0	1,60	0,91	58,0
$25^1/_4$	3 »	$9^3/_4$ rano	4 »	11 »	19 21,1	25,83	16,94	1,57	1,03	65,6
$23^3/_4$	4 »	$11^1/_4$ »	5 »	11 »	18 —21,2	24,92	15,33	1,61	1,00	61,5
$24^3/_4$	5 »	$11^1/_4$ »	6 »	12 »	17 —20,5	20,64	13,48	1,27	0,84	65,3
$22^3/_4$	6 »	$12^3/_4$ wiecz.	7 »	$11^1/_2$ »	17,5—20,5	18,09	12,65	1,21	0,86	69,9
$29^1/_2$	7 »	$11^3/_4$ rano	8 »	$5^1/_4$ wiecz.	17 —19,9	22,13	17,10	1,15	0,89	76,4
$23^3/_4$	8 »	$5^1/_2$ wiecz.	9 »	$5^1/_4$ »	18 —20	17,38	14,49	1,12	0,91	83,4
$24^1/_4$	10 »	$7^3/_4$ rano	11 »	8 rano	17,5—20,4	17,78	16,00	1,12	1,00	90,0

Przy końcu doświadczenia roślinki tak dalece już posunęły się w rozwoju, że dosięgły szyjki kolby, roztoczyły listnie i poczęły rozwijać pierwsze listki. Zarówno listki jak listnie były zielone, bo podczas doświadczenia aparat lekko tylko czarnym papierem był zaciemniony.

Doświadczenie VIII.

Linum usitatissimum.

W przyrządzie umieszczono na wilgotnej bibule 100 nasion lnu, ważących 0,45 grm. Do zwilżenia bibuły i waty użyto na razie 5 cent. sz. wody, w ciągu doświadczenia dolewano jej w miarę potrzeby tak, że do końca doświadczenia wlano 17 cent. sz. Do-

[1] Większa część nasion wykiełkowała.

[2] Wszystkie nasiona wykiełkowały, korzonki już nawet pokryte włoskami i wyróżnione od członków podlistniowych.

świadczenie rozpoczęto d. 11 Marca i prowadzono je do d. 21 tegoż miesiąca. Rezultaty były następujące:

Ilość godzin	Czas trwania doświadczenia: Od dnia	Od godziny	Do dnia	Do godziny	Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłoniętą przez 1 gr nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
38½	11 Marca	5¾ wiecz.	13 Marca	8¼ rano	16,5—17,2	4,17	3,97	0,24	0,22	95,2
24½	13 »	8¾ rano	14 »	9 »	17 —17,8	13,28	8,26	1,27	0,75	59
23½	14 »	9¼ »	15 »	8¾ »	17 —19,2	22,58	12,58	2,14	1,18	55,7
22	15 »	9 »	16 »	7 »	14,3—18,5	21,43	13,56	2,08	1,47	63,2
23¾	16 »	7¼ »	17 »	7 »	15 —18	21,74	12,68	2,04	1,20	58,3
23¾	17 »	7¼ »	18 »	7 »	16 —17,7	18,59	11,78	1,71	1,09	63,2
27½	18 »	7¼ »	19 »	10¾ »	16,5 —19,4	18,54	12,89	1,49	1,04	69,5
22	19 »	11 »	20 »	9 »	18 —19,7	12,88	9,72	1,29	0,98	75,5
26¼	20 »	9¼ »	21 »	11½ »	18 —20	13,13	11,77	1,11	0,98	89,6
27½	21 »	11¾ »	22 »	3¼ wiecz.	18 —19,5	13,21	12,86	1,07	1,04	96,6

Doświadczenie IX[1].

Medicago sativa.

W przyrządzie umieszczono 200 nasion lucerny wagi 0,516 grm. Doświadczenie rozpoczęte d. 18 Stycznia 1881 r., zakończone 22 Stycznia. Rezultat następujący:

Ilość godzin	Czas trwania doświadczenia: Od dnia	Od godziny	Do dnia	Do godziny	Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłoniętą przez 1 gr nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
41	18 Stycz.	4¾ wiecz.	20 Stycz.	9¾ rano	16,5—18	7,98	8,69	0,38	0,41	108,9
22½	20 »	10½ rano	21 »	9 »	17,5—18,5	12,29	10,53	1,06	0,91	85,7
24½	21 »	10 »	22 »	10½ »	17,4—19,6	12,69	10,91	1,00	0,86	86,0

[1] To doświadczenie wykonane było w mojem laboratorjum przez p. Stefana Jentysa, ucznia szkoły Dublańskiej.

Doświadczenie X.

Medicago sativa.

W przyrządzie umieszczono 180 nasion lucerny wagi 0,435 grm. Do zwilgocenia waty i bibuły użyto na razie 6 cent. sz. wody, w ciągu trwania doświadczenia dodano jeszcze 5 cent. sz. Doświadczenie rozpoczęto 24 Marca 1881 r.

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłonięta przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. nasion w ciągu 1 godz.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
40¼	24 Marca	6½ wiecz.	26 Marca	10¾ rano	15,4—19,7	6,33	5,45	0,26	0,21	86,3
21¼	26 »	11 rano	27 »	8¼ »	17 —19,7	10,24	8,80	1,12	0,95	83,6
23¼	27 »	8½ »	28 »	7¾ »	17 —18,6	11,78	9,07	1,19	0,91	77,0
32½	28 »	8 »	29 »	4½ wiecz.	16 —17,9	12,19	10,13	0,85	0,72	82,0
22¾	29 »	4¾ wiecz.	30 »	3 »	17 —19,5	9,93	7,85	1,01	0,79	79,1
24½	30 »	3¼ »	31 »	3¾ »	18 —20	9,69	8,69	0,92	0,81	87,9
24	31 »	4 »	1 Kwiet.	4 »	16 —18,5	8,48	7,58	0,82	0,72	89,4
25½	1 Kwiet.	4¼ »	2 »	5¾ »	17 —18,2	8,61	7,94	0,78	0,71	92,2

Z zestawionych powyżej doświadczeń nad oddychaniem kiełkujących nasion tłuszczowych okazuje się co następuje:

1. Stosunek między ilością pochłoniętego tlenu a ilością wydzielonego dwutlenku węgla, oraz wnioski, jakie ztąd o przemianie materji wyprowadzić można.

Stosunek pochłoniętego tlenu do wydzielonego CO_2 przy oddychaniu kiełkujących nasion tłuszczowych na szczególną zasługuje uwagę. Już z doświadczeń Saussura[1] wiadomo, że ilość pochłoniętego tlenu jest tu znacznie większą, aniżeli ilość wydzielonego dwutlenku węgla. Badacz ten przyklejał do wewnętrznych ścian retorty, 250 cent. sz. objętości mającej, napęczniałe w wodzie nasiona różnych roślin, a szyję retorty zanurzał w rtęci. Gdy czas przeznaczony na doświadczenie upłynął, oznaczał zmniejszenie się objętości powietrza i ilość wydzielonego przez kiełku-

[1] Cytowane z Sachsa: *Handbuch der Experimentalphysiologie* S. 270.

jące nasiona dwutlenku węgla. Do każdego doświadczenia używał 1 gram nasion. Rezultaty były następujące:

Konopie przy 22° C. w ciągu 43 godzin wypuściły korzonki 16 Mm. długie, przytem:

pochłonęły tlenu 19,7 cent. sz.
wydzieliły CO_2 13,26 » » } stosunek 100:67,3.

Rzepak przy 21,5° C. w ciągu 42 godzin powypuszczał korzonki około 10 Mm. długie, przyczem:

pochłonął tlenu 31,4 cent. sz.
wydzielił CO_2 24,39 » » } stosunek 100:77,6.

Madia przy temp. 13° C. powypuszczała korzonki około 10 Mm. długie, przyczem:

pochłonęła tlenu 15,83 cent. sz.
wydzieliła CO_2 11,94 » » } stosunek 100:75,4.

Ta przewaga w ilości pochłoniętego tlenu nad ilością wydzielonego dwutlenku węgla jest koniecznem następstwem faktu, że materjałem, który przy kiełkowaniu wyżej przytoczonych nasion zużytym zostaje, jest tłuszcz. O fakcie tym już na drodze mikrochemicznej przekonać się można. Widzimy, że nasiona same przepełnione są tłuszczem, ale równie łatwo stwierdzić możemy, że w miarę postępu kiełkowania ilość tego ciała coraz bardziej się zmniejsza, aż nareszcie z rozwiniętych już listni ciało to w zupełności znika. Analiza chemiczna nasion i młodych roślinek, z nich wyhodowanych, jeszcze wyraźniej ten fakt uwydatnia [1]. Ale tłuszcz jest związkiem w tlen ubogim, znacznie uboższym aniżeli wodany węgla, aby go więc całkowicie utlenić, potrzeba tlenu nietylko do utlenienia jego węgla na dwutlenek węgla, ale i jego wodoru na wodę; ztąd wynika, że ilość wytworzonego przy utlenieniu tłuszczu dwutlenku węgla nie może być tak wielką, jak ilość spotrzebowanego tlenu, ale od niej musi być znacznie mniejszą. Weźmy jako przykład tłuszcz najbardziej w roślinach rozpowszechniony, t. j. trzyoleinę. Skład trzyoleiny jest:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3 C_3 H_5 = C_{57} H_{104} O_6.$$

[1] Peters: *Zur Keimungsgeschichte des Kürbissamens. Landwirtschaftliche Versuchsstationen* 1861. Detmer: *Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses der Samen.* Fleury: *Annales de Chim. et de Phys.* s. 4. T. 4. Laskowski: *Landwirtschaftliche Versuchsstationen* T. 17.

Do utlenienia jednej drobiny trzyoleiny potrzeba: $2 \times 57 + \frac{104}{2} - 6 = 160$ atomów czyli 80 drobin tlenu, a z utlenienia tego wytworzy się 57 drobin dwutlenku węgla, a to według równania:

$$C_{57} H_{104} O_6 + 80 O_2 = 57 CO_2 + 52 H_2 O.$$

Jeżeliby więc oddychanie kiełkujących nasion tłuszczowych polegało wyłącznie na całkowitem utlenieniu tłuszczu, to wtedy na 80 objętości pochłoniętego tlenu wydzieliłoby się 57 objętości dwutlenku węgla, czyli na 100 objętości pochłoniętego tlenu 71,2 objętości dwutlenku węgla.

Ale tlen przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych ma jeszcze inne do spełnienia zadanie. Już Sachs w r. 1859[1] na drodze mikrochemicznej wykazał, że tłuszcz przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych częściowo na skrobię, a w dalszym ciągu na cellulozę zamieniony zostaje, a wkrótce potem dowodniej jeszcze zamianę tę wykazały analizy Petersa, które uwidoczniają, jak w czasie kiełkowania nasion ilość tłuszczu coraz bardziej się zmniejsza, a jak natomiast pojawiają się w młodych roślinach glykosa, dextryna i skrobia, których napróżno szukalibyśmy w nasionach; jak wreszcie zwiększa się w nich ilość cellulozy. Ale wszystkie te ciała, przy kiełkowaniu z tłuszczu powstające, są od niego w tlen daleko bogatsze; aby więc tłuszcz mógł się w te ciała zamienić, musiał połączyć się z pewną ilością atmosferycznego tlenu. Istotnie analizy elementarne nasion tłuszczowych i młodych roślinek z nich wyhodowanych wykazują, że te ostatnie nietylko procentowo, ale nawet absolutnie są w tlen od pierwszych bogatsze, i tak Hellriegel[2], który się zajmował przebiegiem kiełkowania rzepaku, znalazł

	C	H	O+S+P	N	Popiołów
w 100 gramach nasion .	58,392	8,533	25,731	3,649	3,695
w $96,_{820}$ gr. otrzymanych ztąd roślinek . . .	54,087	7,961	27,489	3,588	3,695
	—4,305	—1,572	+1,758	—0,061	0,000.

[1] *Botanische Zeitung* 1859.

[2] *Journal für praktische Chemie* T. 64, s. 102, według cytaty Detmera »*Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses*« Jena 1880, s. 256.

Widzimy, że podczas gdy rozwijające się roślinki znaczną ilość węgla i wodoru przez oddychanie utraciły, ilość tlenu nietylko się w nich nie zmniejszyła, ale owszem zwiększyła.

Do podobnych rezultatów doszedł w doświadczeniach nad kiełkowaniem konopi Detmer[1]. Analiza elementarna nasion i pięciodniowych z nich wyhodowanych roślinek wykazała:

	nasiona	5-dniowe roślinki
C	57,27%	56,29%
H	8,29%	8,10%
N	4,01%	3,96%
O	25,93%	26,99%
Popiołów . .	4,50%	4,66%
	100,00	100,00

a że 100 grm. nasion odpowiadało 96,91 grm. 5-dniowych roślinek, więc obliczając zysk lub stratę, jaką nasiona poniosły w ciągu 5-dniowego wzrostu, znajdziemy:

węgla ubyło . . .	2,72 grm.
wodoru ubyło . . .	0,44 grm.
tlenu przybyło . .	0,23 grm.

Do zupełnie podobnego rezultatu doprowadziła także praca Laskowskiego nad kiełkowaniem ogórków[2].

Tak więc już teraz widzimy, że tlen atmosferyczny, pochłaniany przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych, co najmniej do dwóch czynności zużywanym zostaje: z jednej strony służy on do utlenienia węgla i wodoru tłuszczu na dwutlenek węgla i wodę, z drugiej do zamiany tłuszczu na wodany węgla. Ale z tego dwojakiego zadania atmosferycznego tlenu wypływa, że stosunek między ilością pochłoniętego tlenu a ilością wydzielonego dwutlenku węgla nie będzie odpowiadał powyżej dla utleniania trzyoleiny obliczonemu 100:71,$_2$, ale będzie jakiś inny i zależeć będzie od wzajemnego do siebie stosunku obu powyżej wymienionych procesów, t. j. całkowitego utlenienia tłuszczu i przemiany jego na wodany węgla.

Ale to jeszcze nie wszystko; wodany węgla, przez częściowe utlenienie tłuszczu wytworzone w późniejszych stadjach kiełko-

[1] l. c. s. 261.

[2] Laskowski: *Landwirtschaftliche Versuchsstationen* T. 17, według referatu w Justa *Botanisches Jahresbericht.*

wania, dalszej ulegają przemianie [1], i wątpić nie można, że wtedy i one jako materjał do oddychania bywają zużytkowane. Przy ich utlenieniu wytwarza się objętość dwutlenku węgla, równa objętości zużytego do ich utlenienia tlenu, ten więc proces będzie znowu zmieniał ogólny stosunek między objętością wymienionych przy oddychaniu kiełkujących nasion gazów.

Tak więc stosunek między ilością pochłoniętego przez kiełkujące nasionka tlenu i ilością wydzielonego przez nie bezwodnika węglowego będzie zależał co najmniej:

1) Od ilości tlenu zużytego do całkowitego utlenienia tłuszczu.

2) Od ilości tlenu zużytego do zamienienia pewnej części tłuszczu na wodany węgla.

3) Od ilości tlenu zużytego do utlenienia znajdujących się w nasionach lub wytworzonych z tłuszczu wodanów węgla. Z góry przypuścić można, że w różnych okresach kiełkowania to jeden, to drugi z tych procesów utlenienia może przeważać i stosownie do tego w rozmaity sposób układać się będzie ów stosunek między objętościami wymienianych przy oddychaniu gazów.

Poznawszy więc dokładniej przebieg wymiany gazów przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych, będziemy też odwrotnie mogli sobie wyrobić pewne wyobrażenie o procesach chemicznych, w różnych okresach kiełkowania tych nasion się odbywających. Przypatrzmyż się teraz, co nas w tym względzie pouczyły zestawione powyżej nasze doświadczenia.

Przypatrując się liczbom w naszych doświadczeniach zestawionym, widzimy przedewszystkiem, że stosunek pomiędzy ilością pochłoniętego tlenu, a ilością wydzielonego bezwodnika węglowego nie jest w różnych okresach kiełkowania jednakowy, i możemy tu odróżnić trzy główne okresy stopniowo jeden w drugi przechodzące. Okres pierwszy, który nazwać możemy okresem pęcznienia nasion, trwa mniej więcej dwie doby. W okresie tym ilość wydzielonego dwutlenku węgla jest prawie równą ilości pochłoniętego tlenu; z tego wynika, że w tym okresie tłuszcz ani nie przechodzi jeszcze w znaczniejszej ilości w wodany węgla, ani też utlenianym nie jest, zatem oddychanie odbywa się tu jeszcze nie kosztem tłuszczu, ale kosztem innego jakiegoś ciała składu wodanów węgla i dopiero

[1] Porównaj analizy Petersa l. c.

w miarę wyczerpania się tego ostatniego, tłuszcz utleniać się i przechodzić w wodany węgla zaczyna.

Pewna przewaga na korzyść pochłaniania tlenu i tu wprawdzie stale widzieć się daje, ale przewaga ta jest stosunkowo nieznaczną, a zresztą będziemy mieli sposobność zauważyć ją także i przy kiełkowaniu nasion skrobiowych.

Odmienny rezultat okazało doświadczenie V. Tu widzimy, że przez pierwsze 17 godzin nasiona pęczniejące pochłonęły 4,51 cent. sz. tlenu, a wydzieliły 8,01 c. sz. bezwodnika węglowego, tu zatem objawiło się nader wybitnie tak zwane międzydrobinowe oddychanie. To doświadczenie, jak również i doświadczenia z grochem, które później poznamy, naprowadziły mnie zrazu na mniemanie, że kiełkowanie nasion zawsze rozpoczyna się oddychaniem międzydrobinowem, następnie jednak przekonałem się, że i tu to oddychanie międzydrobinowe jest tylko skutkiem utrudnionego przystępu tlenu w skutek pogrążenia nasion w wodzie. We wspomnianem doświadczeniu V nie podłożyłem pod nasiona ani bibuły, ani waty, ale wprost nalałem na nie wody. W pierwszych więc godzinach, zanim ta woda została przez nasiona wessaną, nasiona zwłaszcza bezpośrednio na dnie kolby leżące, były w wodzie pogrążone, a że prócz tego w znacznej znajdowały się ilości, więc przystęp tlenu do nich był niedostatecznym i oddychanie międzydrobinowe w skutek tego się ujawniło. Zaraz w następnym dniu, gdy woda wlana wessaną przez nasiona została, objętość wydzielonego CO_2 stała się równą objętości pochłoniętego O, odbywało się już zatem wyłącznie oddychanie normalne.

Przewagę w wydzielaniu CO_2 nad pochłanianiem O widzimy jeszcze w pierwszem oznaczeniu doświadczenia IX, i tu pochodzi ona zapewne ztąd, że bibułę musiano zwilgocić zbyt wielką ilością wody i przez to przystęp tlenu do nasion utrudniono, co przy małej objętości nasion lucerny łatwo zdarzyć się mogło.

Gdy tylko nasionka tłuszczowe wypuszczą już kiełki, rozpoczyna się drugi okres kiełkowania, w którym tłuszcz utleniać się i na wodany węgla zamieniać zaczyna.

Objętość pochłoniętego tlenu poczyna w tym okresie coraz więcej przeważać nad objętością wydzielonego dwutlenku węgla tak, że w rzodkwi, konopiach i lnie w trzecim lub czwartym dniu kiełkowania na 100 c. sz. pochłoniętego tlenu przypada zwykle niespełna 60 c. sz. wydzielonego bezwodnika węglowego, a to bez

względu na to, czy doświadczenie odbywa się w zwykłem powietrzu, czy w czystym tlenie. Stosunek ten utrzymuje się niezmieniony przez pewien czas, wahając się tylko od 55 do 65 na 100 pochłoniętego tlenu, potem zaś następuje trzeci okres, w którym znowu na pewną ilość pochłoniętego tlenu coraz więcej dwutlenku węgla się wydziela, aż nareszcie obie objętości stają się prawie równemi. Okres, w którym ilość pochłoniętego tlenu najbardziej przeważa nad ilością wydzielonego bezwodnika węglowego, jest właśnie czasem, w którym tłuszcz do oddychania i do przemiany na skrobię najszybciej zużywanym zostaje.

Okres ten trwa u wyżej wymienionych roślin w warunkach, w których robione były nasze doświadczenia, od 4—6 dni, w tym czasie rozwój roślinek i oddychanie ich najszybciej się odbywa. Biorąc średnio, powiedzieć możemy, że w okresie tym mniej więcej na 100 objętości pochłoniętego tlenu wydziela się 60 objętości dwutlenku węgla. Otóż z tego stosunku, uwzględniając analityczne dane, zaczerpnięte z pracy Detmera nad kiełkowaniem konopi, postaramy się wyrobić sobie pewne wyobrażenie o sposobie, w jaki tłuszcz w roślinach w wodany węgla się zamienia. Ze wspomnianego stosunku możemy przedewszystkiem przybliżenie obliczyć, wiele z pochłoniętego tlenu zostaje zużytego do utlenienia całkowitego tłuszczu, a wiele do zamienienia go na wodany węgla, i dalej, jaka część zużytego tłuszczu przez oddychanie spaloną, a jaka na wodany węgla zamienioną w tym okresie zostaje. Powyżej obliczyliśmy, że przy całkowitem utlenieniu się trzyoleiny na 100 objętości zużytego tlenu 71,25 objętości bezwodnika węglowego wytworzonego zostaje. Ale w doświadczeniach naszych znaleźliśmy nie 71,25, ale tylko około 60 objętości wytworzonego dwutlenku węgla, widocznie więc niecała ilość pochłoniętego tlenu, ale część jego tylko do utlenienia tłuszczu na CO_2 i H_2O zużytą została, reszta pozostać musiała w roślinie. Istotnie, według powyższego rachunku do wytworzenia 60 objętości bezwodnika węglowego przez utlenienie tłuszczu potrzeba 84,2 objętości tlenu, a więc pozostałe 15,8 objętości do innych celów, a mianowicie do zamienienia tłuszczu na wodany węgla, zużyte być musiały. Tak więc w okresie najszybszego zużywania się tłuszczu przy kiełkowaniu (rzodkwi, konopi, lnu) ze 100 części pochłoniętego przez rośliny tlenu mniej więcej 84 części zostaje

Tak więc w rzeczywistości kwasy tłuszczowe, z rozszczepienia się tłuszczów powstałe, wydają pod wpływem tlenu nie samą tylko skrobię, dwutlenek węgla i wodę, ale przybierając tlen z powietrza rozszczepiają się na skrobię, dwutlenek węgla, wodę i jeszcze jakąś resztę, dającą początek owym nieoznaczonym związkom.

Ostatecznie tedy proces przemiany tłuszczu przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych możemy sobie przedstawić wzorami:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3\,C_3H_5 + 3H_2O = 3C_{18}H_{34}O_2 + C_3H_8O_3$$

$$C_{18}H_{34}O_2 + 17\,O_2 = C_6H_{10}O_5 + C_2H_xO\left(\frac{x}{2} - 1\right) + 10CO_2 + \frac{24-x}{2}H_2O$$

$$10 : 17 = 58{,}8 : 100.$$

Obliczając według tych wzorów ilość skrobi wytworzonej z tłuszczu, znajdziemy, że na 100 grm. tłuszczu wytworzyć się powinno 58,3 grm. skrobi, a więc z 15,56 grm. tłuszczu, które zużyły się w doświadczeniu Detmera w ciągu 7-dniowej wegetacji, wytworzyć się powinno 9,07 grm., podczas gdy Detmer znalazł 8,64 grm., a więc tylko 0,43 grm. mniej.

Zgodność pomiędzy temi ostatniemi wzorami a rezultatami analiz Detmera jest tak wielką, że co najmniej istnieje wysokie prawdopobieństwo, że przemiana tłuszczów przy kiełkowaniu nasion tłuszczowych istotnie odbywa się w sposób podobny do przedstawionego temi wzorami. Według tego zatem drobina tłuszczu, przybierając trzy drobiny wody, rozszczepia się na glicerynę i wolny kwas tłuszczowy. Gliceryna przechodzi w inne związki bliżej nieoznaczone, każda zaś drobina uwolnionego kwasu tłuszczowego rozszczepia się pod wpływem tlenu powietrza na jednę drobinę skrobi, pewną ilość dwutlenku węgla, wody i resztę pozostającą w roślinie w postaci bliżej nieoznaczonych związków. Z każdej tedy drobiny tłuszczu obok dwutlenku węgla i wody tworzy się trzy drobiny skrobi i pewna ilość bliżej nieoznaczonych związków. Te bliżej nieoznaczone związki są prawdopodobnie w ogóle uboższe w tlen, aniżeli wodany węgla, mogą mieć jednak skład różny, a od składu tych tworzących się z tłuszczu bliżej nieoznaczonych związków pochodzą niewątpliwie owe niewielkie wahania się w stosunku między ilością pochłoniętego tlenu i ilością wydzielonego dwutlenku węgla, jakie przy doświadczeniach naszych w okresie najsilniejszego zużywania się tłuszczu obserwowaliśmy. Gdy tworzą się ciała w tlen bogatsze, wtedy na taką

samą ilość pochłoniętego tlenu, ilość wytworzonego CO_2 jest stosunkowo mniejszą; gdy przeciwnie tworzą się związki w tlen uboższe, ilość ta jest stosunkowo większą, niż ta, która odpowiada powyżej wyprowadzonym wzorom.

Prawdopodobieństwo, że wzory nasze istotnie odpowiadają rzeczywistości, jest tem większe, że doświadczenia nad oddychaniem przeprowadzone były z kiełkującemi nasionami trzech różnych i do zupełnie różnych rodzin należących roślin, a mimo to stosunek między ilością pochłoniętego tlenu i ilością wydzielonego dwutlenku węgla u wszystkich tych roślin w odpowiednich okresach kiełkowania był jednakowy. Mimo to wszakże zapatrywania moje w omawianej kwestji podaję z pewnem zastrzeżeniem i nie taję, że do upewnienia się, że przemiana tłuszczu istotnie w sposób powyżej przedstawiony się odbywa, potrzeba będzie jeszcze dalszych analitycznych badań, których też przeprowadzenie mam w dalszym ciągu prac moich na oku.

Po okresie kiełkowania, który dopiero co rozebraliśmy, a w którym największa część tłuszczu na skrobię zamienioną zostaje, następuje trzeci okres, w którym, jak analizy Detmera, Petersa i innych wykazują, ta wytworzona skrobia zaczyna się także zużywać i służyć do wytworzenia znaczniejszej już ilości cellulozy.

Po dziesięciodniowej wegetacji otrzymał Detmer ze 100 grm. materji suchej nasion konopi roślinki które po wysuszeniu ważyły 94,03 grm. i zawierały:

Tłuszczu	15,20
Skrobi	4,59
Materyj białkowatych .	24,50
» nieoznaczonych .	26,95
Cellulozy	18,29
Popiołów	4,50

Porównywając to ze składem powyżej podanym roślinek 7-dniowych widzimy, że w ciągu czasu od 7-go do 10-go dnia

ubyło: tłuszczu	1,89
skrobi	4,05
przybyło: materyj białkowatych .	0,51
» nieoznaczonych	0,81
cellulozy	1,75

Widzimy, że w tym okresie tłuszcz w mniejszym już stopniu był zużywanym, że natomiast wytworzona w poprzednim perjodzie skrobia poczęła się zużywać i częścią służyła za materjał oddechowy, częścią na cellulozę zamienioną została. W tym tedy perjodzie do pokrycia potrzeb oddychania służy zarówno tłuszcz, jak z niego wytworzona skrobia.

Istotnie w doświadczeniach naszych okres ten bardzo wydatnie od poprzedniego się różni. Po upływie 6 do 8 dni od początku kiełkowania na tęż samą ilość pochłoniętego tlenu coraz większa ilość dwutlenku węgla wytworzoną zostaje, co wskazuje na to, że coraz mniej tłuszczu a coraz więcej wytworzonej z niego w poprzednim okresie skrobi do oddychania się zużywa; nareszcie ilość dwutlenku węgla około dziesiątego dnia staje się prawie równą ilości pochłoniętego tlenu, co wykazuje, że teraz już oddychanie prawie wyłącznie kosztem wodanów węgla się odbywa.

Parę słów jeszcze powiedzieć nam wypada o doświadczeniach z lucerną. Tu ilość pochłoniętego tlenu także przeważa nad ilością wydzielonego dwutlenku węgla, ale przewaga ta jest mniejszą niż u trzech roślin poprzednich.

Na 100 części pochłoniętego tlenu nigdy mniej jak 77 części dwutlenku węgla wydzielonem nie zostało. Ale rezultat ten objaśnia się poprostu tem, że nasiona lucerny nie są wyłącznie oleistemi, ale oleisto-skrobiowemi. Zawierają one około 15% tłuszczu, ale zawierają także znaczną ilość skrobi. Tu więc zaraz od początku zarówno tłuszcz jak skrobia do oddychania i przemiany na inne związki zużywane zostają; mamy tu tedy zaraz od początku ten sam wypadek, jak u nasion oleistych w późniejszych okresach kiełkowania.

2. Energja oddychania.

a) Wielki perjod.

Oddychanie kiełkujących nasion rozpoczyna się zaraz w okresie pęcznienia nasion, pierwej jeszcze, nim nasiona powypuszczają kiełki, i trwa bez przerwy, dopóki żyją rośliny. Zgodnie z rezultatami dotychczasowych badań okazuje się także i z naszych doświadczeń, że energja oddychania nie jest przez cały ciąg kiełkowania jednakową. Oddychanie, z początku słabe, odbywa się następnie coraz żywiej, aż w czasie, kiedy listnie poczynają się

podnosić na wyróżnionym członku podlistniowym, energja jego dochodzi do maximum, utrzymuje się jakiś czas w jednej mierze, a następnie, zapewne w miarę jak zapas materji organicznej nasienia poczyna się wyczerpywać, szybkość oddychania coraz więcej słabnie. Ten tak zwany wielki perjod oddychania okazuje się zarówno na ilościach pochłoniętego przez roślinki tlenu, jak i na ilościach wydzielonego przez nie bezwodnika węglowego, choć zresztą (jak to już z tego, cośmy w poprzednim rozdziale powiedzieli, wynika) krzywe, wyrażające wielki perjod oddechowy dla obu tych gazów, nie są przy kiełkowaniu nasion oleistych względem siebie równoległe.

b) Wpływ zwartości roślin.

Porównywając liczby otrzymane z doświadczeń nad nasionami jednej i tej samej rośliny, ale w różnej ilości do doświadczeń użytemi, widzimy, że na 1 grm. nasion daleko więcej tlenu pochłoniętego i dwutlenku węgla wydzielonego jest wtedy, gdy doświadczenie odbywa się z mniejszą ilością nasion, aniżeli wtedy, gdy większa ilość tychże w aparacie kiełkuje.

I tak np. konopie, użyte w doświadczeniu VII w ilości trzydziestu nasion, oddychały prawie $1^1/_2$ razy silniej, aniżeli w doświadczeniu VI, gdzie użyto 80 ziarn. Rzodkiew, użyta w doświadczeniu III w ilości 50 ziarn, oddychała energiczniej niż w doświadczeniu I, gdzie było użytych 200 ziarn, a nawet niż w doświadczeniu IV ze 120 ziarnami, pomimo że to ostatnie doświadczenie robione było przy daleko wyższej temperaturze.

To silniejsze oddychanie roślinek wtedy, gdy one w mniejszej ilości w przyrządzie się znajdują, objaśnia się po części tem, że przy większej ilości roślinek zapas tlenu, a tem samem jego cząstkowe ciśnienie w przyrządzie, prędzej się zmniejsza i w skutek tego dalsze oddychanie staje się wolniejszem, wolniejsze oddychanie pociąga za sobą słabszy rozrost, co znowu jeszcze bardziej zwalnia dalsze oddychanie.

Jednakże zdaje się, że to szybsze zmniejszenie się cząstkowego ciśnienia tlenu nie jest jedynym powodem słabszego oddychania bardziej zwartych roślinek, bo uczuć się ono daje nawet w samym początku kiełkowania wtedy, gdy oddychanie jest w ogóle jeszcze bardzo słabe, a tem samem i zmniejszenie cząstkowego ciśnienia tlenu także bardzo nieznaczne. Nad wpływem tedy zwar-

tości roślin na ich oddychanie należałoby jeszcze więcej szczegółowe poprowadzić doświadczenia.

c) Wpływ gatunku rośliny.

Nasiona różnych gatunków roślin olejnych oddychają niewątpliwie z niejednakową energją i tak w naszych doświadczeniach, na tę samą wagę nasion i przy tych samych zkądinąd warunkach, najsilniej oddychać się zdają kiełkujące nasiona lnu, słabiej nasiona konopi i rzodkwi, jeszcze słabiej nasiona lucerny.

d) Wpływ cząstkowego ciśnienia tlenu w powietrzu otaczającem roślinki.

Powietrze atmosferyczne, które w zwykłych warunkach rośliny otacza, zawiera, jak wiadomo, $20{,}9\%$ tlenu i $79{,}1\%$ azotu, a że normalne ciśnienie atmosferyczne wynosi 760 mm, więc cząstkowe ciśnienie tlenu w zwykłej atmosferze rośliny otaczającej wynosi około 158 mm. Zachodzi więc pytanie, o ile zwiększenie lub zmniejszenie tego cząstkowego ciśnienia tlenu na oddychanie roślin wpływ wywiera.

1) Wpływ zwiększenia cząstkowego ciśnienia tlenu ponad normalne, innemi słowy wpływ wzbogacenia powietrza w tlen, w rozmaity sposób objawiać się może.

I tak: Bert[1] przekonał się, że zgęszczenie powietrza do ciśnienia 4 do 5 atmosfer lub przymieszka tlenu do powietrza (przy zwykłem ciśnieniu) nieprzenosząca 60%, prawie nie wpływa na kiełkowanie, czasem zaś kiełkowanie przyspiesza. Jeżeli jednak ilość tlenu w powietrzu, przy zwykłem ciśnieniu zostającem, zwiększy się do 80 lub 90%, albo gdy powietrze zagęszczone zostanie do ciśnienia więcej niż 5 atmosfer wynoszącego, wtedy wpływ szkodliwy staje się widoczny, kiełkowanie opóźnia się i rozwój roślinek jest bardzo słaby, tem słabszy, im ciśnienie silniejsze. Ten wpływ szkodliwy szczególniej widoczny jest w nasionach skrobiowych, natomiast nasiona olejne mniej mu ulegają. Co się tyczy samego oddychania, Bert podaje, że przy ciśnieniu 11 atmosfer ilość pochłoniętego przez kiełkujące rośliny tlenu jest o wiele mniejszą, niż przy ciśnieniu normalnem.

[1] Bert: *Comptes rendus* T. 76, s. 1493.

Podobne rezultaty otrzymał Böhm [1], porównywając kiełkowanie nasion fasoli w zwykłem powietrzu i w czystym tlenie. Przekonał się przytem, że od samego niemal początku rozwój roślinek był w tlenie nierównie słabszy niż w powietrzu. Że tu wpływa wyłącznie zbyt wielkie ciśnienie tlenu, a nie brak azotu, to pokazuje się ztąd, że kiełkowanie w czystym tlenie zupełnie normalnie się odbywa, jeżeli ciśnienie jego zmniejszone będzie do 150 mm. (t. j. do $^1/_5$ ciśnienia barometrycznego). Co się tyczy samego oddychania, Böhm nie spostrzegł żadnej różnicy w ilości pochłanianego tlenu przez roślinki w tlenie lub w zwyczajnem powietrzu się znajdujące. Prócz z fasolą, robił też Böhm jeszcze doświadczenia podobne i z grochem, soczewicą, kukurydzą, rzeżuchą, słonecznikiem i lnem. Rezultaty odnośnie do trzech pierwszych roślin były takie same, jak przy fasoli, natomiast słonecznik, len i rzeżucha o wiele mniej od tamtych przy wegetacji w czystym tlenie cierpiały; rozwój tych ostatnich nasion był wprawdzie także w tlenie cokolwiek słabszy niż w powietrzu, ale roślinki te znosiły przecież atmosferę czystego tlenu o wiele lepiej, niż fasola, groch, soczewica i kukurydza. Z doświadczeń tedy Böhma pokazuje się także, że dla kiełkowania nasion olejnych wysokie ciśnienie tlenu daleko mniej jest szkodliwe, jak dla nasion skrobiowych.

Dehérain i Moisson [2] podają, że liście tytuniu, umieszczone w czystym tlenie, wydzieliły prawie taką samą ilość bezwodnika węglowego, jak wtedy, gdy się znajdowały w zwyczajnem powietrzu.

Riszawi [3] robił pewną liczbę oznaczeń ilości wydzielającego się bezwodnika węglowego z kiełkujących roślinek bobu, umieszczonych naprzemian w strumieniu powietrza lub w strumieniu czystego tlenu. Pomimo, że doświadczenia swoje wielokrotnie powtarzał i to nietylko przy zwykłej, ale przy bardzo obniżonej

[1] Böhm: *Ueber das Keimen von Samen in reinem Sauerstoff. Sitzber. der Akad. der Wiss.* Wien. T. 68. 1873 r.

[2] Dehérain et Moisson: *Recherches sur l'absorbtion d'oxygène et l'émission d'acide carbonique par les plantes maintenues dans l'obscurité. Annales des sciences naturelles.* T. 19.

[3] Riszawi: *Einige Versuche über die Athmung der Pflanzen. Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen* T. 19, s. 321 i Къ вопросу о дыханіи растеній. Одесса. 1877. S. 25—30.

temperaturze, znajdował zawsze, że oddychanie w powietrzu i w czystym tlenie prawie zupełnie z jednakową odbywa się szybkością. Badacz ten powtarzał także doświadczenie Böhma nad kiełkowaniem bobu, fasoli, grochu i kukurydzy w czystym tlenie, podaje jednak, że wzrost tych roślinek w tlenie nie jest tak minimalny, jak twierdzi Böhm, jednak, że jest istotnie cokolwiek słabszy niż w zwykłem powietrzu, a przedewszystkiem, że korzenie są trzy do czterech razy krótsze niż u roślinek w powietrzu się rozwijających.

Wszystkie tedy powyżej przywiedzione doświadczenia zdawały się dowodzić, że w czystym tlenie oddychanie nie odbywa się prędzej, aniżeli w zwykłem powietrzu. Jednakże nasze doświadczenia III i IV wykazują dowodnie, że może być czasem i inaczej. W obu tych doświadczeniach widzimy szczególnie w najpierwszych dniach kiełkowania, że zarówno ilość pochłoniętego tlenu, jak i ilość wydzielonego bezwodnika węglowego była znacznie większą, gdy przyrząd, w którym roślinki się rozwijały, czystym tlenem był napełniony. Z drugiej strony jednak, z obu doświadczeń powyższych przekonywamy się znowu, że w późniejszych okresach kiełkowania oddychanie w powietrzu silniejszem jest niż w tlenie. Co do rozwoju roślinek, to nasiona w tlenie będące wpierw zazwyczaj zaczynały kiełkować, jednakże przy dłuższem trwaniu doświadczenia do mniejszych dochodziły rozmiarów i mniejszej dosięgały wagi żywej, aniżeli roślinki, rozwijające się w przyrządzie zwykłem powietrzem napełnionym. Silniejsze oddychanie kiełkujących nasion oleistych w czystym tlenie obserwowałem nietylko w dwóch powyżej zestawionych doświadczeniach, ale i w wielu innych, które w zestawieniu pominąłem. Mimo bardzo licznych doświadczeń, nigdy nie zdarzyło mi się obserwować, aby w pierwszych stadjach kiełkowania nasiona, w powietrzu umieszczone, dorównały energją oddychania nasionom, rozwijającym się w czystym tlenie. Doświadczenia w tym kierunku robiłem już w r. 1871. Umieszczałem wtedy nasionka rzodkwi w strumieniu czystego tlenu lub powietrza atmosferycznego i oznaczałem ilość bezwodnika węglowego, chwytając go w aparacie kulkowym Liebiga za pomocą ługu potasowego.

W notatkach moich z tego czasu znajduję: 200 ziarn rzodkwi ważących 2,388 grm. w strumieniu powietrza wydzieliły:

Przez dwie pierwsze doby 0,0550 grm. CO_2
Przez 3-cią dobę . . . 0,0765 » »
Przez 4-tą dobę . . . . 0,1765 » »
Przez 5-tą dobę . . . . 0,1665 » »

200 innych ziarn rzodkwi ważących 2,309 grm., umieszczone w strumieniu czystego tlenu, wydzieliły przy mniej więcej tej samej temperaturze:

w ciągu pierwszej i drugiej doby 0,1675 grm. CO_2
w ciągu trzeciej doby . . . . . 0,1760 » »

W ostatnim czasie ogłosił też Borodin[1] doświadczenia, w których także obserwował silniejsze pochłanianie tlenu przez rośliny, w czystym tym gazie umieszczone, w porównaniu z innemi umieszczonemi w zwykłem powietrzu.

Dwa młode pędy *Amelanchier rotundifolia* pochłonęły tlenu:

przy temperaturze 16° C. przez 22 godzin:
I w powietrzu 7,53 cent. sz. II w powietrzu 7,65 cent. sz.
przy temperaturze 16,5° C. przez 41 godzin:
I w tlenie 9,90 cent. sz. II w powietrzu 8,59 cent. sz.
przy temperaturze 17,5° C. przez 21 godzin:
I w powietrzu 3,99 cent. sz. II w tlenie 4,83 cent sz.
przy temperaturze 17°—18° C przez 41 godzin:
I w powietrzu 8,03 cent. sz. II w powietrzu 8,14 cent. sz.

Zestawiając doświadczenia Dehéraina, Böhma, Riszawiego z jednej strony, a doświadczenia moje i Borodina z drugiej strony, wyprowadzić możemy wniosek, że wpływ powiększenia ciśnienia tlenu ponad normalne w rozmaity sposób na oddychanie roślin oddziaływać może. Czasami nie zmienia on wcale energji pochłaniania tlenu przez rośliny, czasami znacznie ją powiększa, a czasem i zmniejszyć może. Rozmaitość ta zależy od natury i stopnia rozwoju oddychającego organu, od wysokości i podwyższenia ciśnienia tlenu i od długości czasu, przez który trwa doświadczenie.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, który wyraźnie w naszych doświadczeniach III i IV występuje, mianowicie, że oko-

[1] Borodin: *Sitzungsberichte der botanischen Section der Petersburger Naturforscher-Gesellschaft.* 19 April 1879. według *Botanische Zeitung* 1881 N. 8.

liczność, czy rośliny oddychają w zwykłem powietrzu czy w czystym tlenie, nie wpływa na stosunek pomiędzy ilością pochłoniętego tlenu i ilością wydzielonego dwutlenku węgla, tak, że jeżeli w czystym tlenie pochłanianie tlenu się zwiększa, to w tym samym stosunku zwiększa się także i wydzielanie bezwodnika węglowego. Z całego przebiegu oddychania w czystym tlenie, jak go nam liczby nasze przedstawiają, wynika, że przez umieszczenie oleistych nasion w czystym tlenie zwiększa się w początkach kiełkowania szybkość oddychania, w skutek czego dwa pierwsze (powyżej przez nas rozebrane) okresy kiełkowania prędzej mijają, i utworzona z tłuszczu skrobia pierwej zużytkowaną być zaczyna, aniżeli wtedy, gdy kiełkowanie odbywa się w powietrzu.

2) Wpływ zmniejszenia cząstkowego ciśnienia tlenu poniżej od normalnego ujawnia się bardzo wydatnie w doświadczeniu IV. Widzimy tu, że rośliny, znajdujące się w przyrządzie napełnionym zwykłem powietrzem, w pierwszych godzinach po każdem świeżem zestawieniu przyrządu zawsze oddychały najszybciej, później zaś w miarę, jak cząstkowe ciśnienie tlenu w przyrządzie zmniejszało się, oddychanie stawało się coraz powolniejsze. Że to zwolnienie oddychania nie zkądinąd, jak tylko ze zmniejszenia cząstkowego ciśnienia tlenu pochodziło, tego dowodzą dwie okoliczności:

Najprzód, że po rozebraniu przyrządu i ponownem jego zestawieniu te same roślinki odzyskiwały pierwotną szybkość oddychania; powtóre, że takiego zmniejszenia nie można było zauważyć wtedy, gdy rośliny kiełkowały w czystym tlenie.

Na szczególną uwagę zasługuje tu znowu okoliczność, że obniżenie cząstkowego ciśnienia tlenu zmniejsza nietylko pochłanianie tlenu, ale także wydzielanie bezwodnika węglowego przez roślinki; co więcej (jeżeli tylko doświadczenie nie trwa za długo), to zmniejszenie ilości wydzielonego dwutlenku węgla jest proporcjonalne do zmniejszenia ilości pochłoniętego tlenu. Powiedzieć tedy możemy, że obniżenie cząstkowego ciśnienia poniżej 150 mm. zmniejsza szybkość oddychania, nie wpływając na stosunek między ilością pochłoniętego tlenu a ilością wydzielonego dwutlenku węgla. Dopiero wtedy, gdy ciśnienie cząstkowe tlenu stanie się bardzo małe i w skutek tego nor-

malne oddychanie bardzo powoli się odbywa (jak to miało miejsce w ostatnim dniu doświadczenia IV), dopiero wtedy zaczyna się zmieniać stosunek $\frac{CO_2}{O}$ w skutek rozpoczęcia się międzydrobinowego oddychania.

Widzimy więc, że wytwarzanie dwutlenku węgla przez rośliny bynajmniej nie jest tak niezależne od pochłaniania tlenu, jak chcą niektórzy nowsi badacze, a tem samem, że i teorje normalnego oddychania na tej niezależności oparte utrzymać się nie dadzą. Przypatrzmyż się temu bliżej. Niektórzy badacze jak Pfeffer[1], Wortmann[2], opierając się na mniemanej niezależności wydzielania dwutlenku węgla od pochłaniania tlenu, biorąc dalej analogję z objawami fermentacji alkoholowej u drożdży i niektórych pleśni, starali się dopatrzyć bardzo ścisłego związku między oddychaniem międzydrobinowem a oddychaniem normalnem, twierdząc, że wydzielanie dwutlenku węgla w zwykłych warunkach przez roślinę jest przedewszystkiem rezultatem międzydrobinowego oddychania, a pochłanianie tlenu jest dopiero objawem drugorzędnym, polegającym na utlenianiu ubogich w tlen związków, tworzących się w roślinie przy oddychaniu międzydrobinowem. Pfeffer sądzi, że, gdy np. glykoza przy oddychaniu zużywaną zostaje, ulega ona najprzód rozszczepieniu na alkohol i dwutlenek węgla, a dopiero ten alkohol, pod wpływem atmosferycznego tlenu zostaje utleniony na dwutlenek węgla i wodę: tak, że według tego pojmowania rzeczy $^1/_3$ całego wytworzonego CO_2 pochodziłaby z oddychania międzydrobinowego, a $^2/_3$ z utlenienia wytworzonego alkoholu tlenem atmosferycznym. Wortmann idzie jeszcze dalej: opierając się na swoich doświadczeniach, w których obserwował, że nasiona kiełkujące (w jakiem stadjum rozwoju?) umieszczone w próżni wydzielały przez pierwsze kilka godzin taką samą ilość bezwodnika węglowego, jak inne znajdujące się w powietrzu, twierdzi, że wszystek dwutlenek węgla, przy oddychaniu roślin się wydzielający, pochodzi z oddychania międzydrobinowego, a tlen zostaje tylko zużywany do zamienienia związków ubogich w tlen, przy oddychaniu międzydrobinowem się tworzących, na

[1] *Das Wesen und die Bedeutung der Athmung in der Pflanze. Landwirthschaftliche Jahrbücher* III.

[2] *Ueber die Beziehungen der intramolecularen zur normalen Athmung der Pflanzen.* 1879.

związki w tlen bogatsze, w roślinie zostające. Ten proces oddychania przedstawia sobie Wortmann w sposób następujący:

Molekuły żyjącego pierwoszcza złożone są z połączenia drobin białkowych z drobinami wodanów węgla. Oddychanie polega na tem, że te molekuły pierwoszcza bezustannie rozszczepiają się i znowu przybierając wodany węgla z zapasu nagromadzonego w komórkach, napowrót się regenerują, drobiny zaś wodanów węgla, uwolnione przy rozszczepianiu się pierwoszcza, rozkładają się w tejże chwili na alkohol i dwutlenek węgla. Ostatni zostaje wydzielony na zewnątrz, pierwszy zaś za pomocą atmosferycznego tlenu zamienia się na związki izomeryczne z kwasem octowym, które przez odpowiednie przegrupowanie się w nich atomów wytwarzają napowrót drobiny glykozy.

To swoje zapatrywanie się na przebieg procesu oddychania Wortmann uwidocznia następującemi wzorami:

$$3\,C_6H_{12}O_6 = 6\,C_2H_5OH + 6\,CO_2$$

$$6\,C_2H_5OH + 12\,O = 2\begin{pmatrix} C_2H_4O_2 \\ C_2H_4O_2 \\ C_2H_4O_2 \end{pmatrix} + 6\,H_2O$$

$$2\,C_6H_{12}O_6.$$

Według tego tedy pojmowania rzeczy dwutlenek węgla, przy oddychaniu przez roślinę wydzielony, pochodzi wyłącznie z oddychania międzydrobinowego, niczem nie różniącego się od fermentacji alkoholowej powodowanej przez drożdże; tlen zaś atmosferyczny służy wyłącznie do zamiany alkoholu, przy tej fermentacji się tworzącego, na izomery kwasu octowego i w dalszym ciągu na wodany węgla.

Nie mamy nic do nadmienienia przeciwko pojmowaniu, że oddychanie jak najściślej jest związane z rozszczepianiem się i regeneracją molekułów żyjącego pierwoszcza; owszem, to pojmowanie, które też w kilkakrotnie cytowanem przez nas dziele Detmera o kiełkowaniu silny znalazło wyraz, zdaje nam się być zupełnie odpowiedniem; ale sprowadzanie normalnego oddychania wszystkich roślin do fermentacji alkoholowej, połączonej z utlenianiem alkoholu na izomery kwasu octowego, zdaje nam się być naciągnięte, przedwczesne, a wobec rezultatów naszego doświadczenia IV niewątpliwie mylne.

Zapatrywania Wortmanna na chemiczny przebieg procesu

oddychania już z tego względu na słabym opierają się gruncie, że nie jest bynajmniej rzeczą dowiedzioną, iż oddychanie międzydrobinowe wyższych roślin jest identyczne z fermentacją alkoholową. Fermentację alkoholową, powodowaną przez drożdże lub pleśnie, musimy niewątpliwie pojmować jako międzydrobinowe oddychanie tych grzybów; nie idzie jednak za tem, aby każde międzydrobinowe oddychanie jakiejkolwiek rośliny było koniecznie fermentacją alkoholową. Prawda, że wielokrotnie skonstatowano powstanie alkoholu przy międzydrobinowem oddychaniu wyższych roślin; czy jednak ten alkohol jest podobnie jak u drożdży lub pleśni głównym produktem międzydrobinowego oddychania, czy też może tylko produktem ubocznym (podobnie jak kwas bursztynowy lub gliceryna przy fermentacji drożdżowej), to, o ile mi wiadomo, rozstrzygnięte dotąd nie zostało. Aby udowodnić identyczność międzydrobinowego oddychania wyższych roślin z fermentacją alkoholową, nie dosyć jest skonstatować tworzenie się alkoholu, ale należałoby oznaczyć przy tym procesie stosunek między ilością wytworzonego w roślinie alkoholu i ilością wydzielonego przez nią dwutlenku węgla. Dopiero, gdyby się okazało, że stosunek ten odpowiada przybliżenie równaniu

$$C_6 H_{12} O_6 = 2\, C_2 H_6 O + 2\, CO_2$$

identyczność międzydrobinowego oddychania z fermentacją alkoholową byłaby udowodnioną.

Że oddychanie międzydrobinowe polega na rozszczepieniu się organicznych związków na inne w tlen uboższe i na dwutlenek węgla (a może i wodę), to nie ulega wątpliwości; aby jednak te uboższe w tlen związki koniecznie i zawsze tylko alkoholem etylowym być potrzebowały, to bynajmniej dowiedzionem nie jest, owszem wydaje mi się nawet rzeczą prawdopodobną, że one w różnych przypadkach różnemi być mogą. Że w skutek oddychania międzydrobinowego nie zawsze tylko alkohol się wytwarza, dowodem tego powstawanie tłuszczów z wodanów węgla, które, jak później zobaczymy, wytwarzają się w skutek oddychania międzydrobinowego z normalnem połączonego. Wreszcie rozmaite inne w tlen ubogie związki, które w roślinach znajdujemy, także tylko przy pomocy oddychania międzydrobinowego wytworzone być mogą.

Tak więc nie możemy się zgodzić na identyfikowanie bez dal-

szych dowodów oddychania międzydrobinowego z fermentacją alkoholową. Ale jeżeli wątpliwą jest rzeczą, czy oddychanie międzydrobinowe roślin wyższych odbywa się istotnie tak, jak je sobie Wortmann wyobraża, to tem bardziej wątpliwem jest, aby normalne oddychanie odbywało się w sposób przez niego przedstawiony. Choćby nawet oddychanie międzydrobinowe było identyczne z fermentacją alkoholową, to i tak jeszcze nie mogłoby się to żadną miarą stosować do oddychania normalnego, bo twierdzenie Wortmanna, że wszystek dwutlenek węgla, przy normalnem oddychaniu przez roślinę wydzielany, pochodzi z oddychania międzydrobinowego, jest niewątpliwie mylnem.

Gdyby tak było, to musiałaby istnieć w wysokim stopniu niezależność między wydzielaniem dwutlenku węgla i pochłanianiem tlenu. Wortmann i Pfeffer przyjmują istotnie taką niezależność, opierając się na fakcie oddychania międzydrobinowego w atmosferze niezawierającej tlenu; nam się jednak zdaje, że z tego, że w atmosferze beztlenowej dwutlenek węgla w skutek oddychania międzydrobinowego choćby energicznie wytwarzać się może, nie należy jeszcze wyprowadzać wniosku, że i wtedy, gdy tlen ma przystęp do rośliny, nie ma on bezpośredniego udziału w wytwarzaniu się dwutlenku węgla, ale że ten ostatni i w tym przypadku przez oddychanie międzydrobinowe powstaje. Prawda, że Wortmann znalazł, że nasiona kiełkujące, umieszczone w próżni, wydzielały w pierwszych godzinach tę samą ilość dwutlenku węgla, jak inne, umieszczone w powietrzu; ale z jednej strony, część metodyczna doświadczeń Wortmanna nie zupełnie mi jest jasną, z drugiej zaś strony, doświadczeniom tym przeciwstawić muszę moje doświadczenie IV, jak niemniej poniżej opisane doświadczenie XVIII, a wreszcie niedawno ogłoszone doświadczenia Borodina[1] We wzmiankowanych doświadczeniach IV i XVIII znaleźliśmy, że obniżenie cząstkowego ciśnienia tlenu, zmniejszając szybkość pochłaniania tego gazu, zwalnia w tymże samym stosunku i wydzielanie dwutlenku węgla przez roślinę,

[1] Borodin (*Sitzungsberichte der botanischen Section der St. Petersburger Naturforscher-Gesellschaft*, 18 Października 1879, według referatu w *Botanische Zeitung* 1881 N. 8), obserwował natychmiastowe silne osłabienie w wydzielaniu dwutlenku węgla przez rozwijające się pączki lipy, gdy strumień powietrza, w którym pączki oddychały, został zastąpiony strumieniem czystego wodoru.

gdyż pomimo bardzo znacznego osłabienia w pochłanianiu tlenu, stosunek $\frac{CO_2}{O}$ pozostaje niezmieniony.

Ale ułamek $\frac{CO_2}{O}$ koniecznie przy zmniejszaniu pochłaniania tlenu zwiększyćby się musiał, gdyby, jak chcą Wortmann i Pfeffer, wydzielanie CO_2 przy normalnem oddychaniu nie było bezpośrednio zależne od pochłaniania tlenu, ale było skutkiem międzydrobinowego oddychania; przyjąćby chyba należało, że w tym razie owe oddychanie międzydrobinowe zmniejszało się proporcjonalnie do zmniejszania się pochłaniania tlenu; takie jednak przypuszczenie, jako pozbawione wszelkiego doświadczalnego gruntu, byłoby całkiem dowolne, a w dodatku zupełnie niezrozumiałe. Dla nas stałość stosunku $\frac{CO_2}{O}$ przy różnem cząstkowem ciśnieniu tlenu dowodzi jak najbardziej stanowczo, że oddychanie międzydrobinowe z oddychaniem normalnem nie ma żadnej bezpośredniej łączności, oddychanie normalne nie polega na oddychaniu międzydrobinowem, połączonem z utlenieniem się kosztem atmosferycznego tlenu produktów rozszczepienia matérji oddechowej, ale polega ono na bezpośredniem działaniu tlenu na molekuły żyjącego pierwoszcza i na utlenianiu się niektórych jego części składowych kosztem atmosferycznego tlenu.

Oddychanie międzydrobinowe towarzyszy niekiedy nawet przy zwykłych warunkach oddychaniu normalnemu, ale to wtedy tylko ma miejsce, gdy związki w tlen bogatsze przejść mają w roślinie w inne w tlen uboższe połączenia, np. gdy przy dojrzewaniu nasion oleistych skrobia w tłuszcz się zamienia; w każdym innym przypadku oddychanie międzydrobinowe wtedy dopiero zaczyna się odbywać, gdy atmosfera otaczająca roślinę tak dalece w tlen stanie się ubogą, że oddychanie normalne nadzwyczaj już tylko słabo odbywać się może.

II. Oddychanie kiełkujących nasion skrobiowych.

Doświadczenie XI.

Pisum sativum.

Dnia 20 Marca (1878) zestawiono dwa przyrządy, z których jeden napełniony był powietrzem, drugi tlenem. W każdym z nich

umieszczono 6 poprzednio w wodzie namoczonych nasion grochu. Jedna z tych porcyj nasion ważyła 1,607, druga 1,619 gr. Doświadczenie trwało przez 48 godzin, w ciągu których odczytano dwa razy ubytek objętości, ale dopiero po upływie całych 48 godzin aparat rozebrano i CO_2 oznaczono. Temperatura w ciągu doświadczenia wynosiła 16—18,2° C.

Czas trwania doświadczenia	Przyrząd napełniony tlenem		Przyrząd napełniony powietrzem	
	Ilość pochłoniętego tlenu cnt sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość pochłoniętego O c. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.
Przez pierwsze 24 godzin . .	4,19		2,13	
» drugie 24 » . .	7,28		6,58	
» całe 48 » . .	11,47	12,41	8,88	10,56

Doświadczenie XII

Pisum sativum.

Dnia 29 Marca zestawiono dwa przyrządy, jeden tlenem, drugi powietrzem napełniony. Każdy z nich zawierał 10 nasion grochu wagi 2,64 grm. Nasiona przed doświadczeniem namoczono w wodzie. Odczytanie jak w poprzedniem doświadczeniu.

Czas trwania doświadczenia	Przyrząd napełniony tlenem		Przyrząd napełniony powietrzem	
	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.
Przez pierwsze 24 godzin . .	6,68		3,18	
» drugie 24 » . .	9,86		9,07	
» całe 48 » . .	16,04	16,50	12,87	13,52

Doświadczenie XIII.

Pisum sativum.

Dnia 7 Kwietnia (1878) zestawiono dwa przyrządy, napełnione, jak i w dwóch poprzednich doświadczeniach, jeden tlenem, drugi powietrzem. W każdym przyrządzie umieszczono 12 nasion wa-

żących 4,11 grm. Nasiona były poprzednio dla napęcznienia przez 48 godzin moczone w wodzie. Temperatura przez ciąg doświadczenia, trwającego trzy doby, wahała się między 18,3 i 20° C.

Czas trwania doświadczenia	Przyrząd napełniony tlenem					Przyrząd napełniony powietrzem				
	Ilość pochłoniętego O cnt sz.	Ilość wydzielonego CO_2 cnt. sz.	Ilość O pochłoniętego przez 1 gr. w ciągu 1 godziny.	Ilość CO_2 wydzielonego przez 1 gr. w ciągu 1 godziny.	Ilość CO_2 wydzielonego na 100 pochłoniętego O.	Ilość pochłoniętego O.	Ilość wydzielonego CO_2.	Ilość O pochłoniętego przez 1 gr. nasion w ciągu 1 g.	Ilość CO_2 wydzielona przez 1 gr. w ciągu 1 godziny.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 pochłoniętego O.
Przez pierwsze 24 godzin .	8,65	11,07	0,087	0,111	126,8	4,82	9,55	0,049	0,096	198,1
» drugie 24 » .	16,15	18,01	0,162	0,182	110,8	13,34	17,31	0,134	0,174	129,6
» trzecie 24 » .	15,01	15,33	0,151	0,154	102,1	16,61	16,37	0,168	0,164	98,6

Doświadczenie XIV.

Pisum sativum.

Dnia 6 Lutego 1881 r. umieszczono w przyrządzie na wilgotnej bibule 20 nasion grochu wagi 5,018 grm. Do zwilżenia bibuły i waty pod nią podłożonej użyto na razie 10 cent. sz. wody, w ciągu zaś doświadczenia dolano jeszcze 13 cent. sz. wody. Nasiona włożone były do przyrządu w stanie suchym bez poprzedniego moczenia ich w wodzie, tak, iż pęcznienie nasion w ciągu samego doświadczenia miało miejsce.

Ilość godzin	Czas trwania doświadczenia: Od dnia	Od godziny	Do dnia	Do godziny	Temperatura	Ilość pochłoniętego O cnt. sz.	Ilość wydzielonego CO_2 c. sz.	Ilość O pochłoniętego przez 1 gr. nasion w ciągu 1 g.	Ilość CO_2 wydzielonego przez 1 gr. nasion w ciągu 1 g.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O.
42¾	6 Lutego	4½ wiecz.	8 Lutego	11¼ rano	18,5—20,7	8,11	8,10	0,038	0,038	99,9
28½	8 »	11½ rano	9 »	4 wiecz.	19 —20,6	12,79	12,57	0,092	0,091	98,3
23¼	9 »	4¼ wiecz.	10 »	3½ »	18,8—20,4	19,05	20,55	0,164	0,177	107,9
23¼	10 »	4¾ »	11 »	4 »	16,0—18,5	17,88	16,30	0,154	0,141	91,2
23¾	11 »	4¼ »	12 »	4 »	17 —19,5	26,65	27,14	0,225	0,232	102,8
24½	12 »	3½ »	13 »	4 »	14 —19,3	25,36	24,16	0,207	0,197	95,3
23½	13 »	4¼ »	14 »	3¾ »	13 —18,8	20,41	22,59	0,174	0,192	110,7
23	14 »	4 »	15 »	3 »	17 —22,0	27,78	28,98	0,241	0,252	104,3

Doświadczenie XV [1].

Triticum vulgare.

Dnia 19 Grudnia (1880) umieszczono w przyrządzie kilkadziesiąt nasion pszenicy na wilgotnej bibule. Nasiona te nie były poprzednio moczone w wodzie.

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O	Ilość wydzielonego CO_2	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
Ilość godzin	Od		Do					
	dnia	godziny	dnia	godziny				
48	19 Grudnia	10 rano	21 Grudnia	12 rano	19 -21,5	8,192	8,115	91,4
26	21 »	12½ popd.	22 »	2½ popd.	18—19,5	17,153	16,759	94,6
23	22 »	4 wiecz.	23 »	3 wiecz.	17—18,5	20,155	21,130	103,6

Doświadczenię XVI.

Triticum vulgare.

Dnia 3 Kwietnia 1881 umieszczono na zwilgoconej wacie [2] 50 ziarn pszenicy, ważących 1,514 grm. Nasiona ułożone były w aparacie w stanie suchym tak, że pęcznienie odbywało się w czasie

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Ilość pochłoniętego O	Ilość wydzielonego CO_2	Ilość O pochłoniętego przez 1 gr. nasion w ciągu 1 g.	Ilość CO_2 wydzielonego przez 1 gr. nasion w ciągu 1 g.	Ilość CO_2 wydzielona na 100 części pochłoniętego O
Ilość godzin	Od		Do							
	dnia	godziny	dnia	godziny						
41	3 Kwiet.	5 wiecz.	5 Kwiet.	10 rano	13,5—18,1	4,158	3,188	0,1073	0,1062	84,7
28¾	5 »	10¼ rano	6 »	3 wiecz.	15,5—19,0	9,196	10,100	0,1230	0,1231	100,4
23¾	6 »	3¼ wiecz.	7 »	3 »	16,5—18,5	15,184	15,187	0,1442	0,1446	100,8
22¾	7 »	4½ »	8 »	3¼ »	16 —18	19,137	20,136	0,1565	0,1594	105,1
24	8 »	3½ »	9 »	3½ »	16,3—18	20,163	22,106	0,1571	0,1609	106,4
23½	9 »	3¾ »	10 »	3¼ »	15 —19,5	21,109	22,112	0,1591	0,1623	104,9
24¼	10 »	3½ »	11 »	3¾ »	16,6—20	22,187	24,120	0,1627	0,1663	105,8
25	11 »	4 »	12 »	5 »	15 —19	25,133	24,130	0,1666	0,1640	96,8
24	12 »	5¼ »	13 »	5¼ »	16,5—21,0	23,109	25,165	0,1636	0,1679	106,7
25	13 »	5½ »	14 »	6½ »	17 —20,5	20,195	22,112	0,1554	0,1585	105,6

[1] To doświadczenie także wykonane było przez p. Stefana Jentysa.

[2] Użycie samej waty jest daleko lepsze niż użycie bibuły.

doświadczenia. Do zwilżenia waty użyto na razie 8 cent. sz. wody w ciągu zaś 11-dniowego trwania doświadczenia dolano jej jeszcze 14 cent. sz.

Z doświadczeń tych widzimy co następuje:

1. Stosunek między ilością pochłoniętego tlenu a ilością wydzielonego bezwodnika węglowego.

Z zestawionych powyżej doświadczeń widzimy, zgodnie z rezultatami dotychczasowych badań, że przy oddychaniu kiełkujących nasion skrobiowych ilość wydzielonego dwutlenku węgla jest prawie równą ilości pochłoniętego tlenu.

U pszenicy, w samym początku kiełkowania, ilość pochłoniętego tlenu jest cokolwiek od ilości wydzielonego CO_2 większą; około trzeciego i czwartego dnia obie objętości są sobie zupełnie równe, potem wydzielanie dwutlenku węgla stale choć nieznacznie nad pochłanianiem tlenu przeważa: mianowicie prawie ciągle znajdujemy tu stosunek 100:105 lub 106. Jedyny wyjątek, pochodzący prawdopodobnie z jakiegoś błędu w odczytaniu, stanowi dzień dziewiąty, gdzie stosunek ten jest 100:96,3. Z tej przewagi w wydzielaniu bezwodnika węglowego nad pochłanianiem tlenu wnosić należy, że przy kiełkowaniu pszenicy, począwszy mniej więcej od czwartego lub piątego dnia, wytwarzać się muszą w małej ilości związki w tlen od wodanów węgla uboższe.

Nieco inaczej u grochu: tu, jak szczególniej z doświadczenia XIV widzimy, ilość wydzielonego dwutlenku węgla, nie przestając być bardzo blizką ilości pochłoniętego tlenu, bywa od niej już cokolwiek mniejszą, już większą.

Na szczególną uwagę zasługuje porównanie doświadczenia XIV z XIII. W doświadczeniu XIV ilość wydzielonego w pierwszych dwu dobach CO_2 jest prawie równą ilości pochłoniętego w tymże samym czasie tlenu, w doświadczeniu XIII, które także z grochem było wykonane, znajdujemy w pierwszej dobie ilość CO_2 dwa razy większą od pochłoniętego O, a i w drugiej jeszcze dobie stosunek $\frac{CO_2}{O}$ jest także jeszcze znacznie od 1 większy. Różnica między doświadczeniem XIV i XIII polega na tem, że w pierwszem nasiona suche, w drugiem po 48-godzinnem moczeniu ich w wodzie, do doświadczenia użyto. Widzimy więc, że jeżeli pęcznienie odbywa się w samym aparacie w obec przy-

stępu powietrza, to od samego początku stosunek $\frac{CO_2}{O} = 1$, jeżeli zaś nasiona pęczniały poprzednio w wodzie bez przystępu powietrza, to w pierwszych dwóch dobach kiełkowania, mimo przywróconego przystępu powietrza, stosunek $\frac{CO_2}{O}$ jest znacznie > 1; co więcej, stosunek ten nie przestaje być > 1 nawet wtedy, gdy kiełkowanie odbywa się w czystym tlenie, tylko wtenczas przewaga wydzielania CO_2 nad pochłanianiem tlenu jest mniejszą. Dawniejsze doświadczenia różnych badaczy wykazały już, że nasiona, pęczniejąc bez przystępu powietrza, wydzielają mimo to w czasie pęcznienia małe ilości CO_2 przez oddychanie międzydrobinowe; teraz odnośnie do grochu przekonywamy się, że tak napęczniałe nasiona jeszcze i po wystawieniu ich na przystęp powietrza, pomimo, iż już pochłaniają tlen i w normalny oddychają sposób, jeszcze czas jakiś oddychają także i oddychaniem międzydrobinowem. Zrazu sądziłem, że kiełkowanie nasion zawsze rozpoczyna się międzydrobinowem oddychaniem, ale doświadczenie XIV przekonało mnie, że tak nie jest, że gdy w czasie pęcznienia nasiona nie są pozbawione przystępu tlenu, oddychanie międzydrobinowe miejsca nie ma, ale od razu rozpoczyna się oddychanie normalne. Zdaje mi się, że tem międzydrobinowem oddychaniem moczonych poprzednio nasion objaśnić się da różnica, jaką znalazł Sachsse w zachowaniu się wodoru w początkowym i w późniejszych okresach kiełkowania grochu.

Badacz ten w pięknej swej pracy nad kiełkowaniem grochu [1] oznaczał stosunek między utratą pojedyńczych pierwiastków przy oddychaniu i znalazł, że na taką samą ilość utraconego węgla i tlenu z początku kiełkowania ubytek wodoru jest mniejszy, aniżeli później. Sachsse znalazł mianowicie, że przez 3 pierwsze doby kiełkowania (nie licząc 48 godzin, przez które prócz tego nasiona pęczniały w wodzie) nasionka utraciły 4,74% materji suchej, a ubytek pojedyńczych pierwiastków był w stosunku: $C_1 H_{0 \cdot 67} O_{0 \cdot 79}$, przez 3 zaś następne doby roślinki utraciły jeszcze 3,82% materji suchej, a utrata pojedyńczych pierwiastków była w stosunku $C_1 H_{1 \cdot 2} O_{0 \cdot 79}$.

[1] Sachsse: *Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum.* Leipzig 1872.

Otóż sądzę, że ta stosunkowo mniejsza utrata wodoru w pierwszym okresie kiełkowania ztąd pochodziła, że w skutek pęcznienia nasion przy utrudnionym przystępie powietrza w czasie tego pęcznienia, oraz w pierwszych dwóch następnych dniach kiełkowania, obok normalnego odbywało się także oddychanie międzydrobinowe, w skutek czego tworzyły się w nasieniu związki od wodanów węgla w wodór bogatsze, które w roślinie pozostawały i procentową zawartość wodoru w nasionach zwiększały. Gdyby Sachsse doświadczenie swoje tak był urządził, żeby pęcznienie nasion odbywało się przy dostatecznym przystępie powietrza, byłby prawdopodobnie i w pierwszym zaraz perjodzie znalazł stosunek utraty pojedyńczych pierwiastków ten sam, co i w drugim, t. j. $C_1 H_{1 \cdot 2} O_{0 \cdot 79}$.

2. Energja oddychania.

Porównywając ilości tlenu, pochłonięte przez 1 grm. nasion grochu lub pszenicy, z ilością tegoż gazu pochłoniętego przez 1 grm. różnych nasion oleistych, widzimy, iż energja pochłaniania tlenu u nasion skrobiowych jest mniejszą niż u nasion oleistych. Nasiona skrobiowe, porównywane między sobą, także bardzo różną posiadają energję oddychania. Nasiona kiełkujące pszenicy oddychają znacznie silniej niż nasiona grochu; być może, że z powodu swej mniejszej wielkości.

Co do wpływu ciśnienia tlenu na oddychanie, to doświadczenia XI, XII i XIII wykazują, że nasiona, moczone poprzednio w wodzie, umieszczone w tlenie, przez pierwsze dwie doby pochłaniają ten gaz nierównie szybciej, aniżeli gdy są umieszczone w powietrzu: wytwarzanie CO_2 jest także przez umieszczenie nasion napęczniałych w czystym tlenie cokolwiek przyspieszone, jednakże w stopniu o wiele mniejszym niż pochłanianie tlenu. Widzimy tedy, że przez umieszczenie nasion moczonych w wodzie, zamiast w powietrzu, w czystym tlenie, możemy w znacznej części spowodować zastąpienie oddychania międzydrobinowego oddychaniem normalnem. Ztąd możemy wysnuć wniosek, że oddychanie międzydrobinowe, które obserwowaliśmy w początku kiełkowania moczonych w wodzie nasion, pochodzi ztąd, że w skutek odbycia się procesu pęcznienia bez przystępu powietrza w budowie na-

sienia [1] takie nastąpiły zmiany, że powietrze ma znacznie utrudniony przystęp do wewnętrznych komórek nasienia, gdy zaś przez podniesienie ciśnienia tlenu przystęp ten ułatwimy, oddychanie międzydrobinowe zostaje w znacznej części przez oddychanie normalne zastąpione. Jeżeli natomiast sam proces pęcznienia przy dostatecznym przystępie powietrza się odbywa, wtedy powietrze wnika łatwiej do przestworów międzykomórkowych w nasieniu, i od samego początku odbywa się samo tylko oddychanie normalne.

III. Oddychanie pączków kwiatowych.

Doświadczenie XVII.

Papaver somniferum.

Dnia 10 Czerwca 1879 r. umieszczono w przyrządzie 4 w przededniu rozkwitnienia będące pączki maku. Pączki te ważyły razem 21 grm. i zawierały 3,328 grm. materji suchej. Doświadczenie trwało 24 godzin przy temperaturze 16,0—17,6° C.

Wynik doświadczenia był:

Tlenu pochłoniętego . . . . . 41,45 cent. sz.
Dwutlenku węgla wydzielonego . . 41,83 » »

Na 100 części pochłoniętego tlenu przypada 100,9 wydzielonego bezwodnika węglowego.

Doświadczenie XVIII.

Papaver somniferum.

Dnia 14 Czerwca zestawiono jednocześnie dwa przyrządy, z których każdy zawierał dwa pączki kwiatowe maku. Aby zbadać wpływ cząstkowego ciśnienia tlenu na oddychanie pączków, robiono odczytania ile możności co dwie godziny (p. tab. str. 357).

Suma w ciągu całego doświadczenia:

Tlenu pochłoniętego	45,27 c. sz.	49,34 c. sz.
Dwutlenku węgla wydzielonego . . .	46,05	49,83
Na 100 części pochłoniętego tlenu wydzielonego dwutlenku węgla . .	101,5	100,9.

[1] Prawdopodobnie w wielkości i kształcie przestworów międzykomórkowych.

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	Dwa pączki ważące 12,05 gm. i zawierające mat. suchej 2,197 grm. w 251 c. sz. powietrza zawierających 52,46 c. sz. O.			Dwa pączki ważące 12,13 gm. i zawierające mat. suchej 2,246 gm. w 268,37 c. sz. powietrza zawierającego 56,08 c. sz. tlenu.		
Ilość godzin	Od		Do			Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godz.	Cząstkowe ciśnienie O.	Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godz.	Cząstkowe ciśnienie O.
	dnia	godziny	dnia	godziny							
2	14 Czerw.	12 rano	14 Czerw.	2 wiecz.	19,3	4,05	2,02	0,1430	5,17	2,58	0,1418
2	» »	2 wiecz.	» »	4 »	13,3—19,6	5,34	2,67	0,1285	6,01	3,00	0,1269
2	» »	4 »	» »	6 »	19,6—19,0	5,55	2,77	0,1125	6,02	3,01	0,1105
2	» »	6 »	» »	8 »	19,0—18,7	5,63	2,81	0,0975	6,29	3,14	0,0938
2	» »	8 »	» »	10 »	18,7—18,0	5,0	2,50	0,0821	5,36	2,68	0,0782
6	» »	10 »	15 »	4 rano	18,0—17,4	13,86	2,31	0,0548	14,61	2,26	0,0512
2	15 »	4 rano	» »	6 »	17,4—17,3	3,80	1,90	0,0293	4,37	2,18	0,0255
1/2	» »	6 »	» »	6 1/2 »	17,3—17,6	1,21	2,10	0,0221	0,65	1,30	0,0193
W czasie od zestawienia aparatu do pierwszego odczytania						0,68			0,86		

Ilość godzin	Czas trwania doświadczenia: Od dnia	Od godziny	Do dnia	Do godziny	Temperatura	Trzy pączki ważące 11,42 gm. w 248,89 cent. sz. powietrza zawierających 52,02 c. sz. tlenu: Ilość pochłoniętego tlenu	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Cząstkowe ciśnienie tlenu	Trzy pączki wagi 14,22 gm. w 264,69 cent. sz. powietrza zawierających 55,32 c. sz. tlenu: Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Cząstkowe ciśnienie tlenu
2	16 Czerw.	4½ wiecz.	16 Czerw.	6½ wiecz.	18,6—18,2	3,82	1,91	0,1412	5,86	2,93	0,1376
2	» »	6½ »	» »	8½ »	18,2—17,7	5,12	2,51	0,1282	7,28	3,84	0,1147
9½	» »	8½ »	17 »	6 rano	17,7—17,5	25,0	2,63	0,0852	30,30	3,19	0,0693
2	17 »	6 rano	» »	8 »	17,5—18,2	4,75	2,37	0,0494	5,16	2,58	0,0212
2	» »	8 »	» »	10 »	18,3—18,5	4,20	2,10	0,0296	3,12	1,51	0,0100
2	» »	10 »	» »	12 »	18,5—19,0	3,71	1,85	0,0181	1,76	0,88	0,0089
2	» »	12 »	» »	2 wiecz.	19,0	2,0	1,00	0,0990	0,46	0,23	0,0011
2	» »	2 wiecz.	» »	4 »	19 —19,1	1,01	0,50	0,0059	0,33	0,17	0,0000
2	» »	4 »	» »	6 »	19,1—18,7	0,52	0,27	0,0027	0,05	0,02	0,0000
	Od zestawienia aparatu do pierwszego odczytania:					0,95			1,47		

Doświadczenie XIX.

Papaver somniferum.

Dnia 16 Czerwca zestawiono jednocześnie dwa przyrządy i w każdym z nich umieszczono 3 pączki maku. Odczytania robiono, jak i w poprzedzającem doświadczeniu, o ile możności, co 2 godziny (p. tab. str. 358).

Suma w ciągu całego doświadczenia:

Tlenu pochłoniętego	51,08	55,79
Bezwodnika węglowego wydzielonego . .	54,62	nie oznaczono.

Przy oddychaniu pączków kwiatowych maku widzimy, że objętość wydzielonego dwutlenku węgla jest prawie ściśle równą objętości pochłoniętego tlenu. Blizkość liczb, wyrażających obie te objętości w doświadczeniach XVII i XVIII, jest tak wielką, że doświadczenia te służyć nawet mogą za dowód, że dokładność używanej w naszych badaniach metody jest zupełnie zadawalającą. Tylko w doświadczeniu XIX ilość wydzielonego dwutlenku węgla jest wybitnie większą od ilości pochłoniętego tlenu; pochodzi to ztąd, że doświadczenie to prowadzone było aż prawie do zupełnego wyczerpania się tlenu w przyrządzie, ku końcowi zatem doświadczenia atmosfera, otaczająca oddychające pączki, tak dalece stała się w tlen ubogą, że oddychanie międzydrobinowe ujawnić się musiało. Z drugiej strony doświadczenie XVIII wykazuje, że i tu oddychanie międzydrobinowe nie objawia się zaraz, gdy w skutek zmniejszonego ciśnienia tlenu oddychanie normalne słabnąć zaczyna, ale dopiero wtedy, gdy, jak w doświadczeniu XIX, ciśnienie tlenu zejdzie poniżej 20 milimetrów; przy końcu bowiem doświadczenia XVIII ciśnienie tlenu zeszło do niespełna 20 milimetrów i szybkość pochłaniania tlenu znacznie się obniżyła, a mimo to stosunek $\frac{CO_2}{O}$ pozostał przecież $= 1$.

I te więc doświadczenia potwierdzają w zupełności powyżej wyłuszczone nasze zapatrywania na stosunek między oddychaniem międzydrobinowem a normalnem, i dowodzą, że oddychanie normalne nie jest oddychaniem międzydrobinowem, połączonem z działaniem tlenu na produkta tego oddychania, ale że polega ono na bezpośredniem działaniu tlenu na drobiny żyjącego pierwoszcza.

Co się tyczy wpływu cząstkowego ciśnienia tlenu na energję oddychania, widzimy, że oddychanie pączków maku jest daleko

mniej zależnem od cząstkowego ciśnienia tlenu, aniżeli oddychanie nasion tłuszczowych. Istotnie, zarówno doświadczenie XVIII, jak i XIX wykazują, że dopiero wtedy energja oddychania poczyna słabnąć, gdy ciśnienie tlenu zejdzie poniżej 80 milimetrów, czyli gdy z powietrza pod zwykłem ciśnieniem zostającego połowa tlenu pochłoniętą zostanie. Doświadczenie XIX wykazuje dalej, że pochłanianie tlenu trwa tak długo, dopóki jeszcze choć ślady tego gazu w powietrzu się znajdują, tak, że żyjące części roślinne takie jak pączki maku mogą być użyte zarówno z innemi odczynnikami (fosfor, kwas pirogalasowy) do całkowitego pochłonięcia tlenu z danej objętości gazów [1].

IV. Oddychanie dojrzewających owoców o nasionach tłuszczowych.

Doświadczenie XX.

Papaver somniferum.

Dnia 20 Lipca zestawiono jednocześnie dwa przyrządy i w każdym z nich umieszczono 2 zupełnie zielone jeszcze makówki. Doświadczenie trwało 19 godzin i okazało rezultat następujący:

Czas trwania doświadczenia					Dwie makówki, ważące $7_{,45}$ gm. na świeżo a $1_{,24}$ gm. po wysuszeniu, w 253 cent. sz. powietrza.		Dwie makówki, ważące $8_{,2}$ gm. i zawierające $1_{,862}$ materji suchej, w 269 cent. sz. powietrza.	
Ilość godzin	Od		Do		Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.
	dnia	godziny	dnia	godziny				
12	20 Lipca	7 wiecz.	21 Lipca	7 rano	$13_{,98}$	$1_{,13}$	$15_{,04}$	$1_{,21}$
3	21 »	7 rano	» »	10 »	$3_{,02}$	$1_{,01}$	$3_{,45}$	$1_{,15}$
4	21 »	10 »	» »	2 wiecz.	$4_{,12}$	$1_{,03}$	$4_{,76}$	$1_{,19}$
Od zestawienia przyrządów do pierwszego odczytania					$0_{,56}$		$0_{,61}$	

[1] Toż samo stwierdzili już dawniej Wołkoff i Mayer przy oddychaniu kiełkujących nasion pszenicy: »*Beiträge zur Lehre über die Athmung der Pflanzen*« *Landwirtschaftliche Jahrbücher* T. III. według referatu

Przez cały ciąg doświadczenia:		
Tlenu pochłoniętego	21,72 cent. sz.	23,96 cent. sz.
Bezwodnika węglowego wydzielonego	32,62 » »	36,63 » »
Na 100 części pochłoniętego tlenu wydzielonego bezwodnika węglowego	150	152.

Doświadczenie XXI.

Ricinus communis.

Dnia 7 Września 1879 r. zestawiono dwa przyrządy, z których każdy zawierał 4 niedojrzałe owocki rycinowca. Jeden z tych przyrządów napełniony był powietrzem, drugi tlenem. Odczytania ile możności robione były co 3 godziny (p. tab. str. 362).

Przez cały ciąg doświadczenia:		
Tlenu pochłoniętego	26,68 cent. sz.	29,36 cent. sz.
Bezwodnika węglowego wydzielonego	32,37 » »	34,77 » »
Na 100 części pochłoniętego tlenu przypada wydzielonego CO_2	121	118.

Doświadczenie XXII.

Dnia 13 Września 1879 zestawiono dwa przyrządy napełnione powietrzem i w jednym z nich umieszczono 3, w drugim 4 niedojrzałe owocki rycinowca. Odczytania robiono mniej więcej co 4 godziny (p. tab. str. 363).

Suma przez cały ciąg doświadczenia:		
Pochłoniętego tlenu	45,16 cent. sz.	15,29 cent. sz.
Wydzielonego bezwodnika węglowego	nie oznaczono	19,58 » »
Na 100 części pochłoniętego tlenu przypada wydzielonego CO_2		128.

Justa w *Botanisches Jahresbericht* z r. 1874, str. 877, a także autor niniejszej pracy w rozprawie: »Niektóre doświadczenia nad oddychaniem porostów«. Rozprawy i Sprawozdania Wydz. III. Akad. Umiej. w Krakowie T. I. r. 1874.

Czas trwania doświadczenia					4 owocki ważące $9,_{09}$ gm. w $251,_{89}$ c. sz. powietrza zawierających $52,_{59}$ c. sz. O.			4 owocki ważące $9,_{230}$ gm. w $270,_{48}$ c. sz. tlenu.			Temperatura
Ilość godzin	Od		Do		Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Cząstkowe ciśnienie O.	Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Ciśnienie O.	
	dnia	godziny	dnia	godziny							
3	7 Wrześn.	12 rano	7 Wrześn.	3 wiecz.	$3,_{0}$	$1,_{0}$	$0,_{1485}$	$3,_{38}$	$1,_{12}$	$0,_{7294}$	$20,_{3}-21,_{2}$
3	» »	3 wiecz.	» »	6 »	$4,_{66}$	$1,_{56}$	$0,_{1333}$	$4,_{90}$	$1,_{63}$	$0,_{7094}$	$21,_{2}-20,_{9}$
3	» »	6 »	» »	9 »	$4,_{53}$	$1,_{51}$	$0,_{1212}$	$4,_{50}$	$1,_{50}$	$0,_{6852}$	$20,_{9}-19,_{6}$
10	» »	9 »	8 »	7 rano	$11,_{84}$	$1,_{18}$	$0,_{0974}$	$13,_{34}$	$1,_{33}$	$0,_{6704}$	$19,_{6}-19,_{5}$
2	8 »	7 rano	» »	9 »	$1,_{99}$	$0,_{99}$	$0,_{0776}$	$2,_{38}$	$1,_{19}$	$0,_{3517}$	$19,_{5}-20,_{2}$
Od zestawienia przyrządu do pierwszego odczytania					$0,_{66}$		$0,_{1497}$	$0,_{86}$			

Czas trwania doświadczenia					Temperatura	4 owocki ważące 10 gm. w $271_{,93}$ c. sz. powietrza zawierających $56_{,82}$ c. sz. tlenu.			3 owocki ważące $7_{,9}$ gm. w $256_{,19}$ c. sz. powietrza zawierających $53_{,55}$ c. sz. tlenu.		
Ilość godzin	Od		Do			Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Cząstkowe ciśnienie tlenu	Ilość pochłoniętego O.	Ilość O pochłonięta w ciągu 1 godziny.	Cząstkowe ciśnienie tlenu
	dnia	godziny	dnia	godziny							
$2^1/_2$	13 Wrześn	$3^3/_4$ wiecz.	13 Wrześn.	$6^1/_4$ wiecz.	$17_{,1}$—17	$1_{,54}$	$0_{,51}$	$0_{,1487}$	$1_{,48}$	$0_{,58}$	$0_{,1486}$
13	» »	$6^1/_4$ »	14 »	$7^1/_4$ rano	17 – $16_{,9}$	$12_{,03}$	$0_{,92}$	$0_{,1308}$	$8_{,39}$	$0_{,64}$	$0_{,1347}$
4	14 »	$7^1/_4$ rano	» »	$11^1/_4$ »	$16_{,9}$—$17_{,9}$	$3_{,57}$	$0_{,89}$	$0_{,1101}$	$2_{,81}$	$0_{,7}$	$0_{,1223}$
4	» »	$11^1/_4$ »	» »	$3^1/_4$ wiecz.	$17_{,9}$—$18_{,8}$	$3_{,40}$	$0_{,85}$	$0_{,1010}$	$2_{,01}$	$0_{,50}$	$0_{,1165}$
2	» »	$3^1/_4$ wiecz.	» »	$5^1/_4$ »	$18_{,6}$—$18_{,1}$	$1_{,61}$	$0_{,80}$	$0_{,0944}$	$0_{,81}$	$0_{,40}$	$0_{,1101}$
14	» »	$5^1/_4$ »	15 »	$7^1/_4$ rano	$18_{,1}$—$17_{,4}$	$9_{,09}$	$0_{,64}$	$0_{,0800}$			
4	15 »	$7^1/_4$ rano	» »	$11^1/_4$ »	$17_{,4}$—$19_{,3}$	$1_{,46}$	$0_{,36}$	$0_{,0660}$			
$4^1/_2$	» »	$11^1/_4$ »	» »	$3^3/_4$ wiecz.	$19_{,3}$—$19_{,1}$	$2_{,43}$	$0_{,81}$	$0_{,0809}$			
4	» »	$3^3/_4$ wiecz.	» »	$7^3/_4$ »	$19_{,1}$—$17_{,4}$	$2_{,15}$	$0_{,54}$	$0_{,0545}$			
1	» »	$7^3/_4$ »	16 »	$6^3/_4$ rano	$17_{,4}$—$17_{,7}$	$5_{,77}$	$0_{,52}$	$0_{,0436}$			
14	16 »	$6^3/_4$ rano	» »	$10^3/_4$ »	$17_{,7}$—$20_{,3}$	$2_{,01}$	$0_{,50}$	$0_{,0320}$			
Od zestawienia przyrządu do pierwszego odczytania									$0_{,31}$		

2. Jeśli pęcznienie nasion odbywa się bez przystępu powietrza, np. pod wodą, wtedy ma przy niem miejsce oddychanie międzydrobinowe, które w niektórych razach przeciągnąć się może (przez 1 a czasem i 2 doby) i na czas, w którym napęczniałe nasiona już na zupełny przystęp powietrza wystawione zostały.

3. Gdy nasiona tłuszczowe powypuszczają już kiełki, wtedy ilość pochłoniętego tlenu poczyna coraz więcej przeważać nad ilością wydzielonego dwutlenku węgla. W czasie najsilniejszego rozrostu roślinek i najsilniejszego ich oddychania na 100 części pochłoniętego tlenu wydzielonych bywa od 55 do 65 części dwutlenku węgla.

4. Przemiana tłuszczu na skrobię odbywa się według wszelkiego prawdopodobieństwa w ten sposób, że z każdej drobiny tłuszczu powstaje trzy drobiny skrobi, pewna ilość bliżej nieoznaczonych związków i pewna ilość dwutlenku węgla i wody. Przemianę tę możemy uwidocznić prawdopodobnemi wzorami:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3C_3H_5 + 3H_2O = C_3H_5(OH)_3 + 3C_{18}H_{34}O_2$$

$$C_{18}H_{34}O_2 + 17O_2 = C_6H_{10}O_5 + C_2H_xO\left(\frac{x}{2}-1\right) + 10CO_2 + \frac{24-x}{2}H_2O.$$

5. W późniejszych okresach kiełkowania nasion tłuszczowych poczynają się obok tłuszczu zużywać do oddychania wytworzone z tłuszczu wodany węgla, w skutek czego różnica między ilością wydzielonego dwutlenku węgla a ilością pochłoniętego tlenu staje się coraz mniejszą, aż nareszcie obie te objętości stają się sobie równe.

6. Przy kiełkowaniu nasion skrobiowych objętość wydzielonego dwutlenku węgla jest ciągle bardzo blizką objętości pochłoniętego tlenu. Przy kiełkowaniu grochu bywa ona już cokolwiek większą, już nieco mniejszą; przy kiełkowaniu pszenicy (z wyjątkiem pierwszych paru dni kiełkowania) objętość wydzielonego dwutlenku węgla jest stale cokolwiek większą niż objętość pochłoniętego tlenu, tak, że mniej więcej $\frac{CO_2}{O} = 1{,}05$.

7. Przy oddychaniu rozkwitających pączków maku objętość pochłoniętego tlenu jest równą objętości wydzielonego dwutlenku węgla.

8. Przy oddychaniu dojrzewających owoców o nasionach oleistych ilość wydzielonego dwutlenku węgla jest znacznie większą od ilości pochłoniętego tlenu, co tłumaczy się tem, że z powodu

przemiany skrobi na tłuszcz oddychanie odbywa się nietylko kosztem tlenu atmosferycznego, ale i kosztem tlenu samejże skrobi.

9. Zmiany cząstkowego ciśnienia tlenu w różnych przypadkach rozmaicie oddziaływają na energję oddychania. Gdzie materjałem oddechowym jest tłuszcz, tam szybkość oddychania daleko więcej jest zależną od cząstkowego ciśnienia tlenu, aniżeli tam, gdzie materjałem oddechowym są wodany węgla.

10. Nawet i w tych przypadkach, gdy zmiana cząstkowego ciśnienia tlenu znacznie wpływa na zmianę szybkości oddychania, nie wpływa ona na stosunek między ilością pochłoniętego tlenu a ilością wydzielonego dwutlenku węgla. Tylko wtedy, gdy w skutek zbyt wielkiego opadnięcia cząstkowego ciśnienia tlenu pochłanianie tlenu bardzo znacznie się osłabi, występuje obok oddychania normalnego oddychanie międzydrobinowe, i wtedy stosunek wydzielonego dwutlenku węgla do pochłoniętego tlenu ulega już zmianie.

11. Oddychanie międzydrobinowe nie jest składową częścią oddychania normalnego, ale oddychanie normalne polega na bezpośredniem działaniu tlenu na drobiny żyjącego pierwoszcza, oddychanie zaś międzydrobinowe wtedy dopiero w roślinie się odbywa, gdy w skutek niedostatecznego przystępu tlenu oddychanie normalne zbytecznie jest utrudnione.

12. Oddychanie międzydrobinowe w zwykłych warunkach w obec dostatecznego przystępu powietrza wtedy tylko towarzyszy oddychaniu normalnemu, gdy w roślinie odbywają się procesa redukcyjne, t. j. gdy związki w tlen bogatsze przechodzą w połączenia w tlen uboższe, n. p. gdy z wodanów węgla powstaje tłuszcz.

Ein neuer Athmungsapparat.

(Botanische Zeitung, 1882, pp. 803–814).

Die übliche Methode, welche man bei den Untersuchungen über Pflanzenathmung benutzt, wenn es sich um die gleichzeitige Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure handelt, ist die, dass man den für den Versuch bestimmten Pflanzentheil eine Zeit lang in einem abgesperrten Luftvolumen athmen lässt, dann diese Luft einer vollständigen Gasanalyse unterwirft und auf diese Weise erfährt, wie viel Sauerstoff durch die Athmung der Pflanze aus der Luft verschwunden und wie viel Kohlensäure gebildet worden ist.

Ein grosser Nachtheil dieser Methode liegt darin, dass in einem abgesperrten Luftvolumen die Bedingungen der Athmung schon nach kurzer Zeit ganz abnorme werden. Die Luft des Versuchsgefässes wird nämlich in Folge der Athmung der Pflanzen an Sauerstoff immer ärmer, an Kohlensäure immer reicher. Diese Veränderung in der Zusammensetzung der umgebenden Luft kann unmöglich ohne Einfluss auf den weiteren Verlauf der Athmung bleiben. Es ist eine durch mehrfache Versuche festgestellte Thatsache, dass ein zu grosser Kohlensäuregehalt der umgebenden Luft nachtheilig auf verschiedene Lebensprocesse der Pflanzen einwirkt; somit ist kaum zu zweifeln, dass solcher Kohlensäureüberschuss auch für die Athmung der Pflanze nicht gleichgültig ist. Auch ist es positiv nachgewiesen, dass eine zu starke Verminderung der partiären Sauerstoffpressung eine Verlangsamung der Athmung zur Folge hat. Unter diesen Bedingungen muss die Begründung einer Methode, welche die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes und der gebildeten Kohlensäure bei constanter Zusammensetzung der umgebenden Luft zu bestimmen gestattet, willkommen sein.

Der zu beschreibende Apparat scheint mir, wenigstens annähernd, den Anforderungen einer solchen Methode zu entsprechen.

Schon bei meinen mehrjährigen Untersuchungen über Pflanzenathmung, deren Resultate vor Kurzem zur Veröffentlichung kamen [1], bin ich von der üblichen Methode abgewichen, und habe mir einen sehr einfachen Athmungsapparat construirt. Es war ein Kolben aus dickem Glas, dessen Volumen (von ungefähr 400 CC.) bis zu einem an seinem Halse angebrachten Striche genau mittelst einer Bürette bestimmt war. In diesen Kolben wurden die zum Versuche bestimmten Samen oder andere Pflanzentheile auf nasses Fliesspapier oder auf befeuchtete Baumwolle gebracht. Der Kolben wurde mit einem doppeltdurchbohrten Korke geschlossen. Im Korke steckten zwei Röhren, die eine, ganz kurze, war an ihrer äusseren Spitze ausgezogen und zugeschmolzen, an der inneren trug sie ein kleines Häkchen, die andere, viel grössere, d. h. die Steigröhre, war zwei Mal unter dem rechten Winkel gebogen und tauchte in ein Gefäss mit Quecksilber ein. Der äussere Schenkel dieser Röhre war calibrirt und mit einer Millimeterscala versehen. An dem Häkchen der kleineren Röhre war ein kleines Gefäss mit abgewogener Menge concentrirter Kalilauge aufgehängt.

Sobald die Samen (resp. andere Pflanzentheile) Sauerstoff auszuscheiden und Kohlensäure auszuhauchen begannen, wurde die letztere durch die Kalilauge absorbirt. Das Volumen der Luft im Apparate wurde in Folge dessen vermindert und das Quecksilber fing an, in die Steigröhre zu steigen. Von Zeit zu Zeit konnte man die Höhe des Quecksilberniveaus an der Steigröhre ablesen und danach die Volumenverminderung der Luft in dem Apparate berechnen. Durch diese Volumenverminderung wurde das Volumen des eingeathmeten Sauerstoffes direct angezeigt.

Die gesammte Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure war als kohlensaures Kali in der Kalilauge enthalten, und wurde also hier nach der Oeffnung des Apparates durch Fällung mit $BaCl_2$ als $BaCO_3$ bestimmt.

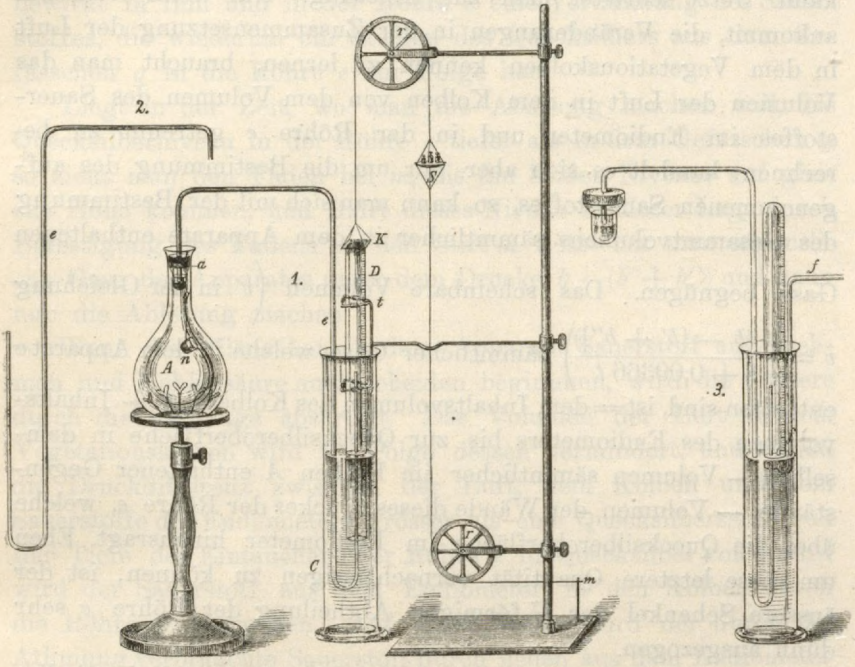
Auf diese Weise habe ich also die Sauerstoffaufnahme auf gasometrischem Wege, die Kohlensäureausgabe durch die Waage bestimmt.

[1] Pamiętnik Akademji Umiejętności w Krakowie. T. IX. u. Jahrbücher für wiss. Botanik. Bd. XIII. S. 491.

Diese Methode hat im Vergleich mit der üblichen gasometrischen den Vorzug, dass die Kohlensäure sich in der Luft des Apparates nicht speichert, sondern die Athmung immer fort in nahezu kohlensäurefreier Luft vor sich geht; sie theilt aber mit der gewöhnlichen Methode den Uebelstand, dass die Luft des Apparates immer ärmer an Sauerstoff wird.

Durch eine geringe Modification dieses Apparates ist es mir gelungen, diesem Uebelstande abzuhelfen, so dass in dem Apparate, welcher jetzt in meinem Laboratorium angewendet wird, die Luft während der ganzen Versuchszeit eine nahezu constante Zusammensetzung hat. Dieser Apparat ist in Fig. 1 abgebildet. Als Versuchsgefäss, in welchem die Versuchsobjecte enthalten sind, dient der Kolben *A*, dessen Inhaltsvolumen bis zu dem Striche *a* genau mittelst einer Bürette bestimmt ist. Der Kolben wird mit einem einfach durchbohrten Kork geschlossen. Um völlig luftdichten Verschluss zu erreichen, presst man den Kork bis zu dem Striche *a* in den Hals des Kolbens hinein, so dass der Hals des Kolbens noch etwa 10 Mm. hoch über die Oberfläche des Korkes hinausragt. In diesen Raum giesst man eine 6—8 Mm. hohe Schicht Quecksilber und darauf noch etwas Wasser. Im Korke steckt eine dreifach (zwei Mal unter dem rechten Winkel und ein Mal U-förmig) gebogene Röhre *e*, welche in Fig. 2 besonders abgebildet ist. Das Ende des kürzesten Schenkels dieser Röhre ist etwa 3 Mm. tief in Quecksilber, welches in dem Gefässchen *q* enthalten ist, eingetaucht. Die Oberfläche des Quecksilbers in diesem Gefässchen ist mit einer dünnen Schicht Wasser bedeckt. Das Gefässchen *q* ist mittelst Draht an dem Korke befestigt; an diesem Draht wird auch das Gefässchen *n* mit concentrirter Kalilauge aufgehängt. Der äussere Schenkel des U-förmigen Theils der Röhre *e* ist dünn ausgezogen. Der grosse Glascylinder *C*, welcher den U-förmigen Theil der Röhre *e* umgibt, ist bis $^2/_3$ seiner Höhe mit Quecksilber gefüllt. In dieses Quecksilber taucht also der grösste Theil der U-förmigen Abtheilung der Röhre *e*. Das Ende des dünnen Schenkels dieser Abtheilung ragt einige Centimeter hoch über die Quecksilberoberfläche empor. Ueber den dünnen Schenkel der Röhre *e* ist das Eudiometer *D* gestülpt. Dieses Eudiometer ist mit reinem Sauerstoffgas gefüllt; es ist auf einem Faden, welcher über die Rolle *r* läuft und an seinem anderen Ende das Schälchen *S* zur Aufnahme von Ge-

wichten trägt, aufgehängt. Zur Befestigung des Eudiometers an dem Faden dient ein Korkring K, in welchen das Ende des Eudiometers geschoben ist. Die Dreiecke t' und t'' dienen zur Erhaltung des Eudiometers in verticaler Lage. Diese Dreiecke sind aus Draht gefertigt, an welchen kleine Glasröhren geschoben sind. Diese Röhren können um den Draht wie um eine Axe rollen.



Diese Einrichtung hat den Zweck, die zwischen den Dreiecken und dem Eudiometer unvermeidliche Reibung zu vermindern.

Wenn man mit diesem Apparate experimentiren will, so fängt man damit an, dass man das Eudiometer und die Röhre e mit Sauerstoff füllt. Um dies zu erreichen, macht man zunächst die Zusammenstellung wie in Fig. 3 und leitet mittelst der Röhre f reines Sauerstoffgas so lange durch den Apparat hindurch, bis man sicher ist, dass sämmtliche Luft durch Sauerstoff verdrängt worden ist. Nun entfernt man die Röhre f, hängt das Gefässchen mit Kalilauge auf den Befestigungsdraht des Gefässchens q und durch Hineinpressen des Korkes in den Hals des Vegetationskolbens bringt die Röhre e mit demselben in Verbindung.

Jetzt giesst man noch auf den Kork in den Hals des Kolbens etwas Quecksilber, um den luftdichten Verschluss zu erreichen, bringt auf die Quecksilberoberfläche im Eudiometer etwas Wasser, um das Sauerstoffgas mit Wasserdampf zu sättigen, und lässt alles etwa eine halbe Stunde ruhig stehen, damit sich die Temperatur des Apparates mit der der umgebenden Luft ausgleichen kann. Jetzt schreitet man zur Ablesung. Nur wenn es darauf ankommt, die Veränderungen in der Zusammensetzung der Luft in dem Vegetationskolben kennen zu lernen, braucht man das Volumen der Luft in dem Kolben von dem Volumen des Sauerstoffes im Eudiometer und in der Röhre e getrennt zu berechnen; handelt es sich aber nur um die Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes, so kann man sich mit der Bestimmung des Gesammtvolumens sämmtlicher in dem Apparate enthaltenen Gase begnügen. Das scheinbare Volumen $\left(v'$ in der Gleichung $v = \frac{v'(b - [b' + b'])}{1 + 0{,}00366\, t}\right)$ sämmtlicher Gase, welche in dem Apparate enthalten sind, ist = dem Inhaltsvolumen des Kolbens A + Inhaltsvolumen des Eudiometers bis zur Quecksilberoberfläche in demselben — Volumen sämmtlicher im Kolben A enthaltener Gegenstände — Volumen der Wände dieses Stückes der Röhre e, welche über die Quecksilberoberfläche im Eudiometer hinausragt. Eben um diese letztere Quantität vernachlässigen zu können, ist der äussere Schenkel der U-förmigen Abtheilung der Röhre e sehr dünn ausgezogen.

Was den Druck anbetrifft, so steht der Sauerstoff im Eudiometer und in der Röhre e unter dem Drucke $b - (b' + b'')$, wo b den Barometerstand, b' die Differenz zwischen dem Quecksilberniveau in dem Eudiometer und in dem Cylinder C, b'' die Tension des Wasserdampfes im Eudiometer bezeichnet. Die Luft in dem Kolben A steht aber unter dem Drucke $b - (b' + b'') \pm b'''$, wo b''' die Differenz zwischen dem Quecksilberniveau in der Röhre b und in dem Gefässe q bezeichnet. Wenn $b = 0$, d. h. wenn das Quecksilberniveau in der Röhre e auf derselben Höhe wie im Gefässchen q steht, so steht die Luft in dem Kolben A unter demselben Drucke wie der Sauerstoff im Eudiometer. Dies ist ein für die Ablesung bequemster Fall, weil nun sämmtliche Gase des Apparates unter demselben Drucke stehen. Die Rolle r' dient

eben dazu, die Gleichheit des Gasdruckes im ganzen Apparate vor jeder Ablesung herzustellen. Ueber diese Rolle läuft von dem Schälchen S ein Faden, welcher während des Versuches frei hängt, für die Zeit der Ablesung aber durch Umbindung bei m befestigt werden kann. Zieht man diesen Faden bei m, so wird da durch das Eudiometer gehoben. Diese Hebung des Eudiometers bewirkt in ihm und in der Röhre e eine Verdünnung des Sauerstoffes, die wiederum ein Steigen des Quecksilbers aus dem Gefässchen q in die Röhre e zur Folge hat.

Liegt in der Zeit, wo man die Ablesung machen will, das Quecksilberniveau in der Röhre e tiefer als in dem Gefässchen q, so zieht man den Faden bei m, bis die beiden Niveaus auf gleiche Höhe kommen, und fixirt dieses Niveau in dieser Lage durch Befestigung des Fadens an den Stift m. Jetzt hat man sämmtliche Gase des Apparates unter dem Drucke $b - (b' + b'')$ und kann nun die Ablesung machen.

Wenn die Pflänzchen in dem Apparate Sauerstoff aufzunehmen und Kohlensäure auszuscheiden beginnnen, wird die letztere durch die Kalilauge absorbirt. Das Volumen der Luft in dem Vegetationskolben wird in Folge dessen vermindert, und sobald die Druckdifferenz zwischen der Luft, dem Kolben und dem Sauerstoffe des Eudiometers grösser als eine Quecksilbersäule von der Tiefe des Eintauchens der Röhre e im Quecksilber von q wird wird der Sauerstoff aus dem Eudiometer in den Kolben durch die Röhre e übergehen. Auf diese Weise wird der durch die Athmung verbrauchte Sauerstoff durch neuen aus dem Eudiometer ersetzt, so dass die Zusammensetzung der Luft in dem Kolben unverändert bleibt. Nun wird aber auch der Druck des Sauerstoffes im Eudiometer vermindert. Wäre das Eudiometer in seiner Lage befestigt, so müsste in ihm das Quecksilber aus dem Cylinder C steigen; da es aber nur auf der Rolle r aufgehängt ist, so wird es in Folge des atmosphärischen Ueberdruckes immer tiefer im Quecksilber des Cylinders C sinken. Wenn bei r, t und t' keine Reibung wäre, und wenn die Wandungen des Eudiometers unendlich dünn wären, so bliebe bei dieser Einrichtung das Quecksilberniveau im Eudiometer immer auf derselben Höhe wie in dem Cylinder C, und so würde die Luftpressung in dem Vegetationskolben fortwährend dem atmosphärischen Drucke gleich bleiben; da dies aber nicht der Fall ist. so muss ein Theil des

atmosphärischen Ueberdruckes sich auf das Ueberwinden der Reibung (bei r, t und t') und des hydrostatischen Druckes des Quecksilbers auf die Wandungen des Eudiometers verbrauchen, in Folge dessen wird also doch eine geringe Hebung des Quecksilbers im Eudiometer eintreten. Je tiefer schon das Eudiometer im Quecksilber gesunken ist, um so grösser sind die für die weitere Senkung zu überwindenden Widerstände, um so höher wird sich also das Quecksilber in dem Eudiometer erheben. Da es bei unserem Apparate darauf ankommt, die partiäre Pressung des Sauerstoffes im Vegetationskolben immer constant zu erhalten, so muss Sorge getragen werden, dieser Hebung des Quecksilbers im Eudiometer entgegen zu wirken. Zu diesem Zwecke dient das mit Gewichten belastete Schälchen S. Sobald das Quecksilber in dem Eudiometer zu steigen beginnt, entfernt man die Gewichte, bis das Eudiometer so tief gesunken ist, dass die Quecksilberoberflächen in dem Eudiometer und in dem Cylinder auf dasselbe Niveau kommen. Sind schon sämmtliche Gewichte aus dem Schälchen entfernt, und reicht das noch nicht hin, um die entsprechende Senkung des Eudiometers herbeizuführen, so legt man die Gewichte auf den Korkring K, bis die gewünschte Senkung erreicht wird.

Auf diese Weise ist es möglich, einen annähernd constanten Gasdruck und zugleich eine annähernd constante Zusammensetzung der Luft in dem Vegetationskolben Tage lang zu erhalten. Nur wenn man längere Zeit hindurch die Senkung des Eudiometers mit den Gewichten zu reguliren versäumt, oder wenn während des Versuches sehr starke Schwankungen des Barometerstandes stattfinden, können grössere Schwankungen in der Zusammensetzung der Luft im Apparate eintreten.

Auch wenn das Eudiometer so weit gesunken ist, dass sein Rand auf die gebogene Stelle der Röhre e stösst, ist es nicht absolut nothwendig, den Versuch abzubrechen; will man ihn weiter fortsetzen, so darf man nur die Ablesung vornehmen, eine entsprechende Quantität Sauerstoff in das Eudiometer einführen und wieder eine Ablesung machen (um zu erfahren, wie viel Sauerstoff eingeführt wurde). Nachdem dieses vorgenommen, kann man den Apparat ruhig weiter arbeiten lassen.

Ist die für den Versuch bestimmte Zeit vorüber, so tritt man zur letzten Ablesung des Gesammtvolumens der Gase im Apparate. Wurde kein Sauerstoff nachträglich eingeführt, so wird die

Menge des von den Pflanzen aufgenommenen Sauerstoffes sofort durch den Unterschied zwischen der ersten und letzten Ablesung angezeigt; hat eine nachträgliche Einführung des Sauerstoffes stattgefunden, so muss die Menge desselben bei der Berechnung des anfänglichen Volumens mit berücksichtigt werden.

Will man sich erkundigen, in wie weit die Zusammensetzung der Luft in dem Vegetationskolben unverändert geblieben ist, so kann man sich mit der Ablesung des Gesammtvolumens sämmtlicher im Apparate enthaltenen Gase nicht begnügen, sondern man muss das Volumen der Luft in dem Vegetationskolben besonders berechnen: aus der Verminderung oder Vergrösserung dieses Volumens lässt sich die Veränderung in der Zusammensetzung der Luft berechnen.

Sofort, nachdem man die Ablesung gemacht hat, öffnet man den Apparat, giesst die Kalilauge aus dem Gefässchen *n* in ein kleines Kölbchen, verdünnt mit Wasser, schliesst das Kölbchen mit einem guten Korke und bewahrt es für Kohlensäurebestimmung in einem kohlensäurefreien Raum. Sobald man mit diesen Manipulationen fertig ist, füllt man das Eudiometer und die Röhre *e* aufs Neue mit Sauerstoff, hängt unter *q* ein neues Gefässchen mit Kalilauge, stellt den Apparat zusammen und setzt das Experiment weiter fort.

In der zur Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure aufbewahrten Kalilauge fällt man die Kohlensäure mittelst $BaCl_2$, sammelt den Niederschlag auf dem Filter, wäscht ihn entweder mit ammoniakalischem Wasser, oder zunächst mit einem mit $BaCO_3$ gesättigten und zuletzt mit reinem Wasser, trocknet den Niederschlag, glüht und wägt. Aus dem Gewichte von $BaCO_3$ kann man nun das Volumen der ausgeschiedenen CO_2 leicht berechnen. Da das käufliche Kalihydrat, aus welchem man die Kalilauge bereitet, nie von kohlensaurem Kali frei ist, so wird die Kohlensäure dieser Verunreinigung durch $BaCl_2$ mitgefällt, wodurch natürlich die Menge des Niederschlages bedeutend vermehrt wird. Um richtige Resultate zu erhalten, ist es unerlässlich, eine entsprechende Correction durchzuführen. Zu diesem Zwecke bestimmt man vorerst in einer besonderen Probe die Menge des Niederschlages, welcher aus 1 g. Kalilauge durch $BaCl_2$ gefällt wird, wägt immer vor dem Versuche die zur Absorption der Koh-

lensäure bestimmte Kalilauge, und berechnet danach die Menge des Niederschlages, welche von der gefundenen abzuziehen ist.

Auf diese Weise kann man ganz wie mit meinem früheren Apparate Wochen lang mit demselben Objecte experimentiren und eine ganze Reihe von Bestimmungen des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure durchführen.

Die Fehlerquellen, welche bei der Anwendung des beschriebenen Apparates in Betracht kommen, sind dieselben, wie ich sie für meinen früheren Apparat in meiner Abhandlung über Pflanzenathmung geschildert habe[1]. Die wichtigste dieser Fehlerquellen ist die, dass man nicht sofort nach der Zusammenstellung des Apparates die Ablesung machen kann, sondern dass man immer warten muss, bis die Temperatur des Apparates mit der der aüsseren Luft ins Gleichgewicht kommt. Die Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes erstreckt sich demnach auf die Zeit zwischen der ersten und letzten Ablesung, die Bestimmung der ausgeschiedenen Kohlensäure auf die Zeit zwischen der Zusammenstellung des Apparates bis zur Oeffnung desselben. Diesen Fehler kann man wenigstens theilweise dadurch corrigiren, dass man die Zeit zwischen der Zusammenstellung des Apparates und der ersten Ablesung genau notirt, und dann nach dem Resultate des Versuches berechnet, wie viel Sauerstoff während einer solchen Zeit aufgenommen werden musste.

Andere Fehlerquellen sind unbedeutend und bedürfen meist keiner besonderen Correction (s. meine cit. Abhandlung).

Der eben beschriebene Apparat wurde nach meinen Angaben von Herrn Student Jentys in meinem Laboratorium zusammengestellt und hat sich bei der Handhabung als sehr zweckmässig erwiesen.

So stimmte z. B. bei den Versuchen, welche Herr Jentys mit diesem Apparate über die Athmung der Blüthenknospen von *Philadelphus coronarius* unternahm, das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes bis auf wenige Zehntel von Cubikcentimetern mit dem Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure überein; auch die Versuche über die Athmung des keimenden Weizens haben, was das Verhältnis $\frac{CO_2}{O}$ anbetrifft, mit den von mir früher erlangten ganz übereinstimmende Resultate geliefert.

[1] l. c. S. 495.

Mittelst des beschriebenen Apparates werden jetzt in meinem Laboratorium von Herrn Jentys Untersuchungen über den Einfluss der partiären Pressung des Sauerstoffes auf die Athmung angestellt. Zu solchen Untersuchungen eignet sich der Apparat ganz vorzüglich, nur muss dann der Kolben *A* anstatt mit gewöhnlicher Luft mit einem Gasgemisch von gewünschtem Sauerstoffgehalt gefüllt werden.

Zu diesem Zweck bereitet man zunächst das gewünschte Gasgemisch vorräthig in einem geräumigen Gasometer und lässt dann dasselbe so lange durch den Apparat passiren, bis man sicher ist, dass sämmtliche Luft durch das Gasgemisch verdrängt worden ist. Für solche Versuche muss selbstverständlich der Apparat eine geringe Adaptation erfahren; er muss nämlich mit einem Zu- und Ableitungsrohr versehen werden. Zu diesem Zwecke ist der Kork, welcher den Kolben *A* schliesst, nicht ein Mal, sondern dreifach durchbohrt: in einer Bohrung steckt die Röhre *e*, in der zweiten ein kurzes Zuleitungsrohr, welches bei der Durchleitung der Gase durch den Apparat mit dem Gasometer in Verbindung gesetzt wird, und endlich in der dritten Bohrung steckt das Ableitungsrohr, welches in seinem unteren Theile dünn ausgezogen ist und fast bis zum Boden des Kolbens reicht. Damit die atmosphärische Luft durch dieses Ableitungsrohr nicht in den Apparat dringen könne, verbindet man es mit einem längeren Glasrohr, welches während des Durchleitens der Gase unter Wasser taucht.

Um den Apparat nach der Erfüllung mit dem gewünschten Gasgemisch schliessen zu können, müssen die Zu- und Ableitungsrohre entweder an einer Stelle dünn ausgezogen werden, so dass man sie dann an dieser Stelle leicht abschmelzen kann, oder sie müssen mit Glashähnen versehen werden. Enthält das Gasgemisch, welches man zu den Versuchen benutzt, Wasserstoff oder irgend ein verbrennliches Gas, so ist die Anwendung von Glashähnen unumgänglich, da bei der Abschmelzung der Röhren eine Explosion eintreten könnte.

Versäumt man nicht das Niveau des Quecksilbers im Eudiometer sorgfältig zu reguliren, so erhält sich das Gasgemisch in dem Kolben während der ganzen Dauer des Versuches in nahezu constanter Zusammensetzung und jeder Zeit kann man sich durch Ablesung und Berechnung des Gasvolumens in dem Kolben überzeugen, in wie weit diese Zusammensetzung unverändert geblieben ist.

Auf diese Weise kann man z. B. den ganzen Keimungsprocess der Samen in einem Gasgemisch, welches constant 15, 10 oder nur 5 Procent Sauerstoff enthält, sich abspielen lassen, und während der ganzen Dauer dieses Processes Bestimmungen von Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung vornehmen.

Ueber die Versuche, welche eben mit diesem Apparate bei uns ausgeführt werden, wird später eine Mittheilung folgen.

Dublany, 2. August 1882.

Beiträge zur Kenntniss der Pflanzenathmung.

(Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Bd. XIII, 1882, pp. 491—543).

Experimente in Bezug auf Pflanzenathmung sind sehr zahlreich und die Literatur dieses Gegenstandes sehr umfangreich. Dennoch sind unsere Kenntnisse über diesen höchst wichtigen physiologischen Process ziemlich mangelhaft. Sowohl die Abhängigkeit der Pflanzenathmung von den äusseren Einflüssen als noch vielmehr die Art und Weise, wie sich die chemischen Vorgänge bei der Athmung abspielen, sind uns sehr unvollständig bekannt. Von den äusseren Einflüssen wurde noch am eingehendsten die Wirkung der Temperatur studirt. Viel weniger ist die Wirkung des Lichtes, sowie auch der Einfluss des partiären Druckes des Sauerstoffes auf die Athmung zum Gegenstande eingehender Untersuchungen geworden. In der Erforschung der chemischen Vorgänge der Athmung und in der Präcisirung des Zusammenhanges der Athmung mit der Stoffumwandlung sind erst in der neuesten Zeit durch die Arbeiten von Boussingault, Sachsse, Detmer u. A. die ersten Schritte gemacht.

Ich habe mich bei meinen Versuchen, welche hauptsächlich an Keimpflanzen angestellt waren, auf die Feststellung zweier Fragen beschränkt:

1. Welchen Einfluss hat der partiäre Druck des Sauerstoffes auf die Athmung.

2. Wie gestalten sich die Verhältnisse der Gasvolumina des eingeathmeten Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure in verschiedenen Keimungsperioden der Fett- und Stärke-Samen.

Endlich habe ich auch die Verhältnisse dieser Gasvolumina an den Blüthenknospen und an reifenden Früchten des Mohns untersucht.

Methode und Fehlerquellen.

Der Apparat, mit welchem ich experimentirte, hat eine gewisse Aehnlichkeit mit A. Mayer's Athmungsapparat, nur ist er viel einfacher und kann von Jedermann mit der grössten Leichtigkeit hergestellt werden. Es ist ein einfacher Kolben aus dickem Glas *A*, dessen Volumen (welches ungefähr 400 CC. beträgt) bis zu einem Striche *a*, welchen er an seinem Halse trägt, genau mittelst einer Bürette bestimmt ist. In diesem Kolben werden die zum Versuche bestimmten Samen oder andere Pflanzentheile auf nasses Fliesspapier oder auf befeuchtete Baumwolle gebracht. Der Kolben wird mit einem gut schliessenden doppelt durchbohrten Kork geschlossen. Im Korke stecken zwei Röhren: die eine, *b*, ist an der äusseren Spitze ausgezogen und zugeschmolzen, sie bleibt während der ganzen Versuchszeit geschlossen; die andere, *e*, ist zweimal unter rechtem Winkel gebogen und in Quecksilber, welches in dem Gefässe *n* enthalten ist, eingetaucht. Der äussere Schenkel dieser Röhre ist calibrirt und mit einer Millimeterscala versehen. An einem Häkchen an der Röhre *b* hängt ein kleines Gefäss (*g*) mit abgewogener Menge concentrirter Kalilauge.

Für das Gelingen des Versuches ist ein völlig sicherer luftdichter Verschluss des Apparates erforderlich; um diesen zu erreichen, verfährt man folgender Weise: Man verwendet einen guten, aber nur etwa 13—15 mm hohen Kork, welchen man bis zu dem Striche *a* in den Hals des Kolbens hineinpresst, so, dass der Hals des Kolbens noch etwa 10 mm hoch über die Oberfläche des Korkes hinausragt. In diesen Raum des Halses giesst man auf den Kork eine 6—8 mm hohe Schicht Quecksilber, darauf noch etwas Wasser und nun braucht man nicht mehr zu fürchten, dass die äussere Luft in den Apparat bei negativem Drucke hineindringen könnte. Um das richtige Volumen der Luft, in welcher die Samen eingesperrt sind, zu erhalten, muss man zu dem Volumen des Kolbens *A* den Inhalt der Röhre *b* bis zum Striche *a* und der Röhre *e* bis zum Quecksilberniveau[1] addiren, dagegen das Volumen sämmtlicher Gegenstände, welche in dem Apparate

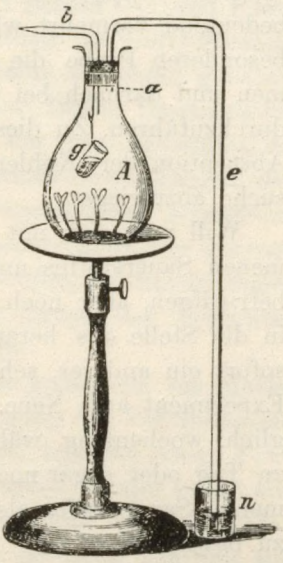
[1] Eine genaue Ablesung des Quecksilberniveaus in der Röhre *e* ist nur dann möglich, wenn dieselbe höher als das Quecksilberniveau im Gefässe *n* liegt. Das ist nun leicht dadurch zu erreichen, dass man den Kolben *A*, bevor man die Röhre *e* in Quecksilber taucht, etwas mit der Hand erwärmt.

enthalten sind, von demselben abziehen. Das so corrigirte Luftvolumen wird dann nach der bekannten Formel

$$\lg v = \lg v' + \lg(b - b' - b'') - \lg(1 + 0.00366\,t)$$

auf 1 m Druck, 0° Temperatur und Trockenzustand reducirt.

Bevor man nach der Zusammenstellung des Apparates zur Volumenablesung tritt, muss man etwa $^1/_2$ Stunde abwarten, damit sich die Temperatur des Apparats mit der der umgebenden Luft ausgleichen konnte.



Sobald die Samen den Sauerstoff einzuathmen und die Kohlensäure auszuhauchen beginnen, wird die letztere durch die Kalilauge absorbirt. Das Volumen der Luft im Apparate wird in Folge dessen vermindert und das Quecksilber fängt an, in der Röhre *e* zu steigen. Von Zeit zu Zeit kann man die Höhe des Quecksilberniveaus in der Röhre *e* ablesen [1] und danach die Volumenverminderung der Luft in dem Apparate berechnen. Diese Volumenverminderung giebt uns direckt das Volumen des eingeathmeten Sauerstoffes.

Was nun die ausgeschiedene Kohlensäure anbetrifft, so ist zu bemerken, dass die ganze Menge derselben von der Kalilauge absorbirt in dem Gefässe *g* als kohlensaures Kali enthalten ist und also in dieser auch bestimmt werden kann. Um diese Bestimmung auszuführen, bricht man die ausgezogene Spitze der Röhre *b* ab, öffnet den Apparat, giesst die Kalilauge aus dem Gefässchen *g* in ein kleines Kölbchen aus, verdünnt dasselbe mit Wasser und fällt die Kohlensäure mittelst $BaCl_2$. Der Niederschlag wird auf dem Filter gesammelt, gewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. Zum Waschen des Niederschlags benutzte ich entweder ammoniakalisches Wasser, welches vollständig frei von kohlensaurem Ammoniak war, oder zunächst ein mit $BaCO_3$ gesättigtes und zuletzt reines Wasser. Aus dem Gewichte des kohlensauren Baryt berechnet man die Menge der Kohlensäure, welche

[1] Selbstverständlich wird gleichzeitig die Temperatur nnd der Barometerstand abgelesen.

man dann auf das Volumen bei 0° und 1 m Quecksilberdruck umrechnet.

Es ist einleuchtend, dass man bei dieser Bestimmung noch eine Berichtigung einführen muss. Das käufliche Kalihydrat, von welchem man die Kalilauge bereitet, so rein es auch sein mag, ist nie von einer gewissen Menge von kohlensaurem Kali frei. Die Kohlensäure dieser Verunreinigung wird durch Chlor-Baryum mitgefällt, wodurch also die Menge der niedergeschlagenen $BaCO_3$ bedeutend vermehrt wird. Es ist also unerlässlich, vorerst in einer besonderen Probe die Menge dieser Verunreinigung zu bestimmen und darnach bei dem Versuche die entsprechende Correction durchzuführen. Zu diesem Zwecke ist eben erforderlich, die zur Absorption der Kohlensäure bestimmte Kalilauge vor dem Versuche abzuwiegen.

Will man sich mit einer einzigen Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure nicht befriedigen, aber noch weiter experimentiren, so setzt man nun in die Stelle des herausgenommenen Gefässchens mit Kalilauge sofort ein anderes, schliesst wieder den Apparat und beginnt das Experiment aufs Neue. Auf diese Weise war es mir z. B. möglich, wochenlang während der Keimung der Samen, von Tag zu Tag oder sogar noch öfter, die Menge sowohl des aufgenommenen Sauerstoffes als auch die der ausgeschiedenen Kohlensäure zu bestimmen.

Um die Wirkung der partiären Pressung des Sauerstoffes auf die Athmung zu untersuchen, habe ich oft gleichzeitig zwei Apparate zusammengestellt, deren einer mit Luft, der andere mit reinem Sauerstoff gefüllt war. Um den Apparat mit Sauerstoff zu füllen, leitete ich dieses Gas aus einem Gasometer so lange durch den Apparat hindurch, bis ich hoffen konnte, dass sämmtliche Luft durch den Sauerstoff verdrängt worden ist. Nachdem dies geschehen ist, wurde die Röhre *b*, durch welche der Sauerstoff in den Apparat trat, und welche vorerst an einer Stelle ausgezogen wurde, an dieser Stelle abgeschmolzen, und dadurch der Apparat geschlossen. Der Sauerstoff vor dem Eintritt in den Apparat wurde mit concentrirter Kalilauge gewaschen. Nach jeder Kohlensäurebestimmung muss natürlich der Apparat aufs Neue mit Sauerstoff gefüllt werden.

Die eben beschriebene Methode liefert bei sorgfältiger Ausführung sehr befriedigende Resultate, ist jedoch von einigen Feh-

lerquellen, denen man Rechnung tragen muss, nicht frei. Diese Fehlerquellen sind folgende:

1. Bei dem namhaften Volumen der Luft, mit welchem man experimentirt, muss man auf die genaue Ablesung der Temperatur und des Barometerstandes die grösste Sorgfalt verwenden, da jede Ungenauigkeit in dieser Hinsicht sehr stark die Resultate des Versuchs beeinflusst. So z. B. 1° C. in der Ablesung der Temperatur macht bereits eine Differenz um 1 ganzes CC. und 1 mm Quecksilberdruck um 0,4 CC. bei der Ablesung des Luftvolumens. Bei meinen Versuchen wurde die Temperatur an einem genauen in $^1/_{10}$° C. getheilten Thermometer abgelesen. Dieses Thermometer steckte in einem ähnlichen Kolben, wie der des Apparates, so dass man hoffen konnte, dass die Temperaturschwankungen der Luft des Apparates genau von dem Thermometer angegeben wurden. Die Keimung der Samen selbst konnte zwar eine geringe Temperatursteigerung im Apparate hervorrufen, bei der geringen Zahl der Samen aber und bei namhafter Grösse des Apparates konnte dieser Fehler vernachlässigt werden.

2. Der Kork konnte nicht immer ganz genau bis zur Marke *a* geschoben werden; auch bei der Bestimmung des Volumens der Samen, der Baumwolle, des Fliesspapiers etc. konnten einige Fehler begangen werden. Mögen diese sämmtlichen Fehler sogar ein ganzes CC. erreichen, so haben sie doch bei dem namhaften Gesammt-Volumen der Luft nur einen sehr geringen Einfluss auf die Resultate des Versuches, da sie sich in derselben Weise bei allen Ablesungen wiederholen.

3. Die grösste Fehlerquelle liegt darin, dass man nicht sofort nach der Zusammenstellung des Apparates die Ablesung machen kann, sondern immer abwarten muss, bis die Temperatur des Apparates mit der der äusseren Luft ins Gleichgewicht kommt. Die Bestimmung des eingeathmeten Sauerstoffes erstreckt sich also nur auf die Zeit zwischen der ersten und der letzten Ablesung, die Bestimmung der ausgeathmeten Kohlensäure aber, auf die Zeit von der Zusammenstellung des Apparates bis zur Oeffnung desselben: die letzte Zeit ist also um $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunde länger als die erste. Diesen Fehler habe ich darin zu corrigiren gesucht, dass ich die entsprechende Zeit genau notirte und nach dem Resultate des Experimentes berechnet habe, wie viel Sauerstoff während einer solchen Zeit aufgenommen werden musste.

Nehmen wir z. B. an, dass die Zeit zwischen der ersten und letzten Ablesung 24 Stunden betrug, und dass in dieser Zeit 18 CC. Sauerstoff von den Keimpflanzen eingeathmet wurden, nehmen wir weiter an, dass der ganze Versuch (von der Zusammenstellung des Apparates bis zur Oeffnung desselben) $24^1/_2$ Stunden gedauert hat, so ergiebt sich für diese Zeit nach der Proportion $24 : 18 = 24^1/_2 : x$, $x = 18{,}37$ CC. des aufgenommenen Sauerstoffes. Diese Correction kann den Fehler nur dann vollständig beseitigen, wenn die Athmungsgeschwindigkeit von Anfang des Versuchs bis zum Ende desselben unverändert bleibt; das ist nun aber nicht immer der Fall und somit wird hier oft ein gewisser Fehler begangen. Dieser Fehler beeinträchtigt um so weniger die Versuchsresultate, je länger der Versuch dauert.

4. Eine nur scheinbare Fehlerquelle ist durch das Wachsthum der Pflänzchen in dem Kolben gegeben. Je mehr die Pflänzchen gewachsen sind, ein um so grösseres Volumen der Luft ist durch dieselben gedrungen. Dieses Wachsthum findet aber auf Kosten des in dem Kolben sich befindenden Wassers statt, folglich: das Volumen der Pflänzchen und des Wassers zusammen bleibt immer dasselbe.

5. Bei der Bestimmung der Kohlensäure durch Fällung derselben mit Barytsalz bleibt oft beim Filtriren ein Theil des Niederschlages so fest an den Wänden des Kölbchens haften, dass es unthunlich ist, ihn abzuwaschen und auf den Filter zu bringen. Um den aus diesem Verlust hervorgehenden Fehler zu vermeiden, habe ich in solchen Fällen das Kölbchen getrocknet, schwach am Gas oder der Spirituslampe geglüht und gewogen, dann mit Salzsäure gewaschen, wieder getrocknet und abermals gewogen. Der Unterschied zeigte das Gewicht des in dem Kölbchen zurückgebliebenen Niederschlages des kohlensauren Baryts, welchen ich nun dem Gewichte des ganzen Niederschlages addirte.

6. Die atmosphärische Luft enthält bekanntlich immer eine gewisse Quantität Kohlensäure, die Luft des Apparats also enthält schon am Anfang des Versuches eine geringe Menge dieses Gases, welche, von Kalilauge absorbirt, die Menge der gefundenen Kohlensäure vergrössert. In dem Apparate waren ungefähr 250 CC. auf 1 Meter Druck und 0° Temp. reducirter Luft enthalten; angenommen, dass diese Luft $^1/_{20}$ pCt. Kohlensäure enthält, ist die Menge dieses Gases im Apparate beim Anfange des Versuches

0,15 CC., welche Menge also von der gefundenen abzuziehen ist. Diese Correction beseitigt den Fehler nicht vollständig, da die Zimmerluft oft mehr als $^1/_{20}$ pCt. Kohlensäure enthält.

7. Es konnte noch fraglich erscheinen, ob die Absorption der ausgeschiedenen Kohlensäure durch Kalilauge mit hinreichender Schnelligkeit erfolgt, ob namentlich im Momente der Oeffnung des Apparates noch eine gewisse Menge Kohlensäure nicht frei in der Luft des Apparates bleibt. Um mich darüber zu erkundigen, habe ich zwei Versuche angestellt, bei welchen vor der Oeffnung des Apparates ein starker Strom von kohlensäure-freier Luft aus dem Gasometer durch den Apparat und dann durch Barytwasser geleitet wurde. Das Barytwasser blieb dabei in beiden Versuchen fast gänzlich ungetrübt.

Zusammenstellung der Versuche und deren Ergebnisse.

I. Athmung der keimenden Fettsamen.

Versuch I.

Raphanus sativus.

Am 30 Januar $4^1/_2$ Uhr Abends wurden im Apparate 200 Samen am feuchten Fliesspapier ausgelegt. Die Samen wogen 2,612 gr. Unter Fliesspapier wurde noch ein bischen Baumwolle gelegt.

Die Zeit des Versuches					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC.	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC.	O aufgenommen in 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden in 1 Stunde von 1 gr Samen	Auf 100 Theile des aufgenommenen O ausgeschieden CO_2
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
16	30. Jan.	$4^1/_2$ Ab.	31. Jan.	$8^1/_2$ Fr.	20,0—21,0	3,03	2,58	0,07	0,06	81,8
$23^1/_2$	31. »	$8^3/_4$ Fr.	1. Febr.	$8^1/_4$ »	17,0—20,2	7,99	7,90	0,13	0,13	98,9
$23^3/_4$	1. Febr.	$8^1/_2$ »	2. »	$8^1/_4$ »	17,9—16,3	26,10	19,09	0,42	0,30	73,1
9	2. »	$8^1/_2$ »	2. »	$5^1/_2$ Ab.	17,7—21,6	24,08	14,05	1,03	0,60	58,3
$15^1/_4$	2. »	$5^3/_4$ Ab.	3. »	9 Fr.	19,9—17,9	34,58	20,51	0,87	0,53	59,6

Das Volumen des Kolbens bis zum Striche *a* betrug 375,6 CC. Zur Befeuchtung der Baumwolle und des Fliesspapiers wurden 6 CC. Wasser in den Apparat gegossen. Während des 5-tägigen Dauerns des Versuches hat man noch 8 CC. Wasser zugegeben, um das durch das Wachsthum der Pflänzchen verbrauchte Wasser

zu ersetzen. Der Versuch wurde am 3. Februar abgeschlossen um diese Zeit haben schon die Wurzelchen eine Länge von über 20 mm erreicht und waren dicht mit Wurzelhaaren bedeckt, die Hypocotylen waren deutlich differenzirt und die Cotyledonen fingen an, sich zu entwickeln. Die Resultate sind in der Tabelle S. 385 zusammengestellt.

Versuch II.

Raphanus sativus.

Am 27. Januar wurden 150 Samen im Apparate am feuchten Fliesspapier ausgelegt. Die Samen wogen 1,955 gr. Der Versuch dauerte zwei Tage, erstreckte sich also nur auf das allererste Keimungsstadium. Die Resultate waren:

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC.	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC.	Bemerkungen
in Stunden	von		bis					
	Tag	Uhr	Tag	Uhr				
$22^1/_2$	27. Jan.	$4^1/_2$ Ab.	28. Jan.	3 Ab.	18–19,5	3,13	2,83	Die Samen sind gequollen, aber noch kein einziger gekeimt.
$20^1/_2$	28. Jan.	$3^1/_2$ Ab.	29. Jan.	$11^3/_4$ Fr.	19,2—20	6,32	5,93	Die meisten Samen gekeimt.

Versuch III.

Raphanus sativus.

Am 1. Mai 1878 wurden zwei Apparate zusammengestellt, deren einer mit Luft, der andere mit Sauerstoff gefüllt war. Jeder Apparat enthielt 50 Samen des Rettigs von 0,74 gr. Gewicht. Die Samen waren vorher im Wasser eingequollen. Der Versuch hat 12 Tage gedauert und jede 24 Stunden wurden die Mengen des eingeathmeten Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure bestimmt. Die Resultate waren folgende:

Die Zeit des Versuchs	Temperatur	Der Apparat mit Sauerstoff gefüllt			Der Apparat mit Luft gefüllt		
		Die Menge des aufgenommenen O in CC.	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC.	CO_2 ausgeschieden auf 100 Theile d. aufgenommenen O	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	CO_2 ausgeschieden auf 100 Theile d. aufgenommenen O
Während der 1.48 Stunden	16,5—18,8	10,75	8,59	81,7	9,27	6,85	73,8
» » 3.24 »	17,3—18	17,37	10,75	61,8	16,22	10,59	65,3
» » 4.24 »	16,8—17,4	20,10	11,76	58,6	19,53	12,05	61,7
» » 5.24 »	16,0—17,4	22,65	13.74	60,7	x[1]	x[1]	x[1]
» » 6.24 »	17,2—18,9	21,39	13,66	63,8	26,27	16,16	62,1
» » 7.24 »	17,9—18,4	17,90	12,69	71,5	23,11	15,59	67,0
» » 8.24 »	15,0—15,7	15,44	11,24	72,8	19,53	12,82	65,7
» » 9.24 »	14,9—15,5	12,88	9,03	75,0	15,17	10,92	72,7
» » 10.24 »	15,0—15,6	13,50	10,12	75,0	15,62	11,36	74,1
» » 11.24 »	15,3—16	11,55	10,04	86,9	14,62	11,64	79,6

Versuch IV.

Raphanus sativus.

In diesem Versuche wollte ich die Wirkung der partiären Pressung des Sauerstoffes auf die Athmung der Keimpflanzen des Rettigs untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden die Ablesungen des eingeathmeten Sauerstoffes nicht blos wie im vorigen Versuche jede 24 Stunden, aber jede 3 Stunden gemacht. Je länger die Samen in dem Apparate bleiben, desto mehr erschöpfen sie dessen Luft an Sauerstoff; bestimmt man also jede 3 Stunden die Volumenverminderung der Luft, so wird dadurch sichtbar, inwieweit die Athmung von der Verminderung der partiären Pressung des Sauerstoffes beeinflusst wird.

Dieser Versuch war auch mit Apparaten, deren einer mit Luft, der andere mit Sauerstoff gefüllt war, gemacht. Jeder Apparat enthielt 120 Samen von 1,454 gr. Gewicht. Die Samen waren vor dem Versuche in Wasser eingequollen. Der Versuch dauerte von 5. bis 14. Juli 1878. Die Samen, welche im Sauerstoffe verweilten, fingen an, früher zu keimen, als die in der Luft, aber am Ende des Versuches waren die Luftpflänz-

[1] Verunglückt.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Der Apparat mit O gefüllt					Der Apparat mit Luft gefüllt				
in Stunden	von Tag	von Uhr	bis Tag	bis Uhr		Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen von 1 gr Samen pro 1 Stunde	partiäre Pressung des O	CO_2 ausgeschied. auf 100 Th. d. aufgenommenen O	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen von 1 gr Samen pro 1 Stunde	partiäre Pressung des O	CO_2 ausgeschied. auf 100 Th. d. aufgenommenen O
21	5. Juli	8 Ab.	6. Juli	5 Ab.	17 —18,5	6,03	5,39	0,18	—	90	3,28	3,22	0,10	—	98
13	6. »	5 »	7. »	6 Fr.	18 —20	9,72	6,98	0,56	—	72	4,22	3,98	0,24	—	94,3
12	7. »	7 Fr.	7. »	7 Ab.	16 – 20	15,40	10,41	0,88	—	67,6	11,28	8,35	0,65	—	74
12	7. »	8 Ab.	8. »	8 Fr.	17 —19	21,70	12,24	1,25	—	56,4	17,24	10,65	0,98	—	61,7
25	8. »	9 Fr.	9. »	10 »	18 —20	52,32	27,94	1,38	—	53,4	36,82	21,98	1,01	—	59,8
23	9. »	11 »	10. »	10 »	19 – 21,5	50,22	29,31	1,38	—	58,4	39,9	22,84	1,12	—	58,2
21	10. »	11 »	11. »	8 »	19 —22	42,93	26,41	1,38	—	61,4	34,8	21,06	1,14	—	60,5
3	11. »	9 »	11. »	12 M.	19 —22	5,57	—	1,28	0,7076	—	6,40	—	1,47	0,1377	—
3	11. »	12 M.	11. »	3 Ab.	21,5 – 22,3	5,16	—	1,18	0,6952	—	5,87	—	1,34	0,1198	—
3	11. »	3 Ab.	11. »	6 »	21,5 – 22,5	6,00	—	1,38	0,6781	—	5,17	—	1,18	0,1030	—
2	11. »	6 »	11. »	8 »	20,5 – 21,5	4,61	—	1,52	0,6626	—	2,62	—	0,90	0,0909	—
$11^1/_2$	11. »	$8^1/_2$ Fr.	11. »	8 »	19 —22,5	22,11	13,89	—	—	62,9	21,06	11,76	1,26	—	55,8
$9^1/_4$	11. »	$8^3/_4$ Ab.	12. »	6 Fr.	19 – 20,5	13,22	—	1,01	0,6932	—	17,09	—	1,35	0,1198	—
3	12. »	6 Fr.	12. »	9 »	19 —20	4,87	—	1,12	0,6675	—	4,76	—	1,03	0,0869	—
3	12. »	9 »	12. »	12 M.	20 —22	4,50	—	1,04	0,6527	—	3,44	—	0,79	0,0748	—
3	12. »	12 M.	12. »	3 Ab.	22 —23	4,52	—	1,05	0,6471	—	2,75	—	0,63	0,0657	—
3	12. »	3 Ab.	12. »	6 »	22 —23,7	4,66	—	1,07	0,6339	—	2,26	—	0,52	0,0581	—
$21^3/_4$	11. »	$8^1/_4$ Ab.	12. »	6 »	19 —23,7	32,37	24,22	—	—	74,8	31,06	20,30	0,99	—	65,3
$10^1/_2$	12. »	$7^1/_2$ »	13. »	6 Fr.	20 – 23	13,72	—	0,90	0,7126	—	20,26	—	1,34	0,1418	—
3	13. »	6 Fr.	13. »	9 »	20 – 21,5	4,48	—	1,03	0,6685	—	4,97	—	1,14	0,0791	—
3	13. »	9 »	13. »	12 M.	21 —23,5	4,53	—	1,05	0,6588	—	4,10	—	0,94	0,0643	—
3	13. »	12 M.	13. »	3 Ab.	23 —24,5	4,25	—	0,97	0,6514	—	2,95	—	0,68	0,0522	—
2	13. »	3 Ab.	13. »	5 »	22 – 23	3,03	—	1,05	0,6361	—	1,97	—	0,68	0,0427	—
3	13. »	5 »	13. »	8 »	21 —22,5	4,11	—	0,95	0,6255	—	2,08	—	0,48	0,0366	—
12	13. »	8 »	14. »	8 Fr.	20 —21	15,21	—	0,88	0,6118	—	5,29	—	0,30	0,0301	—
2	14. »	8 Fr.	14. »	10 »	22 —23	3,42	—	1,18	0,5727	—	1,12	—	0,38	0,0138	—
2	14. »	10 »	14. »	12 M.	23 —24	2,76	—	0,96	0,5594	—	0,38	—	0,13	0,0104	—
41	12. »	7 Ab.	14. »	12 »	20 —24,5	55,51	44,41	—	—	73,8	43,12	32,63	0,76	—	77,5

chen weiter als die Sauerstoffpflänzchen entwickelt. Die Resultate des Versuches sind: (s. S. 388).

Versuch V.

Raphanus sativus.

Am 5. Juni (1878) um 5 Uhr Abends wurden 7,97 gr. Rettigsamen in den Apparat gebracht und darauf 9 CC. Wasser gegossen. Die Samen lagen direckt an dem Boden des Kolbens, weder Fliesspapier, noch Baumwolle war daruntergelegt. Das Resultat war folgendes:

Vom 5. Juni 5 Uhr Abend bis 6. Juni 10 Uhr früh, also während der ersten 17 Stunden, haben die Samen 4,51 CC. Sauerstoff aufgenommen und 8,01 CC. Kohlensäure ausgeschieden.

Vom 6. Juni 10 Uhr früh bis 7 Uhr Abends desselben Tages, also während der weiteren 9 Stunden, haben die Samen 5,50 CC. O aufgenommen und 5,57 CC. CO_2 ausgeschieden.

Versuch VI.

Cannabis sativa.

Am 16. Februar (1881) wurden 80 Hanfsamen im Apparate am feuchten Fliesspapier ausgelegt. Die Samen wogen 1,89 gr. Zur

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	Die Menge des O aufgenommen pro Stunde von 1 gr Samen	Die Menge der CO_2 ausgesch. pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
23¾	16. Febr.	3¾ Ab.	17. Febr.	3 Ab.[1]	17 —17,5	5,14	3,91	0,11	0,09	76,1
23	17. »	3¾ »	18. »	2¾ » [2]	17 —18,5	19,46	13,20	0,44	0,30	67,8
20	18. »	3 »	19. »	11 Fr.	14 —18	27,24	15,41	0,72	0,41	56,6
16¾	19. »	3½ »	20 »	8¼ »	16 —18	32,27	20,63	1,02	0,65	63,9
8½	20. »	8½ Fr.	20. »	5 Ab.	16 —18	16,88	11,12	1,05	0,69	65,3
14	20. »	5¼ Ab.	21. »	7¼ Fr.	16,3—19	26,25	16,75	0,99	0,63	63,8
9	21. »	7½ Fr.	21. »	4½ Ab.	17,5—19	21,65	13,07	1,22	0,76	60,3

[1] Einige Samen fingen bereits an zu keimen.

[2] Sämmtliche Samen gekeimt.

Befeuchtung des Fliesspapiers wurden 5 CC. Wasser benutzt. Weitere Wassermengen wurden während des Experimentes zugegeben. Am Ende des Versuches, welcher 5 Tage dauerte, hatten die Keimpflänzchen bereits 25—35 mm lange Wurzelchen und 20—30 mm lange hypocotyle Glieder entwickelt. Die Cotyledonen waren schon entfaltet und die ersten Laubblätter bereits sichtbar (s. Tab. S. 389).

Versuch VII.

Cannabis sativa.

Am 27. Februar (1881) wurden 30 Hanfsamen von 0,647 gr. Gewicht in den Apparat gebracht. Zur Befeuchtung des Fliesspapiers und der Baumwolle wurden 11,2 CC. Wasser benutzt und während der Dauer des Versuchs hat man noch 16 CC. Wasser zugegeben. Der Versuch hat 12 Tage gedauert. Am Ende des Versuches waren die Pflänzchen so weit in der Entwicklung fortgeschritten, dass sie den Hals des Kolbens erreichten. Die Coty-

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
24	27. Febr.	4½ Ab.	28. Febr.	4½ Ab.[1]	18 —19,2	3,28	2,82	0,20	0,18	86,0
24	28. »	4¾ »	1. März	4¾ » [2]	16 —18,6	11,31	7,31	0,74	0,46	64,6
23¾	1. März	5 »	2. »	4¾ »	17 —18,2	19,97	11,53	1,29	0,74	57,7
16½	2. »	5 »	3. »	9½ Fr.	17,5—19,7	17,25	10,00	1,60	0,91	58,0
25¼	3. »	9¾ Fr	4. »	11 »	19 —21,1	25,83	16,94	1,57	1,03	65,6
23¾	4. »	11¼ »	5. »	11 »	18 —21,2	24,92	15,33	1,61	1,00	61,5
24¾	5. »	11¼ »	6. »	12 M.	17,5—20,5	20,64	13,48	1,27	0,84	65,3
22¾	6. »	12¼ M.	7. »	11½ Fr.	17,5 -20,5	18,09	12,65	1,21	0,86	69,9
29½	7. »	11¾ Fr.	8. »	5¼ Ab.	17 —19,9	22,13	17,10	1,15	0,89	76,4
23¾	8. »	5½ Ab.	9. »	5¼ »	18 —20	17,38	14,49	1,12	0,91	83,4
24¼	10. »	7¾ Fr.	11. »	8 Fr.	17,5 20,7	17,78	16,00	1,12	1,00	90,0

[1] Die meisten Samen gekeimt.

[2] Sämmtliche Samen gekeimt, die Wurzelchen sogar bereits mit Wurzelhaaren bedeckt.

ledonen waren bereits entfaltet und die Laubblätter fingen an, sich zu entwickeln. Sowohl die Cotyledonen als die Laubblättchen waren sattgrün, da der Apparat während des Versuches nur unvollständig mit schwarzem Papier bedeckt wurde. Die Resultate waren folgende (s. Tab. S. 390).

Versuch VIII.

Linum usitatissimum.

Am 11. März wurden 100 Leinsamen von 0,45 gr. Gewicht in den Apparat gebracht. Zur Befeuchtung des Fliesspapiers und der Baumwolle wurden 5 CC. Wasser benutzt. Während des Versuches wurden noch weitere 12 CC. Wasser zugesetzt. Der Versuch hat 11 Tage gedauert.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
38½	11. März	5¾ Ab.	13. März	8¼ Fr.	16,5–17,2	4,17	3,97	0,24	0,22	95,2
24½	13. »	8¾ Fr.	14. »	9 »	17 –17,8	13,28	8,26	1,27	0,75	59
23½	14. »	9¼ »	15. »	8¾ »	17,5–19,2	22,58	12,58	2,14	1,18	55,7
22	15. »	9 »	16. »	7 »	14,3–18,5	21,43	13,56	2,08	1,47	63,2
23¾	16. »	7¼ »	17. »	7 »	15 –18	21,74	12,68	2,04	1,20	58,3
23¾	17. »	7¼ »	18. »	7 »	16 –17,7	18,59	11,76	1,71	1,09	63,2
27½	18. »	7¼ »	19. »	10¾ »	16,5–19,4	18,54	12,89	1,49	1,04	69,5
22	19. »	11 »	20. »	9 »	18 –19,7	12,88	9,72	1,29	0,98	75,5
26¼	20. »	9¼ »	21. »	11½ »	18 –20	13,13	11,77	1,11	0,98	89.6
27½	21. »	11¾ »	22. »	3¾ Ab.	18 –19,5	13,31	12,86	1,07	1,04	96,6

Versuch IX [1].

Medicago sativa.

Am 18. Januar (1881) wurden 200 Luzerne-Samen von 0,516 gr. Gewicht in den Apparat gebracht. Die Samen lagen am feuchten Fliesspapier. Der Versuch hat vier Tage gedauert.

[1] Dieser Versuch wurde in meinem Laboratorium von Herrn Stud. Stefan Jentys ausgeführt.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
41	18. Jan.	4¾ Ab.	20. Jan.	9¼ Fr.	16,5—18	7,98	8,69	0,38	0,41	108,9
22½	20. »	10½ Fr.	21. »	9 »	17,5—18,5	12,29	10,53	1,06	0,91	85,7
24½	21. »	10 »	22. »	10½ »	17,4—19,6	12,69	10,91	1,00	0,86	86 0

Versuch X.

Medicago sativa.

Am 24. März (1881) wurden 180 Luzerne-Samen von 0,435 gr. Gewicht in den Apparat gebracht. Das Fliesspapier und die Baumwolle wurden mit 6 CC. Wasser befeuchtet. Während des Versuches hat man noch 5 CC. Wasser zugesetzt. Der Versuch dauerte bis zum 2. April.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden pro Stunde von 1 gr Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
40¼	24. März	6½ Ab.	26. März	10¾ Fr.	15,4—19,7	6,33	5,45	0,36	0,21	86,3
21¼	26. »	11 Fr.	27. »	8¼ »	17 —19,7	10,24	8,80	1,12	0,95	83,6
23¼	27. »	8½ »	28. »	7¾ »	17 —18,6	11,78	9,07	1,19	0,91	77,0
32½	28. »	8 »	29. »	4½ Ab.	16 —17,9	12,19	10,13	0,85	0,72	82,0
22¾	29. »	4¾ Ab.	30. »	3 »	17 —19,5	9,93	7,85	1,01	0,79	79,1
24½	30. »	3¼ »	31. »	3¾ »	18 —20	9,69	8,69	0,92	0,81	87,9
24	31. »	4 »	1. April	4 »	16 —18,5	8,48	7,58	0,82	0,72	89,4
25½	1. April	4¼ »	2. »	5¾ »	17 —18,2	8,61	7,94	0,78	0,73	92,2

Aus den hier zusammengestellten Versuchen über die Athmung der keimenden Fettsamen ergiebt sich etwa Folgendes.

1. Das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure.

Es ist schon seit Saussure bekannt, dass bei der Keimung der Fettsamen ein Volumen Kohlensäure entwickelt wird, welches bedeutend geringer ist, als das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes. Die Ursache dieser Erscheinung ist zunächst darin zu suchen, dass bei der Keimung der Fettsamen nicht, wie bei Stärkesamen, ein Kohlenhydrat, sondern ein Fett durch die Athmung verbrannt wird. Jedes Fett ist aber eine relativ sehr sauerstoffarme Verbindung, bei einer Verbrennung desselben muss also der Sauerstoff der Luft nicht nur zur Oxydation des Kohlenstoffes, aber auch zur Oxydation des Wasserstoffes verbraucht werden, wogegen bei der Verbrennung des Kohlenhydrates in der Verbindung selbst eine Sauerstoffmenge, welche zur Oxydation des Wasserstoffes gerade hinreicht, vorhanden ist. Nehmen wir z. B. an, dass dieses Fett Triolein ist, so können wir eine vollständige Verbrennung desselben durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$C_3 H_5 (C_{18} H_{33} O . O)_3 = C_{57} H_{104} O_6$$

$$C_{57} H_{104} O_6 + 80 O_2 = 57 CO_2 + 52 H_2O.$$

Bei der Verbrennung eines Moleküls Triolein werden also 80 Moleküle Sauerstoff verbraucht und 57 Moleküle Kohlensäure gebildet. Sollte die Athmung der keimenden Fettsamen einfach auf der Verbrennung des Fettes beruhen, so mussten auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes ungefähr 70 Volumen Kohlensäure gebildet werden, da $\frac{80}{57} = \frac{100}{71{,}25}$.

Aber der atmosphärische Sauerstoff hat bekanntlich bei der Keimung der Fettsamen noch eine andere Aufgabe zu erfüllen, er muss nämlich ein Theil des Fettes zu Kohlenhydraten oxydiren. Es ist bereits im Jahre 1859 durch die mikrochemischen Untersuchungen von Sachs bekannt geworden, dass bei der Keimung der Fettsamen das Fett in Stärke umgewandelt wird. Kurz darauf haben die Analysen von Peters[1] nachgewiesen, dass die Menge des Fettes bei der Keimung der Kürbissamen fortwährend abnimmt, dafür aber werden in den jungen Pflänzchen verschie-

[1] Zur Keimungsgeschichte der Kürbissamen. Landwirth. Versuchsstationen 1861.

dene in den Samen vermisste Kohlenhydrate, wie Stärke, Glycose und Dextrin gefunden. Sämmtliche dieser Körper können nur aus dem Fette durch die Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes gebildet werden. Der atmosphärische Sauerstoff muss sich mit dem Fette verbinden, um es zu Kohlenhydraten zu oxydiren. Uebereinstimmend damit haben die Analysen von Hellriegel[1] und Detmer[2] nachgewiesen, dass die jungen Keimpflänzchen der Fettsamen nicht nur procentisch, aber auch absolut sauerstoffreicher sind, als die Samen, von denen sie entstanden. Wir sehen darnach, dass der atmosphärische Sauerstoff bei der Keimung der Fettsamen eine doppelte Rolle spielt: einerseits unterhält er die Verbrennung des Fettes zu Kohlensäure und Wasser, andererseits dient er zur Umwandlung eines Theiles des Fettes in Kohlenhydrate. Daraus ist nun zu schliessen, dass das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure nicht genau dem oben berechneten 100:70 entsprechen kann, aber dass es ein anderes von beiden oben angeführten Oxydationsprocessen abhängendes sein muss.

Ausserdem aber werden in den weiteren Keimungsstadien auch die aus Fett entstandenen Kohlenhydrate zur Athmung verbraucht. Bei der Oxydation der Kohlenhydrate wird aber bekanntlich ein Kohlensäurevolumen entwickelt, welches dem des verbrauchten Sauerstoffes gleich ist. Dieser Antheil der neu entstandenen Kohlenhydrate an der Athmung der Keimpflanzen muss also wieder das endgiltige Verhältniss der aufgenommenen und der ausgeschiedenen Gasvolumina seinerseits beeinflussen.

Nach allen diesen Betrachtungen können wir schliessen, dass das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure abhängen wird:

1. Von der Menge des Fettes, welches vollständig zu Wasser und Kohlensäure verbrannt wird.

2. Von der Menge des Fettes, welches in Kohlenhydrate umgewandelt wird.

3. Von der Menge der neu entstandenen Kohlendydrate, welche bei der Athmung Antheil nehmen.

[1] Journal für praktische Chemie, Bd. 64 S. 102, nach dem Referat von Detmer in: Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses 1880, S. 256.

[2] Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses 1880, S. 261.

Wenn nun das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure von der Zusammensetzung dieser drei Oxydationsprocesse abhängig ist, so können wir umgekehrt durch die Erforschung dieses Verhältnisses uns über das Ineinandergreifen dieser Oxydationsprocesse ein gewisses Urtheil bilden. Sehen wir nun, was uns die oben zusammengestellten Versuchsresultate darüber gelehrt haben.

Aus allen unseren Versuchen ist zunächst ersichtlich, dass das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure in verschiedenen Keimungsperioden verschieden ist. Ueberblicken wir sämmtliche unserer Versuche, so sehen wir, dass sich in dieser Beziehung drei verschiedene Keimungsperioden unterscheiden lassen.

Die I Periode, welche wir als Quellungsperiode bezeichnen können, dauert ungefähr (bei der Temperatur von 15—20° C.) 2 Tage: in dieser Periode ist das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure dem Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes nahezu gleich. Daraus ist zu schliessen, dass während der Quellungsperiode in den keimenden Fettsamen weder eine Umwandlung des Fettes in Kohlenhydrate noch eine Oxydation des Fettes zu Kohlensäure und Wasser stattfindet; dass in dieser Periode die Athmung nicht auf Kosten des Fettes, sondern auf Kosten eines anderen Körpers von der Zusammensetzung der Kohlenhydrate sich vollzieht, und erst, als die Samen an diesen Körper erschöpft werden, fängt das Fett an, sich zu oxydiren und in Kohlenhydrate umzuwandeln.

Ein gewisses Uebergewicht der Sauerstoffaufnahme gegen die Kohlensäureausgabe lässt sich zwar auch in diesem allerersten Keimungsstadium beständig beobachten, es ist aber ziemlich unbedeutend, und ein ganz ähnliches Uebergewicht werden wir auch in der ersten Periode der Keimung der Stärkesamen zu beobachten Gelegenheit haben.

Ein ganz abweichendes Resultat lieferte der Versuch V: hier sehen wir, dass die quellenden Samen in den ersten 17 Stunden 8,01 CC. Kohlensäure ausgeschieden und nur 4,51 CC. Sauerstoff aufgenommen haben: ein bedeutender Theil der Kohlensäure also wurde hier nicht durch die normale, aber durch intramolekulare Athmung gebildet. Dieser Versuch sowie einige andere mit Erb-

sen ausgeführte, welche wir weiter kennen lernen werden, haben mich zunächts auf den Gedanken geführt, dass die Keimung der Samen immer mit intramolekularer Athmung beginnt, welche erst nach und nach in normale Athmung übergeht; weitere Versuche haben mir aber dargethan, dass dies nicht der Fall ist, und dass das Ergebniss des Versuches V nur eine Folge von erschwertem Luftzutritt bei der Quellung der Samen war. Bei diesem Experimente habe ich weder Baumwolle noch Fliesspapier unter die Samen gelegt. Die Samen waren in ziemlich grosser Menge (8 gr) in den Apparat eingeführt, so dass sie in mehreren Schichten aufeinander zu liegen kamen; in Folge dessen war ein Theil der Samen, so lange das Wasser nicht aufgesogen wurde, unter Wasser eingetaucht und dadurch von dem Luftzutritt entzogen. In Folge dieses Luftmangels war die normale Athmung in so hohem Grade beeinträchtigt, dass die intramolekulare Athmung sich äussern musste. Schon am folgenden Tage, als das Wasser von den Samen aufgesogen wurde, waren die Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure einander gleich. Ein geringes Uebergewicht der Kohlensäurebildung gegen die Sauerstoffaufnahme hat man noch bei dem Versuch IX beobachtet, aber auch hier wurde es wahrscheinlich durch eine zu starke Benetzung des Fliesspapiers hervorgerufen. Bei der geringen Grösse der Luzernesamen konnte eine solche Benetzung sehr leicht den Luftzutritt zu den Samen erschweren.

Die II Periode können wir als Periode der transitorischen Stärkebildung bezeichnen. Sobald die Samen die Wurzelchen auszutreiben beginnen, fängt das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes an, immer mehr das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure zu überwiegen, so dass am dritten oder vierten Tage der Keimung (bei den Samen, mit welchen ich experimentierte) auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes, nur ungefähr 60 Volumen Kohlensäure ausgeschieden wird. Dieses Verhältniss bleibt dasselbe, gleichviel ob die Keimung in Luft oder in reinem Sauerstoffe erfolgt, es bleibt längere Zeit (4—6 Tage) constant und schwankt nur zwischen $\frac{100}{55}$ bis $\frac{100}{65}$. Das Verhältniss 60 Volumen ausgeschiedener Kohlensäure auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes ist also charakteristisch für diese zweite Periode der Keimung der Fettsamen. In dieser

Periode werden die grössten Mengen des Fettes verbraucht und auch die grösste Menge der sog. transitorischen Stärke gebildet, in dieser Periode die Athmuug der Pflänzchen und die Entwicklung derselben am raschesten erfolgt.

Wir werden nun versuchen, aus dem gefundenen Verhältnisse zwischen der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe, uns über die chemischen Vorgänge, welche sich während dieser Keimungsperiode in den Pflänzchen abspielen, ein gewisses Urtheil bilden.

Wir können zunächst aus diesem Verhältnisse berechnen, wie viel von dem aufgenommenen Sauerstoffe zur Fettverbrennung und wie viel zur Umwandlung des Fettes in Stärke verbraucht wird. Bei vollständiger Verbrennung von Triolein werden, wie wir bereits berechnet haben, auf 100 Volumen des verbrauchten Sauerstoffes 71 25 Volumen Kohlensäure gebildet, das Experiment ergab aber nur 60 Volumen der gebildeten Kohlensäure. 60 Volumen durch Fettverbrennung gebildeter Kohlensäure verlangen nur 84,2 Volumen Sauerstoff[1], folglich, 15,8 Volumen dieses Gases verbleiben in den Pflänzchen, indem sie ohne Zweifel zur Umwandlung des Fettes zu Kohlenhydraten verbraucht werden. In der Periode der transitorischen Stärkebildung bei der Keimung der fetthaltigen Samen werden also ungefähr 84 pCt. des aufgenommenen Sauerstoffes zur Fettverbrennung und 16 pCt. zur Umwandlung des Fettes zu Stärke verbraucht. Auch wird uns leicht die Berechnung gelingen, wie viel von dem bei der Keimung verschwundenen Fette zu Kohlensäure und Wasser verbrannt und wie viel zu Stärke umgewandelt wird.

Dem von uns gefundenen Verhältnisse entspricht fast genau die Gleichung:

$$C_{57}H_{104}O_6 + 56\,O_2 = 4\,C_6H_{10}O_5 + 33\,CO_2 + 32\,H_2O.$$

Nach dieser Gleichung das Verhältniss:

$$\frac{CO_2}{O} = \frac{33}{56} = \frac{59}{100}.$$

Aber die Versuche von Müntz[2] haben dargethan, dass die Fette, bevor sie sich bei der Keimung in Kohlenhydrate umwan-

[1] Nach der Proportion $71{,}25 : 100 = 60 : x, x = 84{,}2$.

[2] Müntz »Annales de chimie et de physique« Ser. IV T. 112 p. 472 nach

deln, sich in freie Säuren und Glycerin spalten. Das in Folge dieser Dissociation in Freiheit gesetzte Glycerin bleibt aber als solches in den Pflänzchen nicht erhalten, sondern scheint bei der Keimung in unbestimmte Stoffe überzugehen Wollen wir dieses Resultat mitberücksichtigen, so können wir die Fettumwandlung bei der Keimung der Samen mit folgenden Gleichungen ausdrücken:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3C_3H_5 + 3H_2O = 3C_{18}H_{34}O_2 + C_3H_8O_3.$$

$$3C_{18}H_{34}O_2 + 52^1/_2 O_2 = 4C_6H_{10}O_5 + 30CO_2 + 31H_2O.$$

Nach diesen Gleichungen das Verhältniss:

$$\frac{CO_2}{O} = \frac{30}{52^1/_2} = \frac{57,1}{100}.$$

Dieses Verhältniss ergab sich auch sehr oft als Resultat unserer Experimente.

Nach diesen Gleichungen lässt sich berechnen, dass auf 100 Gewichtstheile des bei der Keimung verschwundenen Fettes, 73 Gewichtstheile Stärke und 10,4 Theile aus Glycerin entstandenen Stoffen sich bilden soll. Glücklicherweise liegen für die Keimung des Hanfes (welchen ich auch bei meinen Versuchen benutzte) analytische Angaben vor, wir wollen also dieselben mit unseren Berechnungen vergleichen.

Es war Detmer[1], der über die Keimung des Hanfes eingehende analytische Untersuchungen anstellte; er analysirte die Samen einerseits und 7- und 10-tägige Hanfpflänzchen andererseits. Die Resultate waren folgende:

	Fett	Zucker	Dextrin	Stärke	Proteinstoffe	Unbestimmte Stoffe	Cellulose	Asche
100 gr. Trockensubst. d. Samen enthalt.:	32,65	—	—	—	25,06	21,28	16,51	4,50
Die nach 7 Tagen bleibend. 96,91 gr. enth.:	17,09	—	—	8,64	23,99	26,13	16,54	4,50
Differenz:	—15,56	—	—	+8,64	—1,07	+4,85	+0,03	—

dem Citate von Detmer »Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses«, Jena 1880, S. 338.

[1] Detmer l. c. p. 337.

Wir sehen, dass während der 7-tägigen Vegetation 15,56 gr. Fett und 1,07 gr. Proteinstoffe verbraucht, dagegen 8,64 gr. Stärke, 0,03 gr. Cellulose und 4,85 gr. unbestimmter Stoffe gebildet worden ist. Wir haben aber nach unseren Gleichungen berechnet, dass aus 100 gr. Fett, 73 gr. Stärke und 10,4 gr. unbestimmte Stoffe (angenommen dass dieselben sich aus Glycerin bilden) sich bilden soll; aus 15,56 gr. des verbrauchten Fettes soll sich darnach bilden:

$$100 : 73 = 15{,}56 : x$$
$$x = 11\,36 \text{ gr. Stärke}$$
$$100 : 10{,}4 = 15{,}56 : x$$
$$x = 1{,}62 \text{ gr. unbestimmte Stoffe,}$$

zusammen $11{,}36 + 1{,}62 = 12{,}96$ gr. neuer Verbindungen. Wenn wir noch dazu 1,07 gr. als aus verbrauchten Proteinstoffen gebildete unbestimmte Stoffe zugeben, so ergiebt sich, dass im Ganzen 14,03 gr. neuer Verbindungen sich bilden soll. Die Analysen von Detmer haben aber ergeben 13,52 gr., also eine Zahl, welche von der berechneten nur um 0,51 gr. abweicht.

Aber diese Uebereinstimmung bezieht sich nur auf die gesammte Menge der neugebildeten Verbindungen, die Menge der wirklich gebildeten Stärke ist aber bedeutend geringer, die Menge der unbestimmten Stoffe bedeutend grösser, als unsere Gleichungen fordern. Daraus ergiebt sich, dass nicht nur das aus Dissociation der Fette sich bildende Glycerin und eine geringe Menge der Proteinstoffe, aber auch die Fettsäuren selbst bei der Bildung der unbestimmten Stoffe Antheil nehmen. Das ist nun so zu verstehen, dass die aus den Fetten frei gewordenen Säuren unter der Aufnahme des atmosphärischen Sauerstoffes sich in Stärke, Kohlensäure, Wasser und noch andere Verbindungen, welche wir als unbestimmte Stoffe zusammenfassen, zerlegen. Dies angenommen, können wir die Fettumwandlung bei der Keimung des Hanfes (und wahrscheinlich auch der anderen Fettsamen) durch folgende Gleichungen ausdrücken:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3C_3H_5 + 3H_2O = 3C_{18}H_{34}O_2 + C_3H_8O_3.$$
$$C_{18}H_{34}O_2 + 17O_2 = C_6H_{10}O_5 + C_2H_xO\left(\tfrac{x}{2} - 1\right) + 10CO_2 +$$
$$+ \frac{24-x}{2} H_2O.$$

Auch diese Gleichungen stimmen mit unseren Versuchsresultaten sehr gut überein, denn: $10:17 = 58{,}8:100$.

Nach diesen Gleichungen lässt sich leicht berechnen, dass aus 100 Gewichtstheilen des verbrauchten Fettes 58,3 Gewichtstheile Stärke, also aus 15,56 gr. Fettes 9,07 gr. Stärke sich bilden soll. Detmer hat durch directe Bestimmungen 8,64 gr. Stärke gefunden, also nur um 0,43 gr. von der berechneten Menge weniger.

Diese Uebereinstimmung, welche zwischen den von uns aufgestellten Formeln und den thatsächlichen Ergebnissen der analytischen Untersuchungen besteht, macht wenigstens höchst wahrscheinlich, dass die Zersetzungen des Fettes bei der Keimung der Samen wirklich in der Weise verlaufen, welche annähernd durch unsere Formel dargestellt ist.

Wichtig ist noch hervorzuheben, dass nach den Analysen Detmers während der 7-tägigen Vegetation nur 0,03 gr. Cellulose in den Pflänzchen neugebildet wurde; dies beweist, dass während dieser Periode der Stoffwechsel hauptsächlich auf der Bildung der transitorischen Stärke aus dem Fette besteht, wir konnten also mit Recht diese Periode als Periode der transitorischen Stärkebildung bezeichnen. Wie diese Stärkebildung aus dem Fette vor sich geht und wie dieselbe mit der Athmung zusammenhängt, zeigen unsere Formeln. Aus diesen Formeln sehen wir, dass die in dieser Periode sich bildenden unbestimmten Stoffe Nebenproducte der transitorischen Stärkebildung sind, da jedes Fettmolekül unter Aufnahme von Wasser und Sauerstoff und unter Abspaltung einer gewissen Menge von Wasser, Kohlensäure und unbestimmter Stoffe drei Moleküle Stärke bildet.

Diese unbestimmten Stoffe sind wahrscheinlich sauerstoffärmer als Kohlenhydrate und können ohne Zweifel von verschiedener Zusammensetzung sein. Durch die verschiedene Zusammensetzung dieser Nebenprodukte des chemischen Stoffwechsels bei der Keimung der Fettsamen werden sich wahrscheinlich die geringen Schwankungen des Verhältnisses $\frac{CO_2}{O}$ in dieser Keimungsperiode erklären lassen. Entstehen sauerstoffreichere Nebenprodukte, so ist auf dieselbe Menge des aufgenommenen Sauerstoffes die Menge der gebildeten Kohlensäure etwas geringer, als wenn sauerstoffarme Nebenproducte gebildet werden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass unsere Gleichungen den wirkli-

chen Verlauf der chemischen Vorgänge bei der Fettumwandlung in der That annähernd ausdrücken, ist um so grösser, als unsere Experimente an den keimenden Samen dreier ganz verschiedener Gattungen durchgeführt wurden und überall das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure in der Periode der transitorischen Stärkebildung dasselbe gefunden worden ist. Um diese Wahrscheinlichkeit zur Gewissheit zu erheben, sind noch weitere analytische Forschungen erforderlich.

Die III Periode der Keimung der Fettsamen können wir als Periode der Cellulosebildung bezeichnen.

In dieser Periode fängt die in II Periode aus Fett entstandene Stärke (sowie andere Kohlenhydrate, wie Dextrin, Zucker) sich zu verbrauchen an, indem sie theilweise bei der Athmung neben dem Fette verbrannt, theilweise in Cellulose umgewandelt wird.

Detmer[1] fand, dass aus 100 gr. Trockensubstanz der Hanfsamen nach zehntägiger Vegetation 94,03 gr. Trockensubstanz geblieben ist. Diese 94,03 Trockensubstanz haben folgende Zusammensetzung gehabt:

Fett	15,20
Stärke	4,59
Proteinstoffe . . .	24,50
Unbestimmte Stoffe	26,95
Cellulose	18,29
Asche	4,50

Vergleichen wir diese Zahlen mit der oben angegebenen Zusammensetzung der 7-tägigen Pflänzchen, so sehen wir, dass in der Zeit vom siebenten bis zum zehnten Tage die Menge des Fettes sich um 1,89 gr., die Menge der Stärke um 4,05 gr. vermindert, dagegen die Menge der Proteinstoffe um 0,51 gr., die Menge der unbestimmten Stoffe um 0,81 und die Menge der Cellulose um 1,75 gr. vergrössert hat. In dieser Periode entstehen also namhafte Mengen Cellulose, offenbar auf Kosten der in vorhergehender Periode gebildeten transitorischen Stärke, deswegen können wir diese Keimungsperiode als Periode der Cellulosebildung bezeichnen. Die Menge der neugebildeten Cellu-

[1] Detmer. l. c. p. 337.

lose ist aber geringer als die der verschwundenen Stärke, daraus ist nun zu folgern, dass ein Theil dieser Stärke neben dem Fette durch die Athmung verbrannt worden ist.

Bei unseren Versuchen unterscheidet sich in der That diese Periode ganz deutlich von der vorhergehenden. Auf dieselbe Menge des aufgenommenen Sauerstoffes fängt in dieser Periode eine immer grössere Menge Kohlensäure sich zu bilden an, so dass etwa 10 Tage von Anfang der Keimung das Volumen der gebildeten Kohlensäure nur wenig von dem Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes geringer ist, was also beweist, dass die Athmung jetzt schon fast ausschliesslich auf Kosten von Kohlenhydraten vor sich geht.

Einige Worte müssen wir noch den Versuchen mit Luzernesamen schenken. Das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes ist hier auch grösser als das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure, aber der Unterschied zwischen beiden Gasvolumina ist hier bedeutend kleiner als bei der Keimung des Rettigs, des Hanfes und des Leins. Auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes ist nie weniger als 77 Volumen Kohlensäure ausgeschieden worden. Dieses Resultat erklärt sich einfach dadurch, dass die Luzernesamen keine eigentliche Fettsamen, aber Stärke-Fettsamen sind. Sie enthalten, wie ich mich durch eine besondere Bestimmung überzeugte, ungefähr 15 pCt. Fett, aber daneben auch eine bedeutende Menge Stärke. Bei der Keimung der Luzernesamen wird also von Anfang der Keimung an Stärke neben dem Fette als Athmungsmaterial verbraucht ebenso wie in der dritten Keimungsperiode der eigentlichen Fettsamen.

2. Einfluss der Dichtigkeit des Pflanzenbestandes auf die Athmungsenergie.

Wenn wir die Zahlen unserer Versuche, welche die Menge des von 1 gr. keimender Samen derselben Pflanzenart aufgenommenen Sauerstoffes und ausgeschiedener Kohlensäure ausdrücken, durchmustern, so sehen wir, dass jedes einzelne Pflänzchen um so energischer athmet, in je geringerer Anzahl die Pflänzchen im Apparate enthalten sind. So z. B. die Hanfpflänzchen im Versuche VIII, wo sie in der Zahl von 30 im Apparate waren, haben $1^1/_2$-mal Stärker geathmet als im Versuche VI, wo der Apparat 80

Pflänzchen enthielt. Die Rettigpflänzchen im Versuch III in der Zahl von 50 haben stärker geathmet als im Versuche I, wo der Apparat 200 Pflänzchen enthielt, ja sogar im Versuche IV, welcher mit 120 Samen gemacht wurde, ungeachtet dass bei diesem letzten Versuche die Temperatur bedeutend höher war.

Diese stärkere Athmung der Pflänzchen, welche in geringerer Anzahl im Apparate enthalten sind, erklärt sich theilweise dadurch, dass die partiäre Sauerstoffpressung in dem Apparate sich weniger schnell vermindert, als wenn das Experiment mit einer grösseren Anzahl Samen gemacht wird. Diese Wirkung der verminderten Sauerstoffpressung scheint hier aber nicht allein massgebend zu sein, da der Unterschied in der Athmungsenergie der geringeren oder grösseren Anzahl der Samen sich schon vom Anfange der Keimung, wo die Athmung überhaupt noch sehr schwach ist und wo sich in Folge dessen die partiäre Pressung des Sauerstoffes nur ganz unbedeutend vermindern konnte, manifestirt. Ueber den Einfluss der Dichtigkeit des Pflanzenbestandes auf die Athmungsenergie würden also noch eingehendere Untersuchungen wünschenswerth sein.

3. Einfluss der Pflanzenarten auf die Athmungsenergie.

Obgleich das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure in entsprechenden Keimungsperioden bei allen von uns für die Versuche benutzten Samenarten nahezu dieselben sind, so ist doch die Intensität der Athmung bei den Samen verschiedener Pflanzenarten verschieden: so haben bei unseren Versuchen bei sonst gleichen Bedingungen die Leinsamen stärker als die Hanf- und Rettigsamen und diese wieder stärker als die Luzernesamen geathmet.

4. Einfluss der partiären Pressung des Sauerstoffes auf die Intensität und das Wesen der Athmung.

Die gewöhnliche atmosphärische Luft, in welcher die Pflanzen vegetiren, enthält bekanntlich 20,9 pCt. Sauerstoff und 79,1 pCt. Stickstoff; da aber der normale Luftdruck 760 mm beträgt, so beträgt die Sauerstoffpressung in gewöhnlicher Atmosphäre ungefähr 158 mm. Es ist also fraglich, inwieweit die Vergrösserung oder Verminderung dieser Sauerstoffpressung die Intensität der

Athmung sowie den Verlauf der chemischen Vorgänge bei diesem Processe beeinflusst.

a) Einfluss des vergrösserten Sauerstoffdruckes auf die Athmung kann sich auf verschiedene Weise manifestiren. So hat Bert[1] beobachtet, dass eine Vergrösserung des Luftdruckes bis auf 4 oder 5 Atmosphären oder eine Bereicherung der Luft an Sauerstoff bis auf 60 pCt. entweder ohne jeden Einfluss auf den Keimungsprozess ist, oder sogar die Keimung beschleunigt. Wenn aber der Sauerstoffgehalt der Luft (unter gewöhnlichem Druck) bis auf 80 oder 90 pCt. steigt oder wenn die Luft auf mehr als 5 Atmosphären comprimirt wird, so wird nach Bert der schädliche Einfluss dieses vergrösserten Sauerstoffdruckes bald sichtbar: die Keimung verzögert sich, die Entwicklung der Pflänzchen wird schwächer, als unter normalen Bedingungen, um so schwächer, je grösser der Sauerstoffdruck ist. Die Keimung der Stärkesamen leidet von diesem vergrösserten Sauerstoffdrucke viel mehr als die Keimung der Fettsamen, diese letzteren können einen viel höheren Sauerstoffdruck ohne Nachtheil ertragen. Was nun die Athmung selbst anbetrifft, so giebt Bert an, dass in einer auf 11 Atmosphären comprimirten Luft ein viel kleineres Volumen Sauerstoff aufgenommen wurde als unter normalen Bedingungen. Böhm[2] giebt an, dass die Entwicklung der Bohne aus einem Samen in reinem Sauerstoffgase eine ganz minimale sei. Dass es nicht etwa der Mangel an einem indifferenten Gase (Stickgas), sondern ein zu hoher Sauerstoffdruck die Ursache dieser Erscheinung ist, wird dadurch bewiesen, dass auch in reinem Sauerstoffe die Keimung der Bohne ganz normal vor sich geht wenn nur der Druck desselben bis auf $^1/_5$ des Barometerstandes vermindert wird. Was die Athmung selbst anbetrifft so hat Böhm gleichviel, ob die Keimung in reinem Sauerstoffe oder in der Luft stattfand, dieselben Mengen des aufgenommenen Sauerstoffes gefunden. Ganz dieselben Resultate wie mit Bohne erhielt Böhm mit Erbse, mit Linse und mit Mais dagegen wurde die Keimung der Samen der Sonnenblume der Kresse und des Leins durch starken Sauerstoffdruck viel weniger beeinträchtigt. Die Entwicklung der Keimpflänzchen war auch hier in reinem

[1] Comptes rendus, T. 76, p. 1493.

[2] Böhm, Ueber das Keimen von Samen in reinem Sauerstoffgase. Sitzungsb. d. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. 68.

Sauerstoffe etwas schwächer als in gewöhnlicher Luft, aber bei weitem nicht in dem Maasse, als bei den Keimpflänzchen der oben angeführten Stärkesamen. Die Versuche von Böhm weisen also auch darauf, dass bei der Keimung die Fettsamen einen viel höheren Sauerstoffdruck ertragen können als die Stärkesamen.

Rischawi[1] wiederholte die Versuche von Böhm mit der Bohne, sagt aber, dass er die Entwicklung der Bohnen-, Erbsen- und Maiskeimpflanzen in reinem Sauerstoffe nicht so minimal gefunden hat, als es Böhm angiebt, dass aber in der That diese Entwickelung etwas schwächer als in gewöhnlicher Luft ist. Nach Rischawi sind es vor allen Dingen die Würzelchen, welche bei Sauerstoffpflänzchen 4—5 mal kürzer werden als bei Luftpflänzchen. Was die Athmung anbetrifft, so hat Rischawi über die von keimenden Feuerbohnen in Luft oder Sauerstoffstrom ausgeschiedenen Kohlensäuremengen eingehende Untersuchungen angestellt: er fand aber, sowohl bei gewöhnlicher als bei niederer Temperatur, dass die Athmungsgeschwindigkeit dieselbe bleibt, ungeachtet, ob die Pflänzchen in Sauerstoff oder in Luft verweilen.

Dehérain und Moison[2] haben gefunden, dass Tabaksblätter, welche in reinen Sauerstoff gebracht wurden fast dieselbe Menge Kohlensäure ausgeschieden haben, als andere, welche in gewöhnlicher Luft verweilten.

Alle diese hier angeführten Untersuchungen schienen zu beweisen, dass die Athmungsenergie in reinem Sauerstoffe keine grössere ist, als in gewöhnlicher Luft; doch unsere Versuche III u. IV zeigen deutlich, dass die Sache sich in einigen Fällen auch anders verhalten kann. In diesen beiden Versuchen war in den ersten Keimungstagen sowohl die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes als auch die der ausgeschiedenen Kohlensäure bei Sauerstoffpflänzchen grösser als bei Luftpflänzchen. Andererseits aber zeigen dieselben Versuche, dass bei längerer Dauer des Experimentes in späteren Keimungsstadien sich dieses Verhältniss umkehrt, so dass die Pflänz-

[1] Rischawi, Einige Versuche über die Athmung der Pflanzen. Landw. Versuchsstationen, Bd. 19, S. 321 und »Къ вопросу о дыханіи растеній« Odessa 1877, S. 25—30.

[2] Dehérain und Moison: »Recherches sur l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique par les plantes maintenues dans l'obscurité«. Annales des sciences naturelles. Bd. 9.

chen, welche in gewöhnlicher Luft vegetiren, schneller athmen als die, welche in Sauerstoff verweilen. Was die Entwickelung der keimenden Pflänzchen betrifft, so habe ich fast immer beobachtet, dass Rettigsamen in reinem Sauerstoffe früher keimen, aber bei längerer Versuchsdauer ein geringeres Lebensgewicht erreichen, als in der Luft. Ueber die Athmung der keimenden Rettigsamen in reinem Sauerstoffe habe ich ausser den in der Zusammenstellung angeführten Experimenten III und IV noch zahlreiche andere angestellt und nie beobachtet, dass am Anfange der Keimung die Samen in Luft so energisch athmeten als in Sauerstoff. In dieser Richtung habe ich schon im Jahre 1871 einige Versuche angestellt. Ich liess damals Rettigsamen in Luftstrom einerseits und in Sauerstoffstrom andererseits keimen und bestimmte die ausgeschiedene Kohlensäure mittelst eines Liebig'schen Kali-Apparates. In meiner Notiz aus dieser Zeit finde ich:

200 Rettigsamen von 2,388 gr. Gewicht haben in einem Luftstrom folgende Kohlensäuremengen ausgeschieden:

1.	48	Stunden	0,0550 gr.
3.	24	»	0,0765 »
4	24	»	0,1765 »
5.	24	»	0,1665 »

Andere 200 Rettigsamen von 2,309 gr. haben in einem Sauerstoffstrom ausgeschieden:

1.	48	Stunden	0,1765 gr. CO_2
3.	24	»	0 1760 » »

Auch Borodin hat vor Kurzem Untersuchungen veröffentlicht[1], bei welchen er in reinem Sauerstoff eine bedeutend stärkere Athmung als in gewöhnlicher Luft beobachtete.

Zwei junge Sprosse von Amelanchier rotundifolia haben bei diesen Versuchen folgende Mengen Sauerstoffes aufgenommen:

Temperatur 16° C. Versuchsdauer 22 Stunden.
I in Luft 7,53 CC. II in Luft 7,65 CC.
Temperatur 16,5° C. Versuchsdauer 41 Stunden.
I in Sauerstoff 9,90 CC. II in Luft 8,59 CC.

[1] Borodin, Sitzungsberichte der botanischen Section der St. Petersburger Naturforscher-Gesellschaft, 19. April 1879 und Botanische Zeitung 1881, Nr. 8.

Temperatur 17,5° C. Versuchsdauer 21 Stunden.
I in Luft 3,99 CC. II in Sauerstoff 4,83 CC.
Temperatur 17—18° C. Versuchsdauer 41 Stunden.
I in Luft 8,03 CC. II in Luft 8,14 CC.

Weniger regelmässige Versuchsresultate erhielt derselbe Forscher mit den Keimlingen von Vicia Faba.

Wenn wir nun die Versuche von Dehérain, Böhm, Bert und Rischawi einerseits und die Versuche von Borodin und mir andererseits zusammenstellen, so ergiebt sich, dass der Einfluss des vergrösserten Sauerstoffdruckes auf die Athmung ein verschiedenartiger sein kann. In den allermeisten Fällen scheint die Vergrösserung des Sauerstoffdruckes ohne Einfluss auf die Athmungsgeschwindigkeit zu sein, in einigen Fällen aber, besonders wenn bei der Athmung nicht Kohlenhydrat, sondern Fett verbrannt wird, kann die Athmungsgeschwindigkeit durch die Vergrösserung des Sauerstoffdruckes bedeutend beschleunigt werden und endlich in noch anderen Fällen, besonders wenn der Versuch zu lange dauert, kann auch das Gegentheil stattfinden. Diese Verschiedenheit in der Wirkung des vergrösserten Luftdruckes ist von der Natur des athmenden Organs, von seinem Entwickelungsstadium, von der Länge der Versuchsdauer und endlich von der Höhe der Vergrösserung des Sauerstoffdruckes abhängig.

Ganz besonders muss ich noch hervorheben, dass auch dann, wenn die Athmung in reinem Sauerstoffe schneller als in Luft vor sich geht, das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure unverändert bleibt. Dieses Verhältniss bleibt in den entsprechenden Keimungsperioden dasselbe, möge die Keimung in reinem Sauerstoff oder in Luft verlaufen, nur werden im Sauerstoffe die beiden ersten Perioden früher abgeschlossen und die Stärkeathmung fängt früher als in Luft an.

b) Einfluss der verminderten Sauerstoffpressung auf die Athmung tritt ganz deutlich in dem Experiment IV hervor. Hier sehen wir, dass die Sauerstoffaufnahme seitens der Pflänzchen, welche in Luftapparaten enthalten waren, sofort nach der Zusammenstellung des Apparates immer die stärkste war, und in dem Maasse, als die Luft an Sauerstoff erschöpft wurde, liess sie immer mehr nach. Dass diese Verminderung der Athmungsenergie einzig und allein durch die verminderte Sauerstoffpressung hervorgerufen wurde, folgt daraus, dass:

1. Nachdem der Apparat geöffnet und wieder zusammengestellt wurde, die Pflänzchen ihre frühere Athmungsenergie wiedererlangten.

2. Dass diese Verminderung der Sauerstoff-Aufnahme im Apparate, welcher nicht mit Luft, sondern mit reinem Sauerstoff gefüllt war, nicht beobachtet wurde.

Als eine Thatsache von hervorragender Wichtigkeit muss ich wieder ganz besonders hervorheben, dass die Verminderung der partiären Pressung des Sauerstoffes nicht nur eine Abnahme der Sauerstoffaufnahme aber auch eine dieser Abnahme proportionale Verminderung der Kohlensäurebildung zur Folge hat.

Die Verminderung der partiären Sauerstoffpressung bewirkt also eine Abnahme der Athmungsenergie, ohne das Verhältniss der Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure zu beeinflussen. Erst dann, als der Sauerstoffdruck so gering wird, dass die normale Athmung nur noch eine äusserst schwache ist, fängt das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ in Folge des Auftretens der intramolecularen Athmung sich zu ändern an (vgl. Versuch IV). Daraus ist nun zu folgern, dass, wenigstens bei der Keimung von Fettsamen, die intramoleculare Athmung erst dann zu Tage tritt, wenn die normale Athmung schon in Folge des Sauerstoffmangels auf ein Minimum reducirt worden ist.

Aus dieser Beständigkeit des Verhältnisses $\frac{CO_2}{O}$ bei verschiedener Sauerstoffpressung sehen wir, dass die Kohlensäurebildung bei der Pflanzenathmung bei weitem nicht so unabhängig von der Sauerstoffaufnahme ist als sich einige neuere Forscher vorstellen, und dass die Athmungstheorien, welche sich auf dieser angeblichen Unabhängigkeit stützen, unhaltbar sind. Wollen wir diese Theorien etwas näher betrachten. Einige Forscher, wie Pfeffer[1] und Wortmann[2], auf die Analogie der bei Abwesenheit des Sauerstoffes auftretenden intramolecularen Athmung mit Alkoholgährung gestützt, suchten die intramoleculare Athmung in eine ganz enge Beziehung mit normaler Athmung zu bringen: indem sie

[1] Pfeffer, Das Wesen und die Bedeutung der Athmung in der Pflanze. Landwirthschaftliche Jahrbücher VII.

[2] Wortmann, Ueber die Beziehung der intramolecularen zur normalen Athmung der Pflanzen, 1879.

zu beweisen suchten, dass die intramoleculare Athmung der primäre, Kohlensäurebildung hervorrufende Process, und die Sauerstoffaufnahme erst eine Folge dieses Processes ist. So glaubt Pfeffer, dass, wenn z. B. bei der Athmung Glycose verbraucht wird, wird sie nicht unmittelbar durch den Sauerstoff oxydirt, aber zerfällt zunächst ganz wie bei Hefegährung in Alkohol und Kohlensäure und dass erst dieser Alkohol durch den atmosphärischen Sauerstoff zu Kohlensäure und Wasser oxydirt wird:

$$C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_6O + 2CO_2$$
$$2C_2H_6O + 6O_2 = 4CO_2 + 6H_2O.$$

Verbleibt die Pflanze in einer sauerstofffreien Atmosphäre, so unterbleibt die Oxydation des Alkohols und man kann dann die Anwesenheit desselben konstatiren.

Nach Pfeffers Vorstellung wird also bei diesem Beispiel $^1/_3$ der bei der Athmung gebildeten Kohlensäure durch intramoleculare Athmung, $^2/_3$ durch Oxydation des Alkohols durch den atmosphärischen Sauerstoff gebildet.

Wortmann geht noch weiter, für ihn ist die ganze bei der Athmung sich bildende Kohlensäuremenge durch intramoleculare Athmung gebildet, der atmosphärische Sauerstoff wird nur dazu verwendet, um sauerstoffärmere Verbindungen, welche bei der intramolecularen Athmung neben Kohlensäure sich bilden, in sauerstoffreichere aber in der Pflanze verbleibende überzuführen. In dieser Ansicht stützt sich Wortmann auf seine Versuche, bei welchen er beobachtete, dass keimende Samen, im luftleeren Raum eingeschlossen, in den ersten Stunden ebensoviel Kohlensäure gebildet haben als andere ganz ähnliche Samen, welche in gewöhnlicher Atmosphäre athmeten.

Sich auf diese Beobachtung stützend, stellt sich Wortmann den Verlauf der normalen Athmung folgendermassen:

»Durch das fortwährend vor sich gehend gedachte Zerfallen der Protoplasmamoleküle werden in der Zelle sich befindende Moleküle der Kohlenhydrate dazu verwendet, jene Protoplasmamoleküle sofort wieder zu restauriren, während andere Zuckermoleküle unter Anderen als Produkte jener stetigen Eiweisszersetzungen nun bei ihren Entstehungen fortdauernd in Alkohol und Kohlensäure zerfallen. Durch den in den Geweben sich aufhaltenden atmosphärischen Sauerstoff werden jetzt diese Alkohol-

moleküle in statu nascendi oxydirt, aber nicht in dem Verhältnisse, dass Kohlensäure und Wasser ensteht, sondern die Sauerstoffatome addiren sich in dem Maasse zu den Alkoholmolekülen, dass dadurch Isomeren der Essigsäure (natürlich unter entsprechendem Wasserzutritt) enstehen würden, deren Atome sich jedoch umlagern und wieder ein Zuckermolekül bilden» [1].

Zur Veranschaulichung dieser Ansicht über die Pflanzenathmung stellt Wortmann folgende Formeln auf:

$$3\,C_6H_{12}O_6 = 6\,C_2H_5OH + 6\,CO_2$$

$$6\,C_2H_5OH + 12\,O = 2\begin{matrix}C_2H_4O_2\\C_2H_4O_2\\C_2H_4O_2\end{matrix} + 6\,H_2O$$

$$2\,C_6H_{12}O_6.$$

Nach dieser Auffassung sämmtliche Kohlensäure, welche bei der Pflanzenathmung ausgeschieden wird, ist ein Produkt der intramolecularen Athmung und der atmosphärische Sauerstoff dient nur dazu, um aus Alkohol, welcher durch die intramoleculare Athmung gebildet wird, Glycose zu regeneriren. Gegen die Anschauung, dass die Pflanzenathmung mit der Dissociation des lebendigen Protoplasmas auf das innigste zusammenhängt, lässt sich nichts anwenden; diese Anschauung, welche auch von Detmer in seinem oben citirten Werke über die Keimung vertreten ist, scheint völlig berechtigt zu sein, die Anschauung aber, dass die normale Athmung auf Alkoholgährung (intramoleculare Athmung), welche mit Oxydation des gebildeten Alkohols auf Isomere der Essigsäure verbunden ist, beruht, ist unhaltbar.

Gegen diese Auffassung ist zunächst einzuwenden, dass es nicht bewiesen ist, dass die intramoleculare Athmung der höheren Pflanzen immer mit Alkoholgährung identisch ist, obwohl wir umgekehrt die Alkoholgährung mit vollem Rechte als intramoleculare Athmung auffassen. Die Bildung des Alkohols ist zwar bei der Athmung der höheren Pflanzen ohne Sauerstoff vielfach konstatirt worden, ob aber der Alkohol hier als Haupt- oder als Nebenprodukt der intramolecularen Athmung auftritt, ist meines Wissens nach unentschieden. Dass in Folge der intramolecularen Athmung vielfach auch andere Verbindungen als Alkohol in der Pflanze gebildet werden, ist unzweifelhaft, die Bildung der Fette

[1] l. c. p. 33.

und anderer sauerstoffarmen Verbindungen können wir uns nur durch intramoleculare Athmung erklären.

Aber auch unter der Annahme, dass die intramoleculare Athmung, welche wir bei Abwesenheit des Sauerstoffes bei den höheren Pflanzen beobachten, mit Alkoholgährung identisch ist, ist die Vorstellung, welche sich Wortmann über den Verlauf der normalen Athmung gebildet hat, unrichtig. Wäre die Beziehung der intramolecularen zur normalen Athmung wirklich eine solche, wie es Wortmann voraussetzt, so musste die Kohlensäurebildung der athmenden Pflanze in hohem Grade von der Sauerstoffaufnahme unabhängig sein; dass dies aber wenigstens nicht immer der Fall ist, beweist unser Versuch IV, wie auch der weiter angegebene Versuch XVIII, hinlänglich genug.

In diesen beiden Versuchen haben wir gefunden, dass die Verminderung der partiären Sauerstoffpressung eine starke Abnahme der Athmungsenergie zur Folge hatte, dass sie aber auf das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ ohne jeden Einfluss geblieben ist. Dieses Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ musste sich aber bei der Verminderung der Sauerstoffaufnahme unumgänglich vergrössern, wenn, wie Wortmann und Pfeffer wollen, die Kohlensäurebildung bei der normalen Athmung nicht unmittelbar durch die Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes, sondern durch intramoleculare Athmung producirt worden wäre, falls wir nicht die ganz willkürliche und unerklärbare Annahme, dass diese intramoleculare Athmung in den von uns beobachteten Fällen sich ganz proportionell zur verminderten Sauerstoff-Aufnahme vermindert hat, machen wollen. Aus der Beständigkeit des Verhältnisses $\frac{CO_2}{O}$ bei verschiedener Sauerstoffpressung und dadurch verursachter verschiedener Athmungsenergie folgt mit Nothwendigkeit, dass die intramoleculare Athmung keine bei der normalen Athmung primäre Erscheinung ist, dass sie überhaupt mit normaler Athmung in keiner unmittelbaren Beziehung steht. Die normale Athmung ist keine mit Sauerstoffaufnahme verbundene intramoleculare Athmung, sie ist eine Folge der unmittelbaren Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Bestandtheile des lebendigen Protoplasmas.

Die intramoleculare Athmung tritt bei höheren Pflanzen unter

gewöhnlichen Verhältnissen neben der normalen Athmung nur dann auf, wenn sauerstoffreichere Verbindungen in der Pflanze in sauerstoffärmere übergeführt werden, sonst kann, wie es scheint, die intramoleculare Athmung nur dann zu Tage treten, wenn die normale Athmung in Folge des Sauerstoffmangels auf ein Minimum reducirt wird.

II. Athmung der keimenden Stärkesamen.

Versuch XI.

Pisum sativum.

Am 20. März wurden zwei Apparate zusammengestellt, deren einer mit Sauerstoff, der andere mit Luft gefüllt war. Jeder Apparat enthielt 6 Samen von 1,61 gr. Gewicht. Die Samen wurden in bereits eingequollenem Zustande in die Apparate gebracht. Der Versuch dauerte 48 Stunden bei der Temperatur 16—18,2° C.

Die Zeit des Versuchs	Der Apparat mit Sauerstoff gefüllt		Der Apparat mit Luft gefüllt	
	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC
Während der 1.24 Stunden	4,19	—	2,3	—
» » 2.24 »	7,28	—	6,58	—
Während der ganzen Versuchsdauer	11,47	12,41	8,88	10,56

Versuch XII.

Pisum sativum.

Am 29. März (1878) wurden zwei Apparate zusammengestellt, deren einer mit Luft, der andere mit Sauerstoff gefüllt war. Jeder Apparat enthielt 10 Samen von 2,64 gr. Gewicht. Die Samen wurden vorher durch 48 Stunden dauerndes Liegen unter Wasser eingequollen.

Die Zeit des Versuchs	Der Apparat mit Sauerstoff gefüllt		Der Apparat mit Luft gefüllt	
	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC
Während der 1.24 Stunden	6,68	—	3,8	—
» » 2.24 »	9,36	—	9,07	—
Während der ganzen Versuchsdauer	16,04	16,50	12,87	13,52

Versuch XIII.

Pisum sativum.

Am 7. April (1878) wurden zwei Apparate zusammengestellt, deren einer mit Luft, der andere mit Sauerstoff gefüllt war. Jeder Apparat enthielt 12 Samen von 4,11 gr. Gewicht. Die Samen wurden vor dem Anfange des Versuches durch 48 Stunden dauerndes Liegen unter Wasser eingequollen. Die Temperatur schwankte während des Versuches zwischen 18,3—20°C.

Die Zeit des Versuches	Der Apparat mit O gefüllt					Der Apparat mit Luft gefüllt				
	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
Während der 1.24 St.	8,65	11,07	0,087	0,111	126,8	4,82	9,55	0,049	0,096	198,1
» » 2.24 »	16,15	18,01	0,162	0,182	110,8	13,34	17,31	0,134	0,174	129,6
» » 3.24 »	15,01	15,33	0,151	0,154	102,1	16,61	16,37	0,168	0,164	98,6

Versuch XIV.

Pisum sativum.

Am 6. Februar (1881) wurden 20 Samen, welche 5,018 gr. wogen, in den Apparat gebracht. Zur Befeuchtung des Fliesspa-

piers und der Baumwolle wurden 10 CC. Wasser benutzt, und während der Dauer des Versuchs wurden noch weitere 13 CC. Wasser zugegeben. Die Samen kamen in den Apparat in trockenem Zustande, so dass die Quellung derselben in dem Apparate selbst stattfand.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro Stunde und 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden pro 1 Stunde und 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden pro 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
$42^3/_4$	6. Febr.	$4^1/_4$ Ab.	8. Febr.	$11^1/_4$ Fr.	18,5—20,7	8,11	8,10	0,038	0,038	99,9
$28^1/_2$	8. »	$11^1/_2$ Fr.	9. »	4 Ab.	19 —20,6	12,79	12,57	0,092	0,091	98,3
$23^1/_4$	9. »	$4^1/_4$ Ab.	10. »	$3^1/_2$ »	18,8—20,4	19,05	20,55	0,164	0,177	107,9
$23^1/_4$	10. »	$4^3/_4$ »	11. »	4 »	16,0—18,5	17,88	16,30	0,154	0,141	91,2
$23^3/_4$	11. »	$4^1/_4$ »	12. »	4 »	17 —19,5	26,65	27,40	0,225	0,232	102,8
$24^1/_2$	12. »	$3^1/_2$ »	13. »	4 »	14 —19,3	25,36	24,16	0,207	0,197	95,3
$23^1/_2$	13. »	$4^1/_4$ »	14. »	$3^3/_4$ »	13 —18,8	20,41	22,59	0,174	0,192	110,7
23	14. »	4 »	15. »	3 »	17 —22	27,78	28,98	0,241	0,252	104,3

Versuch XV[1].

Triticum sativum.

Am 19. December (1880) wurde eine Anzahl Weizensamen, ohne sie vorher quellen zu lassen, in den Apparat gebracht.

Die Zeit des Versuches					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis					
	Tag	Uhr	Tag	Uhr				
48	19. Dec.	12 M.	21. Dec.	12 M.	19—21,5	8,92	8,15	91,4
26	21. »	$12^1/_2$ »	22. »	$2^1/_2$ Ab.	18—19,5	17,53	16,59	94,6
23	22. »	4 Ab.	23. »	3 »	17—18,5	20,53	21,30	103,6

[1] Ausgeführt von Herrn Stud. Stefan Jentys.

Versuch XVI.

Triticum sativum.

Am 3. April (1881) wurden an feuchter Baumwolle 50 Samen in den Apparat ausgesetzt. Die Samen waren in trockenem Zustande in den Apparat gebracht, so dass die Quellung derselben erst während des Versuches stattfand. Zur Befeuchtung der Baumwolle wurden 8 CC. Wasser benutzt, während des Versuches wurden noch weitere 14 CC. zugegeben.

Die Zeit des Versuches					Temperatur	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge der ausgeschiedenen CO_2 in CC	O aufgenommen pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden pro 1 Stunde von 1 gr. Samen	CO_2 ausgeschieden auf 100 Th. des aufgenommenen O
in Stunden	von		bis							
	Tag	Uhr	Tag	Uhr						
41	3. April	5 Ab.	5. April	10 Fr.	13,5—18,1	4,58	3,88	0,073	0,062	84,7
28¾	5. »	10¼ Fr.	6. »	3 Ab.	15,6—19,0	9,96	10,00	0,230	0,231	100,4
23¾	6. »	3¼ Ab.	7. »	3 »	16,5—18,5	15,84	15,97	0,442	0,446	100,8
22¾	7. »	4½ »	8. »	3¼ »	16 —18	19,37	20,36	0,565	0,594	105,1
24	8. »	3½ »	9. »	3½ »	16,3—18	20,63	22,06	0,571	0,609	106,4
23½	9. »	3¾ »	10. »	3¼ »	15 —19,5	21,09	22,12	0,591	0,623	104,9
24¼	10. »	3½ »	11. »	3¾ »	16,5—20	22,87	24,20	0,627	0,663	105,8
25	11. »	4 »	12. »	5 »	15 —19	25,33	24,30	0,666	0,640	96,3
24	12. »	5¼ »	13. »	5¼ »	16,5—21,0	23,09	25,65	0,636	0,679	106,7
25	13. »	5½ »	14. »	6½ »	17 —20,5	20,95	22,12	0,554	0,585	105,6

Resultate.

1. Das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure.

Aus den hier zusammengestellten Versuchen sehen wir in Uebereinstimmung mit den Resultaten früherer Forscher, dass bei der Keimung der Stärkesamen das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure dem des aufgenommenen Sauerstoffes nahezu gleich ist.

Bei dem Weizen ist während der Quellungsperiode das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes etwas grösser als das der ausgeschiedenen Kohlensäure [1]. Am dritten und vierten Tage sind

[1] Ob diese Erscheinung, wie es Dehérain und Landrin annehmen, eine Folge der Condensation des Sauerstoffes durch die Samen ist, will ich nicht

beide Gasvolumina aneinander gleich, dann beobachten wir ein geringes, aber beständiges Uebergewicht der Kohlensäurebildung gegen die Sauerstoffaufnahme, so dass auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes fast constant 105—106 Volumen Kohlensäure sich bildet. Daraus ist nun zu folgern, dass bei der Keimung des Weizens (die vier ersten Tage der Keimung ausgenommen) eine gewisse Menge Verbindungen, welche von Kohlenhydraten sauerstoffärmer sind, entsteht.

Bei der Keimung der Erbse wird das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure, ohne von dem Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes stark abzuweichen, bald geringer, bald grösser von demselben.

Bemerkenswerth ist der Unterschied zwischen den Versuchen XIV und XIII. Im Versuche XIV, in den ersten zwei Tagen der Keimung, war die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure der des aufgenommenen Sauerstoffes nahezu gleich; im Versuche XIV war während der ersten 24 Stunden eine Kohlensäuremenge ausgeschieden, welche doppelt so gross war als die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes und auch am zweiten Tage der Keimung war das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ noch bedeutend von 1 grösser. Da sowohl der Versuch XIV als XIII mit Erbsen gemacht wurde, so konnte der Unterschied in den Resultaten nur dadurch entstehen, dass beim Versuche XIV trockene, beim Versuche XIII durch Liegen im Wasser eingequollene Samen in die Apparate eingeführt wurden. Die Vergleichung der Versuche XIII und XIV zeigt also: dass, wenn die Quellung der Samen unter Luftzutritt erfolgt, das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ vom Anfange an, auch während der Quellung selbst, $= 1$ ist, wenn aber die Quellung unter Wasser, also ohne Luftzutritt stattfindet, so wird dieses Verhältniss, auch nachdem schon die Samen aus dem Wasser herausgenommen, vollen Luftzutritt oder sogar Sauerstoffzutritt geniessen, noch eine Zeitlang von 1 grösser. Wir haben hier also mit intramolecularer Athmung zu thun. Dass die unter Wasser ohne Luftzutritt quellenden Samen Kohlensäure durch intramoleculare Athmung bilden,

entscheiden, jedenfalls überschätzen die genannten Forscher die Rolle dieser Condensation zu sehr.

ist schon längst bekannt, durch unsere Versuche wird aber bewiesen, dass diese intramoleculare Athmung nicht sofort, nachdem der Luftzutritt wiederhergestellt wird, aufhört, sondern dass sie noch eine Zeitlang neben der normalen Athmung fortdauert und erst nach und nach durch Sauerstoffathmung ersetzt wird.

Nicht unwahrscheinlich scheint mir zu sein, dass die Unterschiede in dem Verhalten des Wasserstoffes, welche Sachsse in verschiedenen Keimungsperioden der Erbsensamen gefunden hat, eine Folge der Quellung der Samen unter Wasser waren. Sachsse [1] fand, dass die Erbsensamen während der ersten drei Tage der Keimung 4,74 pCt. der primären Trockensubstanz verloren, und dass das Verhältniss in der Abnahme der einzelnen Elemente war wie $C_1 H_{0,67} O_{0,79}$, während der drei folgenden Tage der Keimung verloren die Samen noch weitere 3,82 pCt. Trockensubstanz, das Verhältniss in der Abnahme der einzelnen Elemente war aber jetzt wie $C_1 H_{1,2} O_{0,79}$. In der ersten Periode der Keimung wurde also verhältnissmässig bedeutend weniger Wasserstoff durch die Athmung verbrannt als in der zweiten.

Da Sachsse, um seine Samen zur Quellung zu bringen, dieselben vor dem Versuche 48 Stunden lang unter Wasser liegen liess, so lässt sich nach der von mir gemachten Erfahrung mit Sicherheit schliessen, dass ein Theil der Kohlensäure, welche in der ersten Periode von den Samen gebildet wurde, ein Produkt der intramolecularen Athmung war, dass dagegen in der zweiten Periode sämmtliche ausgeschiedene Kohlensäure durch Sauerstoffathmung gebildet wurde. Bei der intramolecularen Athmung konnten sich aber wasserstoffreichere in der Pflanze verbleibende Verbindungen bilden, was eine Verminderung des Wasserstoffverlustes zur Folge haben musste. Hätte Sachsse seine Experimente so eingerichtet, dass die Quellung der Samen beim vollen Luftzutritt stattfände, so würde er vielleicht in der ersten Periode dasselbe Verhältniss des Verlustes der einzelnen Elemente gefunden haben, wie in der zweiten, d. h. $C_1 H_{1,2} O_{0,79}$.

2. Einfluss der Pflanzenart auf die Athmungsenergie.

Wenn wir zunächst die Athmungsenergie der keimenden Stärkesamen mit der der Fettsamen vergleichen, so sehen wir, dass

[1] Ueber einige chemischen Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum, Leipzig 1872.

dieselbe bei den ersten bedeutend geringer ist als bei den letzten. Auch verschiedene Stärkesamen untereinander differiren in dieser Hinsicht ziemlich stark. 1 gr. keimender Weizensamen nimmt in gleicher Zeit und unter ähnlichen Bedingungen bedeutend mehr Sauerstoff auf als 1 gr. Erbsensamen.

3. Einfluss der partiären Sauerstoffpressung.

Die Versuche XI, XII und XIII zeigen, dass durch Liegen unter Wasser eingequollene Erbsensamen in den ersten Keimungstagen aus reinem Sauerstoff bedeutend mehr dieses Gases in gleicher Zeit aufzunehmen im Stande sind als aus der Luft. Auch die Kohlensäurebildung wird bei den eingequollenen Samen durch die Wirkung des reinen Sauerstoffes beschleunigt, doch nicht in so hohem Grade als die Sauerstoffaufnahme. Durch die Einführung der gequollenen Erbsensamen in reines Sauerstoffgas wird also sofort zum grössten Theil die intramoleculare Athmung durch die normale ersetzt, was in der Luft viel langsamer zu Stande kommt. Daraus ist nun zu folgern, dass die intramoleculare Athmung, welche wir in den ersten Keimungstagen der unter Luftabschluss eingequollenen Samen beobachtet haben, durch eine in Folge der Quellung unter Wasser eingetretene Veränderung in dem Bau der Samen hervorgerufen wird. Es sind wahrscheinlich Veränderungen in den Intercellularräumen, vielleicht eine Verstopfung derselben durch Wasser, welche den Luftzutritt zu den inneren Zellen der Samen erschweren und dadurch die intramoleculare Athmung hervorrufen. Sind solche Samen mit reinem Sauerstoff umgeben, so dringt der letzte leichter in die inneren Zellen hinein und ermöglicht früher die normale Athmung.

Anders verhält sich die Sache, wenn die Samen bei vollem Luftzutritt quellen. In die Intercellularräume dringt dann die Luft ohne Hinderniss ein, freier Sauerstoff steht in Folge dessen sämmtlichen Zellen zur Verfügung und ermöglicht eine ganz normale Sauerstoffathmung derselben.

III. Athmung der Blüthenknospen von Papaver somniferum.

Versuch XVII.

Zum Experiment wurden vier aufblühende Blüthenknospen benutzt. Diese vier Knospen wogen 21,1 gr. und enthielten 3,328 gr.

Trockensubstanz. Der Versuch dauerte 24 Stunden bei einer Temperatur von 16—17,6°C. Das Resultat war:

Sauerstoff aufgenommen	41,45 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	41,83 CC.

Auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes wurden also 100,9 Vol. Kohlensäure ausgeschieden.

Versuch XVIII.

Zwei Apparate wurden gleichzeitig zusammengestellt, jeder enthielt zwei Blüthenknospen. Um die Wirkung der partiären Pressung des Sauerstoffes zu studiren, wurde die Ablesung womöglich jede 2 Stunden gemacht.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Zwei Blüthenknospen von 12,05 gr. Frisch- u. 2,197 gr. Trockengewicht in 251CC. Luft, welche 52,46 CC. O enthalten			Zwei Blüthenknospen von 12,13 gr. Frisch- u. 2,246 gr. Trockengewicht in 268,36 CC. Luft, welche 56,08 CC. O enthalten		
in Stunden	von		bis			Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge O pro 1 Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Pressung des O	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge O pro 1 Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Sauerstoffpressung
	Tag	Uhr	Tag	Ubr							
2	14. Juni	12 Fr.	14. Juni	2 Ab.	19,3	4,05	2,02	0,1430	5,17	2,58	0,1418
2	14. »	2 Ab.	14. »	4 »	19,3—19,3	5,34	2,67	0,1285	6,01	3,00	0,1269
2	14. »	4 »	14. »	6 »	19,6—19,0	5,55	2,77	0,1125	6,02	3,01	0,1105
2	14. »	6 »	14. »	8 »	19,0—18,7	5,63	2,81	0,0975	6,29	3,14	0,0938
2	14. »	8 »	14. »	10 »	18,7—18,0	5,0	2,50	0,0821	5,36	2,68	0,0782
6	14. »	10 »	15. »	4 Fr.	18,0—17,4	13,86	2,31	0,0548	14,61	2,26	0,0512
2	15. »	4 Fr.	15. »	6 »	17,4—17,3	3,80	1,90	0,0293	4,37	2,18	0,0255
½	15. »	6 »	15. »	6½ »	17,3—17,6	1,21	2,10	0,0221	0,65	1,30	0,0193
Von der Zusammenstellung des Apparates bis zur ersten Ablesung						0,68			0,86		

Während der ganzen Versuchsdauer

Sauerstoff aufgenommen	45,27 CC.,	49,34 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	46,05 CC.,	49,83 CC.

Auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes Kohlensäure ausgeschieden: 101,1 100,9

Versuch XIX.

Zwei Apparate wurden gleichzeitig zusammengestellt, jeder enthielt drei Blüthenknospen. Die Ablesungen wurden wie im vorigen Versuche womöglich jede zwei Stunden gemacht.

Die Zeit des Versuchs					Temperatur	Drei Blüthenknospen von 11,42 gr. Gew. in 248,49 CC. Luft, welche 52,02 CC. Sauerstoff enthalten			Drei Blüthenknospen von 14,27 gr. Gewicht in 246,69 CC. Luft, welche 55,82 CC. O enthalten		
in Stunden	von		bis			Die Menge des aufgenommenen O in CC	O aufgenommen pro Stunde	Partiäre Sauerstoffpressung	Die Menge des aufgenommenen O in CC	O aufgenommen pro Stunde	Partiäre Sauerstoffpressung
	Tag	Uhr	Tag	Uhr							
2	16. Juni	4½ Ab.	16. Juni	6½ Ab.	18,6–18,2	3,82	1,91	0,1412	5,86	2,93	0,1376
2	16. »	6½ »	16. »	8½ »	18,2—17,7	5,12	2,51	0,1282	7,28	3,64	0,1147
9½	16. »	8½ »	17. »	6 Fr.	17,7—17,5	25,0	2,63	0,0852	30,30	3,19	0,0693
2	17. »	6 Fr.	17. »	8 »	17,5—18,2	4,75	2,37	0,0424	5,16	2,58	0,0212
2	17. »	8 »	17. »	10 »	18,2—18,5	4,20	2.10	0,0296	3,12	1,51	0,0100
2	17. »	10 »	17. »	12 »	18,5—19,0	3,71	1,85	0,0181	1,76	0,88	0,0039
2	17. »	12 »	17. »	2 Ab.	19,0	2,0	1,00	0,0099	0,46	0,23	0,0011
2	17. »	2 Ab.	17. »	4 »	19,0—19.1	1,01	0,50	0,0059	0,33	0,17	0,0000
2	17. »	4 »	17. »	6 »	19,1—18,7	0,52	0,27	0,0027	0,05	0,02	0,0000
½	Von der Zusammenstellung des Apparates bis zur ersten Ablesung					0,95			1,47		

Während der ganzen Versuchsdauer

Sauerstoff aufgenommen	51,08 CC.,	55,79 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	54,62 CC.,	verunglückt.

Nach diesen Versuchen wird bei der Athmung der Blüthenknospen des Mohns ebensoviel Kohlensäure ausgeschieden als Sauerstoff angenommen. Die beiden gefundenen Gasvolumina sind einander so nah, dass diese Versuche sogar als Beweis für die

Zuverlässigkeit unserer Methode dienen können. Nur im Versuche XIX übertrifft die Kohlensäurebildung die Sauerstoffaufnahme ganz deutlich, doch lässt sich der Grund dieser Ausnahme leicht übersehen. Gegen das Ende dieses Versuches hat die partiäre Pressung des Sauerstoffes so stark abgenommen, dass die intramoleculare Athmung sich in Folge dessen äussern musste. Aus dem Versuche XVIII sehen wir aber, dass diese intramoleculare Athmung nicht sofort zu Tage tritt, nachdem die normale Athmung sich in Folge des verminderten Sauerstoffdruckes zu verlangsamen beginnt, aber erst dann, wenn dieselbe (wie im Versuch XIX) schon auf ein Minimum reducirt worden ist. Im Versuche XVIII ist gegen das Ende des Versuches die Sauerstoffpressung schon auf etwa 20 mm gesunken und in Folge dessen die Athmung bedeutend verlangsamt wurde und doch hat sich die intramoleculare Athmung noch nicht im mindesten geäussert. Diese Versuche bestätigen also unsere Folgerungen, welche wir über die Beziehung der intramolecularen zur normalen Athmung aus dem Versuche IV gemacht haben und beweisen, dass die normale Athmung auch hier keineswegs eine Folge der intramolecularen ist, sondern dass sie auf einer unmittelbaren Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Moleküle des lebendigen Protoplasmas beruht.

Was die Wirkung der partiären Pressung des Sauerstoffes auf die Athmungsenergie anbetrifft, so sehen wir, dass, so lange diese Pressung nicht etwa auf die Hälfte (75 mm) reducirt worden ist, die Athmung mit grosser Gleichmässigkeit verläuft, erst bei einer noch weiteren Sinkung des Sauerstoffdruckes fängt sie an, sich zu verlangsamen, ohne aber eher aufzuhören, bis die letzten Spuren des Sauerstoffes aus der umgebenden Luft verschwinden. Der Sauerstoff wird also von den lebenden Pflanzentheilen bis auf die letzte Spur aufgenommen [1].

[1] Eine vollständige Absorption des Sauerstoffes aus der Luft von den athmenden Pflanzentheilen habe ich schon 1874 an Borrera ciliaris beobachtet, vergl. »Niektóre doświadczenia nad oddychaniem porostów« (Einige Versuche über die Athmung der Flechten) in Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Krakau, Bd. I. (Voyez p. 209 du présent volume. Réd.). Dasselbe beobachteten Wolkoff und Mayer an den Keimpflanzen, Landwirthschaftliche Jahrbücher III (1874) S. 502.

IV. Athmung der reifenden Früchte mit Oelsamen.

Versuch XX.

Papaver somniferum.

Zwei Apparate wurden gleichzeitig zusammengestellt, jeder enthielt zwei unreife Mohnfrüchte. Der Versuch dauerte 19 Stunden bei einer Temperatur von 18,7—21,2° C.

Die Zeit des Versuches					Zwei Mohnfrüchte von 7,45 gr. Frisch- u. 1,24 gr. Trocken-gewicht in 253 CC. Luft		Zwei Mohnfrüchte von 8,2 gr. Frisch- u. 1,362 gr. Trocken-gewicht in 269 CC. Luft	
in Stunden	von		bis		Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge O pro Stunde aufgenommen	Die Menge des aufgenommenen O in CC	Die Menge O pro Stunde aufgenommen
	Tag	Uhr	Tag	Uhr				
12	20. Juli	7 Ab.	21. Juli	7 Fr.	13,93	1,13	15,04	1,21
3	21. »	7 Fr.	21. »	10 »	3,02	1,01	3,45	1,15
4	21. »	10 »	21. »	2 Ab.	4,12	1,03	4,76	1,19
	Von der Zusammenstellung des Apparates bis zur ersten Ablesung				0,56		0,61	

Während der ganzen Versuchszeit:

Sauerstoff aufgenommen	21,72 CC.,	23,96 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	32,62 CC.,	36,63 CC.
Verhältniss beider Gasvolumina:	100:150.	100:152.

Versuch XXI.

Ricinus communis.

Am 7. September (1879) wurden gleichzeitig zwei Apparate, deren einer mit Luft, der andere mit Sauerstoff gefüllt war, zusammengestellt. Jeder Apparat enthielt vier unreife Ricinusfrüchte, welche zusammen 9,1 gr. wogen. Die Ablesungen wurden womöglich jede 3 Stunden gemacht.

Die Zeit des Versuches					Temperatur	Der Apparat mit Luft gefüllt			Der Apparat mit O gefüllt		
in Stunden	von Tag	von Uhr	bis Tag	bis Uhr		Die Menge des aufgenommenen O in CC	O pro Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Sauerstoffpressung	Die Menge des aufgenommenen O in CC	O pro Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Sauerstoffpressung
3	7. Sept.	12 Fr.	7. Sept.	3 Ab.	20,3—21,3	3,0	1,0	0,1435	3,38	1,12	0,7294
3	7. »	3 Ab.	7. »	6 »	21,2—20,9	4,66	1,55	0,1333	4,90	1,63	0,7094
3	7. »	6 »	7. »	9 »	20,9—19,6	4,53	1,51	0,1212	4,50	1,50	0,6952
10	7. »	9 »	8. »	7 Fr.	19,6—19,5	11,84	1,18	0,0974	13,34	1,33	0,6704
2	8. »	7 Fr.	8. »	9 »	19,5—20,3	1,99	0,99	0,0776	2,38	1,12	0,6517
	Von der Zusammenstellung des Apparates bis zur ersten Ablesung					0,66			0,86		

Während der ganzen Versuchszeit:

Sauerstoff aufgenommen	26,68 CC.,	29,36 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	32,37 CC.,	34,77 CC.
Verhältniss beider Gasvolumina:	100:121.	100:118.

Versuch XXII.

Ricinus communis.

Am 13. September (1879) wurden gleichzeitig zwei mit Luft gefüllte Apparate zusammengestellt, der eine enthielt vier (von 10 gr. Gewicht), der andere drei (von 7 gr. Gewicht) unreife Ricinusfrüchte. Die Ablesungen wurden womöglich jede vier Stunden gemacht (s. Tab. S. 424).

Das interessanteste Ergebniss dieser Versuchsreihe ist, dass das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure das des aufgenommenen Sauerstoffes bedeutend übertrifft. Dieses Ergebniss ist nicht nur leicht erklärlich, sondern ist sogar theoretisch vorauszusehen. Bekanntlich wird bei der Reifung der Samen die Stärke in Fett umgewandelt, da aber die Stärke eine an Sauerstoff viel reichere Verbindung als Fett ist, so muss sie bei dieser Umwandlung einen Theil seines Sauerstoffes verlieren. An eine Ausscheidung des

Die Zeit des Versuches					Temperatur	4 Ricinusfrüchte			3 Ricinusfrüchte		
in Stunden	von		bis			Die Menge des aufgenommenen O in CC	O pro Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Pressung des O	Die Menge des aufgenommenen O in CC	O pro Stunde aufgenommen in CC	Partiäre Pressung des O
	Tag	Uhr	Tag	Uhr							
$2^1/_2$	13. Sept.	$3^3/_4$ Ab.	13. Sept.	$6^1/_4$ Ab.	17,1—17,0	1,54	0,51	0,1487	1,46	0,58	0,1486
13	13. »	$6^1/_4$ »	14. »	$7^1/_4$ Fr.	17,0—16,9	12,03	0,92	0,1306	8,39	0,64	0,1347
4	14. »	$7^1/_4$ Fr.	14. »	$11^1/_2$ »	16,9—17,9	3,57	0,89	0,1101	2,31	0,57	0,1223
4	14. »	$11^1/_2$ »	14. »	$3^1/_4$ Ab.	17,9—18,6	3,40	0,85	0,1010	2,01	0,50	0,1165
2	14. »	$3^1/_4$ Ab.	14. »	$5^1/_4$ »	18,6—18,1	1,61	0,80	0,0944	0,81	0,40	0,1101
14	14. »	$5^1/_4$ »	15. »	$7^1/_4$ Fr.	18,1—17,4	9,09	0,64	0,0800	—	—	—
4	15. »	$7^1/_4$ Fr.	15. »	$11^1/_4$ »	17,4—19,3	1,46	0,36	0,0660	—	—	—
$4^1/_2$	15. »	$11^1/_4$ »	15. »	$3^3/_4$ Ab.	19,3—19,1	2,43	0,61	0,0609	—	—	—
4	15. »	$3^3/_4$ Ab.	15. »	$7^3/_4$ »	19,1—17,4	2,15	0,54	0,0545	—	—	—
11	15. »	$7^3/_4$ »	16. »	$6^3/_4$ Fr.	17,4—17,7	5,77	0,52	0,0436	—	—	—
4	16. »	$6^3/_4$ Fr.	16. »	$10^3/_4$ »	17,7—20,3	2,01	0,50	0,0320	—	—	—
	Vor der Zusammenstellung des Apparates bis zur ersten Ablesung								0,81		

Während der ganzen Versuchszeit:

Sauerstoff aufgenommen	45,16 CC.,	15,29 CC.
Kohlensäure ausgeschieden	verunglückt	19,58 CC.
Verhältniss beider Gasvolumina		100 : 128.

freien Sauerstoffes ist hier schon aus diesem Grunde nicht zu denken, dass die Samen in den Früchten eingeschlossen nicht dem Lichte ausgesetzt sind, die Reduction kann also nur durch Abspaltung sauerstoffreicherer Verbindungen zu Stande kommen. Es ist von vornherein wahrscheinlich, dass diese sauerstoffreichere Verbindung Kohlensäure ist, und in Folge dessen ist auch à priori zu erwarten, dass die reifenden Samen ein Kohlensäurevolumen aushauchen werden, welches das des aufgenommenen Sauerstoffes bedeutend übertreffen wird [1], was durch unsere Versuche vollkom-

[1] Es ist ganz merkwürdig, dass Sabanin und Laskowski, welche über die Athmung der Oelfrüchte speciello Versuche angestellt haben (Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1878), nicht nur auf das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffes zur ausgeschiedenen Kohlensäure ihre Aufmerksamkeit nicht lenkten, aber, was schlimmer, nahmen stillschweigend an, dass

men bestätigt worden ist. Der Versuch XX zeigt in der That, dass die reifenden Mohnfrüchte auf 1 Volumen des verbrauchten Sauerstoffes 1,5 Volumen Kohlensäure bilden, woraus mit Nothwendigkeit folgt, dass etwa $^1/_3$ der gebildeten Kohlensäure nicht auf Kosten des atmosphärischen sondern auf Kosten des in der Stärke selbst enthaltenen Sauerstoffes entstanden ist; mit anderen Worten, dass in gewissen Perioden der Reifung der Mohnfrüchte nur $^2/_3$ der sich bildenden Kohlensäure durch normale und $^1/_3$ durch intramoleculare Athmung entsteht. Auch bei der Reifung der Ricinusfrüchte verhält sich die Sache nicht anders, nur ist hier (wenigstens in dem von uns untersuchten Reifungsstadium) das Uebergewicht der Kohlensäurebildung gegen die Sauerstoffaufnahme geringer als bei dem Mohne. Unsere Versuche beweisen also auf das bestimmteste, dass die Umwandelung der Stärke in Fett ein Reductionsprocess ist, welcher dadurch zu Stande kommt, dass ein Theil der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome der Stärkemoleküle theilweise auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffes, theilweise auf Kosten des Sauerstoffes der Stärke selbst zu Kohlensäure und Wasser oxydirt werden. Wir können das auch so ausdrücken, dass die Ueberführung der Stärke in Fett auf der Combination der intramolecularen mit normaler Athmung beruht.

Was die Wirkung der Sauerstoffpressung auf die Athmung der reifenden Oelfrüchte anbetrifft, zeigen unsere Versuche, dass diese Wirkung ganz unbedeutend ist. Bei dem Versuche XXI haben die Ricinusfrüchte in reinem Sauerstoffgase nur wenig schneller geathmet als in Luft. Der Versuch XXII zeigt bei einer sehr starken Abnahme der Sauerstoffpressung eine ziemlich geringe Verminderung der Athmungsgeschwindigkeit und dabei ist noch möglich, dass auch diese Verminderung, nicht durch zu geringen Sauerstoffdruck, sondern durch geschwächte Lebensenergie bedingt worden ist.

beide Gasvolumina aneinander gleich sind. Unter dieser unbegründeten und unwahrscheinlichen Annahme berechnen sie die Mengen der ausgeschiedenen Kohlensäure einfach nach den Atomgewichten aus den gefundenen Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und die so erhaltenen Zahlen nehmen sie in die Tabellen auf (S. 198). Dieses Verfahren muss um so mehr befremden, als schon Mayer in seinem Lehrbuch der Agriculturchemie 1871, S. 106, deutlich darauf hinwies, dass bei der Umwandlung der Stärke in Fett »eine verhältnissmässig kleine Sauerstoffaufnahme und verhältnissmässig grosse Kohlensäureausgabe« zu erwarten ist.

Resultate.

Zum Schluss will ich noch die wichtigsten Resultate unserer Arbeit zusammenstellen:

1. Während der Quellungsperiode der Keimung sowohl der Stärke- als der Fettsamen ist das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure nahezu dem des aufgenommenen Sauerstoffes gleich und nur wenig von demselben geringer.

2. Wenn die Quellung der Samen unter Luftabschluss, z. B. unter Wasser vor sich geht, dann tritt in ihnen intramoleculare Athmung ein. Diese intramoleculare Athmung hört nicht sofort, nachdem die Samen dem Luftzufritt ausgesetzt werden, auf, sondern wird erst nach und nach durch normale Athmung ersetzt.

3. Sobald die Fettsamen die Wurzelchen auszutreiben beginnen, fängt das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure immer mehr hinter dem des aufgenommenen Sauerstoffes zurückzubleiben. Während der Periode der stärksten Athmung der Pflänzchen wird auf 100 Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes nur etwa 55 - 65 Volumen Kohlensäure ausgeschieden, und dieses Verhältniss bleibt einige Zeit constant erhalten.

4. Die transitorische Stärkebildung bei der Keimung der Fettsamen erfolgt höchst wahrscheinlich auf diese Weise, dass jedes Fettmolekül unter der Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes sich in Kohlensäure, Wasser, eine gewisse Menge unbestimmter Stoffe und drei Moleküle Stärke spaltet. Diese Umwandlung können wir mit folgenden Formeln veranschaulichen:

$$(C_{18}H_{33}O.O)_3C_3H_5 + 3H_2O = C_3H_5(OH)_3 + 3C_{18}H_{34}O_2$$

$$C_{18}H_{34}O_2 + 17O_2 = C_6H_{10}O_5 + C_2H_xO\left(\frac{x}{2}-1\right) + 10CO_2 + \frac{24-x}{2}H_2O.$$

5. In späteren Keimungsstadien der Fettsamen fängt neben dem Fette auch die transitorische Stärke bei der Athmung an, sich zu verbrauchen, wodurch der Unterschied zwischen dem Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure und des aufgenommenen Sauerstoffes ein immer geringerer wird, bis endlich die beiden Volumina einander gleich werden.

6. Bei der Keimung der Stärkesamen ist das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure in allen Keimungsstadien dem des aufgenommenen Sauerstoffes nahezu gleich. Bei der Keimung der Erbse ist das erste Volumen bald etwas grösser, bald kleiner als das zweite; bei der Keimung des Weizens ist (ausgenommen der

allerersten Tage der Keimung) das Volumen der ausgeschiedenen Kohlensäure beständig etwas grösser als das Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes, so dass das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ fast constant $= 1{,}05$ ist.

7. Bei dem Aufblühen der Knospen des Mohns sind die Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und der ausgeschiedenen Kohlensäure einander gleich.

8. Die reifenden Früchte mit Oelsamen scheiden bei der Athmung ein Volumen Kohlensäure aus, welches von dem Volumen des aufgenommenen Sauerstoffes bedeutend grösser ist.

9. Die Veränderungen der partiären Pressung des Sauerstoffes beeinflussen die Athmungsenergie verschiedener Pflanzentheile in sehr verschiedener Weise: in den Fällen, wo Fett verathmet wird, ist die Athmungsenergie vom Sauerstoffdrucke mehr abhängig als in den Fällen, wo sich die Athmung auf Kosten von Kohlenhydraten vollzieht.

10. Das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ ist bis zu einer gewissen Grenze von der partiären Pressung des Sauerstoffes unabhängig. Erst wenn der Sauerstoffdruck so stark herabsinkt, dass die normale Athmung auf ein Minimum reducirt wird, fängt die intramoleculare Athmung sich zu äusssern an und das Verhältniss $\frac{CO_2}{O}$ wird nun in Folge dessen verändert.

11. Die intramoleculare Athmung ist unter normalen Bedingungen keine primäre, die Sauerstoffaufnahme hervorrufende, Erscheinung (wie es Pfeffer und Wortmann haben wollen), die normale Athmung beruht auf unmittelbarer Wirkung des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Moleküle des lebendigen Protoplasmas. Die intramoleculare Athmung tritt erst dann zu Tage, wenn die normale Athmung in Folge des Sauerstoffmangels sehr erschwert wird.

12. Unter gewöhnlichen Bedingungen tritt die intramoleculare Athmung nur dann ein, wenn in der Pflanze Reductionsprocesse zu Stande kommen, z. B. wenn sich Fett aus Kohlenhydraten bildet.

Dublany bei Lemberg, 4. Februar 1882.

Przyczynek do teorji krążenia soków u roślin.

(Pamiętnik Akademji Umiejętności w Krakowie, t. IX, 1884, str. 161—198).

Wiadomo, że prawie cała ilość wody, jaką rośliny do budowy swych tkanek potrzebują, oraz przez wyparowanie zużywają, z ziemi przez korzenie roślin pobieraną zostaje. Przy tem pobieraniu czynnemi są nie całe korzenie, ale tylko młodsze ich części, a więc przy mocno zakorzenionej roślinie owe najdelikatniejsze rozgałęzienia korzeni, jakiemi ziemia jest przerośniętą. Starsze części korzeni, u których naskórek i włoski korzeniowe zniszczały, nie pobierają już wody wprost z ziemi, ale tylko przeprowadzają wodę, przez młodsze korzonki pobraną, dalej do łodygi. Owe młodsze bezpośrednio czynne części korzeni pobierają wodę naturalnie za pomocą tych swoich części, które się bezpośrednio z ziemią i zawartą w niej wodą stykają, a więc za pomocą naskórka i włosków korzeniowych. Pobieranie wody przez te komórki odbywa się niezawodnie na mocy praw osmotycznych. Z komórek naskórka przenika woda do coraz dalej leżących warstw komórek miękiszu korowego i nareszcie dochodzi do komórek otaczających cylinder środkowy korzenia. Z tych komórek woda wydzieloną zostaje do naczyń i cewek cylindra środkowego, któremi płynie w górę aż nad powierzchnię ziemi do łodygi. Choć nie u wszystkich, ale przecież u wielu roślin możemy stwierdzić, że gdy łodygę rośliny parę centymetrów po nad ziemią zetniemy, nie naruszając w niczem korzenia, to z tego przekroju woda, pobierana z ziemi przez korzenie, przez dłuższy czas jeszcze, często przez parę tygodni, wypływać będzie, a osuszając na chwilę bibułą taki przekrój, nie trudno się przekonać, że właśnie z tkanek drzewnych ten wypływ ma miejsce. Temi to tkankami drzewnemi rozchodzi się woda w roślinie i dalej aż do najwyższych jej szczytów, niemi też w tak zwanych nerwach wchodzi do liści rośliny, gdzie roz-

dziela się na mnóstwo strumieni po całej blaszce liściowej się rozpływających, ztąd wsiąka do komórek miękiszu i naskórka liściowego, aby potem, zamieniwszy się pod wpływem ciepła słonecznego na parę, ulotnić się w powietrze.

Że podnoszenie się wody w roślinach odbywa się w tkankach drzewnych, to nie ulega najmniejszej wątpliwości, skoro n. p. zdjęcie szerokiego nawet pierścienia kory wraz z miazgą z jakiejś gałęzi nie przeszkadza, jak wiadomo, wstępowaniu do niej wody; ale, w jaki sposób ta woda w tkankach drzewnych się podnosi, jakie siły powodują wydźwignięcie jej do szczytów drzew często na 50 i więcej metrów wysokich, na to pytanie nie mamy do dziś dnia zadowalającej odpowiedzi. Co do objaśnienia tego ruchu wody nie tylko istnieją między botanikami zasadnicze różnice zdań, ale, co gorsza, wszystkie dzisiejsze teorje ruchu wody popadają w sprzeczność z najelementarniejszemi zasadami fizyki.

Największa ilość botaników hołduje, a przynajmniej aż do ostatnich lat hołdowała, tak zwanej teorji imbibicyjnej, i we wszystkich znanych mi bliżej nawet najnowszych podręcznikach botanicznych, jak: Pfeffera, Sachsa, Wiesnera, teorja ta jako jedynie możliwa jest podawana.

Teorja ta, której głównym twórcą i propagatorem jest Sachs, przyjmuje, że ruch wody w drzewie odbywa się nie wewnątrz naczyń i komórek drzewnych, ale tylko w ich błonach pomiędzy molekułami tychże. Siłą podnoszącą wodę ma być nasiąkliwość zdrewniałych błon komórkowych, czyli przyciąganie między molekułami tych błon a wodą. Tej nasiąkliwości zdolności imbibicyjnej) nie należy identyfikować z włoskowatością, bo w naczyniach włoskowatych woda podnosi się w gotowych już istniejących przestworkach, które przedtem powietrzem były wypełnione i które po wyschnięciu wody znów powietrzem się wypełniają. Przy nasiąkliwości takich gotowych przestworków między molekułami niema, powstają one dopiero, gdy woda wciska się między molekuły i od siebie je oddala; gdy woda wysycha, molekuły znów do siebie się zbliżają, przestworki, w których woda się znajdowała, zmniejszają się lub znikają, a całkowita objętość nasiąkliwego ciała zmniejsza się. W tem znaczeniu nasiąkliwemi są wszystkie niemal organiczne części składowe tkanek roślinnych, w tem też znaczeniu są nasiąkliwemi i błony komórkowe tkanek przeprowadzających wodę, t. j. tkanek drzewnych. Podnoszenie

się wody w roślinie podług teorji Sachsa i jego zwolenników odbywa się w ten sposób, że komórki śródliścia i naskórka, stykające się z powietrzem, tracą wodę przez parowanie, komórki, które więcej wody utraciły, odciągają przez endosmozę wodę tym, które bezpośrednio wody nie wyparowują, ta utrata wody przenosi się aż do komórek, graniczących już z cewkami i naczyniami drzewnemi, znajdującemi się w nerwach liściowych. Otóż woda, w błonach tych naczyń się znajdująca, odciągana zostaje przez komórki śródliścia, w skutek czego powiększa się w molekułach tej błony przyciąganie do wody, to powoduje ruch wody od molekułów dalej położonych części błony, to znów powiększa przyciąganie wody przez molekuły tej dalszej części, skutkiem czego następuje dopływ wody od jeszcze dalszych części błon komórkowych i t. d.; ruch taki przenosi się przez całą długość łodygi i starszych części korzeni aż do błon komórkowych cylindra środkowego najmłodszych rozgałęzień korzeniowych, które już pobierają wodę z komórek miękiszu korowego korzeni; do tych zaś komórek woda z ziemi siłą osmozy doprowadzoną zostaje.

Według tej zatem teorji pobieranie wody z ziemi przez naskórek i włoski korzeni oraz doprowadzenie jej do cylindra środkowego odbywa się przez działanie sił osmotycznych, również przez działanie tychże sił odbywa się doprowadzenie wody od nerwów liści do transpirujących komórek śródliścia i naskórka, i te wszystkie ruchy odbywają się przez wnętrze komórek, ale cały wstępujący ruch wody od korzeni aż do liści ma być skutkiem działania siły nasiąkliwości i ma się odbywać nie przez wnętrze komórek, ale pomiędzy cząstkami samych błon komórkowych.

Argumenta, jakie zwolennicy teorji imbibicyjnej na jej poparcie używają, są więcej negatywnej niż pozytywnej natury. Siły endosmotyczne, powiadają oni, nie mogą być przyczyną podnoszenia się wody w drzewie, bo cewki i naczynia drzewne nie zawierają protoplazmy; przez włoskowatość podnoszenie się wody także spowodowane być nie może, bo najprzód woda w naczyniach i cewkach drzewnych nie stanowi jednociągłej kolumny, ale poprzerywaną jest powietrzem, a powtóre wewnętrzna średnica tych naczyń i cewek jest zbyt wielką, aby woda w skutek działania włoskowatości mogła się podnieść do tych wysokości, do jakich ona istotnie dochodzi. Skoro tedy ani siły endosmotyczne ani włoskowate nie są w możności spowodować podnoszenia się

wody do najwyższych szczytów drzew, to nie pozostaje nam jak przyjąć, że przyciąganie molekułów samych błon komórkowych, czyli ich nasiąkliwość, ów ruch wody powoduje: że zatem ruch wody nie we wnętrzu naczyń i komórek drzewnych, ale w ich ściankach ma miejsce. Dalszym argumentem, jaki Sachs i jego zwolennicy na poparcie swej teorji przywodzą, jest to, że w okresie najsilniejszej transpiracji cewki i naczynia drzewne przeważnie nie wodą, ale powietrzem są wypełnione.

Z argumentów, mających już pozytywnie dowodzić, że woda nie wewnątrz cewek drzewnych, ale w ich ściankach się porusza, zwolennicy teorji imbibicyjnej tylko dwa przytaczają.

1. Jeśli gałązkę transpirującej rośliny, np. lnu, chmielu[1], wierzby[2], grochownika, zupełnie ostro zagniemy, to mimo, że, jak twierdzą experymentatorowie, wnętrze komórek w miejscu zgięcia musiało niewątpliwie zostać zamknięte, gałązka nie więdnie; co dowodzi, że woda do nagiętej gałązki przez błony dostawać się musi.

2. Drugim argumentem[3] ma być fakt, jeszcze przez Halesa przytaczany, że gdy na przeciwnych stronach gałązki drzewnej zrobimy w małej od siebie odległości, jedno nad drugiem, dwa głębokie, aż po za rdzeń sięgające zacięcia, to mimo to gałązka nie zwiędnie. Ponieważ przez te nacięcia ciągłość naczyń zostanie przerwana, więc ma to dowodzić, że woda tylko przez ścianki komórek drzewnych, a nie przez ich wnętrze po nad te nacięcia dostać się może.

Widzimy, że podstawy, na których wspiera się teorja imbibicyjna, są bardzo wątłe, i dziwić się zaiste wypada, jak mogła ona tak długo wyłączne w nauce zajmować stanowisko. Obecnie, jak sądzimy, przez prace Böhma, Höhnela, a przedewszystkiem Hartiga, teorja imbibicyjna na zawsze chyba pogrzebaną została.

Hartig w ostatniej swej rozprawie: *Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie. Berlin 1883*, dał tak dosadną krytykę teorji imbibicyjnej, że do niej niewiele dodać już można, i gdyby nie poważne stanowisko, jakie zwolennicy teorji imbibicyjnej zajmują w nauce, oraz potrzeba uzupełnienia całości naszego obrazu, moglibyśmy, powoławszy się tylko na krytykę daną przez Hartiga, przejść do rozpatrywania innych teorji. To też,

[1] Sachs, *Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie*. Leipzig. 1882. S. 288.
[2] Dufour. *Ueber den Transpirationsstrom der Holzpflanzen*. 1883.
[3] Dufour. l. c.

przystępując do rozbioru teorji imbibicyjnej, z góry się zastrzegamy, że większą część tego, co tu powiemy, wypowiedzieli już poprzednio Böhm, Russow i Hartig.

Argumenta negatywne, przez zwolenników teorji imbibicyjnej przytoczone, a opierające się na tem, że ruchu wody wewnątrz cewek i naczyń drzewnych nie można wyjaśnić ani przez endosmozę ani przez włoskowatość, nie są właściwie argumentami za teorją imbibicyjną przemawiającemi, a zresztą stracą one w zupełności moc swoją z chwilą, gdy w jakikolwiek sposób przyczyny ruchu wody wewnątrz komórek wyjaśnić się uda.

Argument, że w czasie najsilniejszej transpiracji wnętrze cewek, drewno roślin iglastych stanowiących, wypełnione jest nie wodą, ale powietrzem, odpada stanowczo; gdyż Hartig wykazał[1], że u roślin iglastych właśnie w czasie najsilniejszej transpiracji, bo w Lipcu, drewno najwięcej wody zawiera, i że wtedy wnętrze cewek często w 6/7 całkowitej swej objętości wodą jest wypełnione.

Jakkolwiek liczby Hartiga co do ilości wody zawartej wewnątrz cewek są nieco niedokładne, gdyż autor ten, jak gdzie indziej będziemy mieli sposobność wykazać, błędnie oznaczał ilość wody imbibicyjnej zawartej w ściankach, to jednak z dat podanych przez niego na pewno wynika, że w okresie najsilniejszej transpiracji roślin iglastych cewki drzewne tych roślin zawierają w swem wnętrzu nierównie więcej wody niż powietrza.

Że ostre zagięcie łodygi nie powoduje więdnięcia części nad zgięciem leżącej, to także za teorją imbibicyjną nie wiele przemawia, bo, jak to już Russow[2] i Hartig[3] uważali, nie tylko niema pewności ale nawet prawdopodobieństwa, aby takie zgięcie spowodowało zupełne zamknięcie wnętrza wszystkich komórek.

Widzimy tedy, że żaden z argumentów, które zwolennicy teorji imbibicyjnej na poparcie swych zapatrywań przytaczają, w obec krytyki ostać się nie może. Ale to nie dosyć: przyjęcie teorji imbibicyjnej nie da się żadną miarą pogodzić z niewątpliwie udowodnionemi faktami i elementarnemi zasadami fizyki. Rozpatrzmy te fakta z kolei.

[1] Hartig. *Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in Bäumen.* Berlin 1882.

[2] Russow. *Zur Kenntniss des Holzes insonderheit des Coniferenholzes. Bot. Centralblatt.* T. XIII, s. 99.

[3] Hartig. *Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie* s. 8.

1. Już fakt, któremu zaprzeczyć nikt nie jest w stanie, że wewnątrz cewek i naczyń drzewnych obok powietrza znajduje się stale, nawet w okresie najsilniejszej transpiracji, woda, wystarczyłby sam jeden do obalenia teorji imbibicyjnej. Bo zwolennicy tej teorji nie mogą zaprzeczyć i nie zaprzeczają, że dopóki ścianka komórkowa z wodą płynną, wewnątrz komórki zawartą, zostaje w zetknięciu, dotąd jest ona niewątpliwie zupełnie wodą nasycona. Tymczasem ruch wody imbibicyjnej tylko wtedy wywołany być może, gdy w pewnem miejscu nasycenie ścianki wodą jest niezupełne, w skutek czego ku temu miejscu płynie woda od tych części, które są zupełnie lub więcej od niej nasycone. Jeśli wszystkie ścianki komórek drzewnych znajdują się w zetknięciu z płynną wodą i jeśli w skutek tego wszystkie ciągle znajdują się w stanie zupełnie wodą nasyconym, to jakaż może być przyczyna ruchu wody w ściankach? Aby ruch wody imbibicyjnej w ściankach można było pogodzić z obecnością płynnej wody w cewkach i naczyniach drzewnych, trzebaby przypuścić, że pewna cząsteczka błony, nie zupełnie wodą nasycona, łatwiej może odciągać wodę innej cząsteczce błony, niż pochłonąć płynną przez nic innego nieprzyciąganą wodę. Że takie przypuszczenie byłoby sprzeczne z najelementarniejszemi zasadami fizyki, pojąć nie trudno. Wyobraźmy sobie szereg molekułów błony *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, nasyconych wodą i stykających się z sobą, wyobraźmy sobie dalej, że molekuł *a* znajduje się oprócz tego w zetknięciu z wodą płynną. Jeśli którykolwiek z tych molekułów, np. *e*, część swej wody utraci, to dla przywrócenia równowagi w przyciąganiu część wody od molekułów *d*, *c*, *b*, *a*, do niego przypłynie i te znów zaczną teraz mocniej wodę przyciągać. Otóż czy podobna przypuścić, aby molekuł *a*, bezpośrednio z wodą płynną przez nic nieprzyciąganą stykający się, utraciwszy część swojej wody, nasycał się nie od tej wody płynnej, ale odciągał wodę innemu molekułowi, który, jako sam także wodę przyciągający, temu odciąganiu pewien opór przecież stawiać musi. Powtarzamy tedy, że fakt stałej obecności wody płynnej w naczyniach i cewkach sam jeden wystarcza do obalenia teorji imbibicyjnej.

2. R. Hartig[1] wykazał, że często u szczytu drzewa tkanka

[1] Hartig. *Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und des Luftraumes in den Bäumen.* Berlin 1882 s. 87, 92, 93 etc.

drzewna daleko jest w wodę bogatszą niż u spodu. Jakim sposobem części bogatsze w wodę mają odciągać przez imbibicję wodę tym, które jej mniej zawierają, trudnoby było odpowiedzieć.

3. Hartig wykazał[1], że gdy w skutek przerwania ciągłości bielu u 100-letniego świerka nastąpiło w kilka tygodni po zrobieniu nacięcia obsychanie kory i szpilek, w cewkach drzewnych usychającego drzewa znajdowała się jeszcze bardzo znaczna ilość ciekłej wody. Dla czego następowało obsychanie szpilek, skoro ścianki cewek były niewątpliwie wodą nasycone, trudnoby było zwolennikom teorji imbibicyjnej objaśnić.

4. Sami zwolennicy teorji imbibicyjnej przyznają, że drewno wiosenne o cieńszych ściankach a większej wewnętrznej objętości cewek i naczyń daleko jest czynniejsze przy rozprowadzaniu wody niż jesienne, które ma ścianki komórek nierównie grubsze. Znaczy to, że przez drogę węższą więcej nierównie wody przepływa niż przez szerszą. Dla ratowania teorji imbibicyjnej w obec tego faktu, zmuszeni są jej zwolennicy do przypuszczenia odmiennej molekularnej budowy w ściankach drewna jesiennego i wiosennego, do czego jednak zkąd inąd podstawy nie mają.

5. Zwolennicy teorji imbibicyjnej sami przyznają, że nie są w stanie wytłómaczyć, w jaki sposób woda dostaje się do wnętrza naczyń i cewek, a przypuszczając tylko mimochodem, że mogłaby się tam gromadzić przez tworzenie się rosy, pozostawiają przyszłym badaniom objaśnienie tego z ich teorją bynajmniej nieharmonizującego faktu. Ale czyż warto upierać się przy hipotezie, której pogodzenie ze znanemi już dziś faktami dopiero przyszłości przekazywać musimy?

6. Doświadczenia Th. Hartiga[2], Böhma[3], a przedewszystkiem Höhnela wykazały, że powietrze, znajdujące się w naczyniach i cewkach, ma zazwyczaj prężność o wiele mniejszą niż powietrze atmosferyczne, że innemi słowy w stosunku do powietrza atmosferycznego jest ono znacznie rozrzedzone. Co więcej, oka-

[1] Hartig. *Zur Lehre der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen. Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München.* Zeszyt III, Berlin 1882, s. 72.

[2] Th. Hartig. *Bot. Zeit.* 1861 str. 17, 18, 67 cytuje Höhnel. *Jahrb. f. wis. Bot.* B. 12, s. 77.

[3] Böhm. *Ueber die Wasserbewegung der transpirirenden Pflanzen. Landwirt. Versuchsstationen* B. XX, s. 367.

zało się, że owa prężność powietrza naczyń i cewek ulega stosownie do warunków, w których roślina się znajduje, do pory dnia i roku, bardzo znacznym zmianom. W zimie u drzew i krzewów prężność powietrza, w elementach drzewnych zawartego, jest prawie taka sama jak ciśnienie powietrza atmosferycznego; na wiosnę, gdy korzenie funkcjonować już zaczynają, ale pączki nie są jeszcze rozwinięte, prężność powietrza, w cewkach i naczyniach drzew się znajdującego bywa nawet większa niż ciśnienie barometryczne, i dla tego z każdego nacięcia na drzewie woda w tym czasie wypływa. Kiedy liście się rozwiną, powietrze naczyń i cewek rozrzedza się. Rozrzedzenie to dosięga swego *maximum* w lecie lub na początku jesieni, gdy transpiracja najbardziej nad pobieraniem wody przeważa; ku zimie, gdy transpiracja się zmniejsza, znów ciśnienie powietrza w drewnie zawartego wyrównywa się z ciśnieniem powietrza atmosferycznego. Nie dosyć na tem, rozrzedzenie powietrza w ciągu jednego i tego samego dnia nie pozostaje jednakowem, ale w pewnych porach dnia jest znacznie większem aniżeli w innych. Szczególniej pouczającemi w tym kierunku są doświadczenia Höhnela[1] nad roślinami zielnemi. Te same rośliny, które zrana wydzielały liśćmi kropelki wody, po południu ucięte pod rtęcią nastrzykiwały swe naczynia tym metalem do wysokości kilku centymetrów. Höhnel, zmieniając sztucznie warunki transpiracji, mógł dowolnie wywoływać dodatnie lub ujemne[2] ciśnienie w naczyniach rośliny.

Wszystkie te fakta tłómaczą się zupełnie łatwo, gdy przypuścimy, że woda krąży wewnątrz naczyń i cewek, ale są całkiem niezrozumiałe ze stanowiska teorji imbibicyjnej. Rzecz naturalna, że gdy naczynia i cewki wypełnione są czyto samą wodą czyteż wodą i powietrzem, to każda przewaga transpiracji nad doprowadzeniem wody do naczyń i cewek przez korzenie musi spowodować zmniejszenie ciśnienia wewnątrz tych utworów, każda przewaga w doprowadzaniu wody nad jej zużywaniem — zwiększenie tegoż ciśnienia. Ale jeśli chcemy twierdzić, że ruch wody, przez transpirację wywołany, tylko w ściankach komórek się odbywa, i że woda, wewnątrz cewek i naczyń zawarta, nie bierze

[1] Höhnel. *Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot.* T. 12, s. 103.

[2] Dodatniem nazywa Höhnel ciśnienie większe, ujemnem mniejsze od barometrycznego.

w nim udziału, to jakże objaśnić owe zmiany wewnętrznego ciśnienia w naczyniach i cewkach pod wpływem zmian w warunkach transpiracji?

7. Każda teorja czynności pewnego organu lub tkanki powinna, ile możności, wykazać związek pomiędzy sposobem odbywania się tej czynności a budową organu lub tkanki i objaśnić znaczenie takiej a nie innej ich budowy; dopóki tego objaśnienia niema, zadanie teorji nie jest skończone. Tkanka drzewna, a w szczególności naczynia i cewki mają bardzo skomplikowaną i wielce charakterystyczną budowę, dość wspomnieć owe różnorodne, bądźto wężownicowe, bądź pierścionkowate, drabinkowate, siatkowate, jamkowate i t. p. zgrubienia błony. Jakież znaczenie mogą mieć te tak charakterystyczne i wszędzie w tkance drzewnej występujące zgrubienia błon komórkowych, jeśli woda przez nasiąkliwość w samych tylko ściankach się porusza. Czy ten ruch wody w śrubowato np. zgrubiałych naczyniach, w owych grubszych śrubach, czy w cienkich miejscach się odbywa? Czy też bez względu na te zgrubienia woda w prostym kierunku ścianki naczynia przebiega? Dla czego ta niejednostajna grubość ścianek elementów drzewnych nie utrudnia w nich ruchu wody? To są wszystko pytania, które nasuwają się same przez się, a których zwolennicy teorji imbibicyjnej nie próbują nawet rozwiązać.

Z całego powyższego przedstawienia widzimy, że teorja imbibicyjna ruchu wody jest wręcz niemożliwą do przyjęcia, z dzisiejszem stanowiskiem nauki niezgodną: że tedy za rzecz udowodnioną uznać należy, że woda nie przez ścianki, ale przez wnętrze cewek i naczyń drzewnych do najwyższych szczytów drzew doprowadzoną zostaje.

Rozbierzmy teraz teorje ruchu wody, które z tego niewątpliwie stanowczo udowodnionego stanowiska wychodzą. Pierwszą taką teorję podał Böhm. Böhm ma niewątpliwie tę wielką zasługę, że podczas gdy wszyscy inni botanicy stali na stanowisku teorji imbibicyjnej Sachsa, on w licznych swych pismach [1],

[1] Böhm. »*Ueber die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen*« *Sitz. Ber. d. Wien. Acad. d. Wiss.* 1863, T. XLVIII. »*Wird das Saftsteigen in den Pflanzen durch Diffusion, Capillarität, oder durch den Luftdruck bewirkt*« *Sitz. Ber. d. W. Acad.* T. L.

»*Ueber die Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen*« *Landwirtschaftliche Versuchsstationen* 1873, T. XX. s. 358.

z godną uznania wytrwałością, mimo dziwnej obojętności, z jaką jego prace przez ogół botaników były przyjmowane, zwalczał tę teorję, wykazywał słabe jej strony, jej niezgodność z faktami, i wytrwale bronił stanowiska, że woda nie w ściankach, ale wewnątrz cewek i naczyń drzewnych ruch swój odbywa.

Jednakże Böhm w swojej krytyce za daleko się posunął, bo odrzucił nietylko nasiąkliwość błon w tkankach drzewnych, ale i endosmotyczne działanie żyjących komórek śródliścia i naskórka liściowego, jako siły działające przy ruchu wody, i twierdził, że tak w tkankach drzewnych jak i w żyjących komórkach miąszu liściowego, woda porusza się tylko pod wpływem różnicy ciśnień wewnątrz sąsiadujących ze sobą komórek.

Co do nas, stoimy na tem stanowisku, że bez względu na to, jakie siły doprowadzają wodę do naczyń i cewek w nerwach liści przebiegających, z rozgałęzień tych nerwów woda do komórek transpirujących jedynie na mocy sił osmotycznych rozprowadzoną zostaje. Zanim tedy przystąpimy do rozbioru teorji ruchu wody podanej przez Böhma, rozpatrzmy wpierw jego zarzuty przeciwko powszechnie przyjętemu twierdzeniu, że w komórkach miąszu liściowego woda przez osmozę się porusza.

Zarzutów tych czyni Böhm[1] pięć:

1. Że ruch wody przez osmozę spowodowany jest nadzwyczaj wolny.

2. Że komórki bezpośrednio parujące, to jest naskórkowe, zwykle nie zawierają zieleni, nie mogą więc assymilować, nie mogą wytwarzać (!?) ciał osmotycznie działających, i że płyn w nich zawarty prawie od wody się nie różni, zatem przez parowanie nie może się zagęszczać.

3. Że rośliny, umieszczone w wilgotnej atmosferze, nie wydzielają wody ani przez naskórek na zewnątrz, ani do przestworów międzykomórkowych, coby nastąpić musiało, gdyby woda wyparowana przez te komórki była zastępowaną wodą pobraną drogą osmozy.

»*Warum steigt der Saft in den Bäumen*«. *Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik*. T. I. 1878.

»*Ueber die Function der vegetabilischen Gefässe*«. *Bot. Zeit.* 1879.

»*Ueber die Ursache der Wasserbewegung und der geringen Lufttension in transpirirenden Pflanzen*«. *Bot. Zeit.* 1881.

[1] Böhm, *Warum steigt der Saft in den Bäumen. Forsch. auf dem Gebiete der Agriculturphysik* B. I. s. 443.

4. Że roślina zielona, trzymana dłuższy czas w atmosferze wilgotnej w ciemności, nie więdnieje, gdy ją potem przeniesiemy do suchego miejsca także w ciemności, a takie więdnięcie powinnoby nastąpić, gdyby przyczyną ruchu wody w śródliściu była osmoza, bo ciała osmotycznie działające musiałyby w tych warunkach częścią się zużyć, częścią być odprowadzone do łodygi.

5. Że gdyby powodem ruchu wody w parujących liściach były różnice w koncentracji zawartości stykających się z sobą komórek, to tak samo pojmowaćby należało ruch wody w tak zwanych parenchymatycznych drewnach, czego przypuścić niepodobna.

Nie trudno wykazać, że wszystkie te zarzuty nie wytrzymują krytyki, a nawet dziwić się poniekąd można, jak mogły one przez takiego jak Böhm botanika być poczynione.

Że ruch wody, przez siły osmotyczne spowodowany, jest bardzo powolny, to niczego nie dowodzi, bo tu chodzi o ruchy na bardzo małą odległość. Owszem, ta to właśnie powolność ruchu, drogą osmozy się odbywającego, objaśnia nam, dla czego nerwy liściowe na tak delikatną siateczkę w miękiszu liściowym są rozgałęzione. Gdyby ruch wody w komórkach miękiszowych prędko się mógł odbywać, to wystarczyłoby gdyby np. jeden nerw przez środek liścia przebiegał, żadnych nie tworząc rozgałęzień, i chyba tylko rozgałęzienia mechanicznych elementów tkanek byłyby w blaszce liściowej potrzebne; a skoro właśnie naczynia wodę doprowadzające w owych rozgałęzieniach nerwów się znajdują, to widać, że same komórki śródliścia wody z należytą szybkością rozprowadzać nie mogą.

Drugi zarzut Böhma polega na jakiemś dziwnem pomięszaniu pojęć. Z tego, że komórki naskórka nie zawierają ciałek zieleni i nie assymilują, wnosi Böhm, że one nie mogą wytwarzać ciał osmotycznie działających. Ależ ciała osmotycznie działające wcale drogą bezpośredniej assymilacji wytwarzane być nie potrzebują. Wszak według badań Vriesa[1] jest rzeczą przynajmniej bardzo prawdopodobną, że ciałami osmotycznie działającemi są przedewszystkiem różne organiczne kwasy, a przecież nikt nie twierdzi, żeby kwasy roślinne bezpośrednio z CO_2 drogą assymilacji były wytwarzane, ale, jak wiadomo, powstają one przez utlenienie z już poprzednio w roślinie się znajdujących wodanów

[1] Vries. *Bot. Zeit.* 1879, str. 847.

węgla. Zresztą, jeśli komórki naskórka nie mogą zawierać ciał osmotycznie działających dla tego, że nie zawierają ciałek zieleni, to z tej samej przyczyny musiałyby takich ciał nie zawierać wszystkie komórki korzeni, komórki rdzenia, łodygi i t. p.; zkądże więc pobieranie wody przez korzenie, zkąd w ogóle turgor komórek zieleni niezawierających, zkąd ich wzrost? i t. p.

Dla czego Böhm sądzi, że sok komórkowy komórek naskórka, »*allem Anscheine nach*«, nie różni się od czystej wody i przeto koncentracja jego przez parowanie powiększyć się nie może, na to także niełatwo odpowiedziećby mu przyszło. A w dodatku komórkami bezpośrednio parującemi nie są przecież same komórki naskórkowe, boć wiadomo, że i komórki miękiszu liściowego bezpośrednio do przestworów międzykomórkowych, a ztamtąd przez szparki na zewnątrz, parę wodną wydzielają.

Z podobnego pomięszania pojęć pochodzi i czwarty zarzut Böhma, bo także widocznie polega na tem samem fałszywem założeniu, że ciała osmotycznie działające tylko przez assymilację, a więc tylko w świetle wytwarzane być mogą.

Dla czego w trzecim zarzucie twierdzi Böhm, że, gdyby utracona przez parowanie woda była zastępowana wodą pobieraną drogą osmozy, musiałoby w atmosferze wilgotnej następować wydzielanie wody płynnej z naskórka, to także niełatwo zrozumieć. Wydzielanie na zewnątrz wody, wciągniętej do komórki drogą osmozy, jakie w miodnikach obserwujemy, jest tylko pewnym szczególnym wypadkiem zjawisk osmotycznych, w żyjącej komórce się odbywających, który sam bliższego wymaga wyjaśnienia, ale bynajmniej nie jest koniecznem następstwem osmozy.

Co do zarzutu piątego, to zauważyć należy, że drewno, n. p. papajowe, wprawdzie przeważnie, ale nie wyłącznie, z miękiszu drzewnego się składa; że tedy ruchu wody w tem drewnie z ruchem wody w komórkach śródliścia żadną miarą identyfikować nie można.

Tak więc żaden z zarzutów, które Böhm przytacza przeciwko pojmowaniu ruchu wody w żyjących komórkach miękiszu, jako objawu działania sił osmotycznych, nie jest uzasadnionym.

Ale przejdźmy do teorji ruchu wody, przez samego Böhma podanej. Teorję tę sam Böhm streszcza w następujących słowach: »*Die durch Transpiration bedingte Wasserbewegung in den saftерfüllten Zellen parenchimatischer Gewebe, ebenso wie die in*

saftleitenden Hohlräumen des Splintes, ist ein durch Druckdifferenz in den benachbarten Zellen bedingter Saugungsproeess« [1]. Böhm tedy wyobraża sobie, że komórki naskórka wyparowują przez swe ścianki wodę, skutkiem czego ciśnienie soku komórkowego na ścianki zmniejsza się; elastyczność nie dopuszcza ich zaklęśnięcia się, ale skutkiem tego zmniejszenia ciśnienia następuje ssanie wody z sąsiedniej komórki, to sprawia zmniejszenie ciśnienia w tej komórce, ssanie wody z komórki następnej i t. d., aż do cewek i naczyń drzewnych wodę doprowadzających. W ten sposób z naczyń i cewek woda jest odciągana przez komórki miękiszowe, w skutek tego w naczyniach i cewkach tworzy się względna próżnia, a jeśli w niej obok wody znajduje się powietrze, to sprawia wsysanie wody z cewek i naczyń dalszych części tkanki drzewnej i t. d., aż do komórek miękiszu korzenia, a przez nie i dalej aż do naskórka i włosków korzeniowych. Zgrubienia różnorodne a tak charakterystyczne naczyń i cewek mają za zadanie nadać dostateczną elastyczność błonom, aby przez parcie otaczających tkanek nie uległy zaklęśnięciu, cienkie zaś ich miejsca służą do łatwiejszego przez nie przechodzenia wody.

Według tego zatem zapatrywania nie tylko w cewkach i naczyniach, ale i w żyjących komórkach miękiszowych ruch wody ma się odbywać przez przesuwanie, spowodowane różnicą wewnętrznego ciśnienia w dwóch stykających się z sobą komórkach. Ta różnica ciśnień ma nam objaśnić cały ruch wody od włosków korzeniowych aż do komórek naskórka liści na szczytach drzew się znajdujących. Gdybyśmy tę teorję w całej jej rozciągłości zupełnie na serjo traktować chcieli, doszlibyśmy wnet do wyników, które na pierwszy rzut oka uderzają swoją niedorzecznością. Skoro komórki naskórka są kulminacyjnym punktem owego ssania i one to pośrednio wszystkim innym wodę odciągają, to wewnętrzne ciśnienie w nich musi być najmniejsze, również we wszystkich komórkach miękiszu liściowego wewnętrzne ciśnienie musi być mniejsze niż w naczyniach i cewkach drzewnych; a skoro badania Höhnela wykazały, że wewnętrzne ciśnienie w naczyniach często jest mniejsze niż $^1/_3$ ciśnienia atmosferycznego, to wewnętrzne ciśnienie soków na ścianki w komórkach naskórka i śródliścia musi być jeszcze mniejszem, a więc komórki te nie posiadają

[1] Böhm. *Bot. Zeit.* 1881. s. 813.

turgoru rozciągającego błony, a będącego przewyżką parcia soków na ścianki nad ciśnieniem atmosferycznem, ale posiadają jakiś bardzo silny turgor ujemny. A że i młode rosnące jeszcze liście także powodują prąd transpiracyjny wody, więc i ich komórki mają także turgor ujemny. Skoro naskórek i włoski korzeniowe wsysają przez różnicę ciśnień wodę z ziemi, to i w nich panuje także turgor ujemny. A więc wogóle ani w korzeniach, ani w liściach niema owego parcia soków, które napręża błony komórkowe, przez to wzrost ich umożliwia, a które botanicy turgorem nazywają; owszem błony nie tylko nie są przez turgor naprężane, ale musiałyby się zaklęsnąć pod wpływem zewnętrznego ciśnienia powietrza, gdyby je ich elastyczność od tego nie chroniła. Takie są konsekwencje, jakie z nieubłaganą koniecznością płyną z teorji ruchu wody, przez Böhma tak długo i tak gorliwie bronionej. Że te konsekwencje, z najelementarniejszemi wiadomościami o budowie i własnościach tkanek roślinnych, oraz o sposobie ich wzrostu zostają w sprzeczności, tego przecie dowodzić nie potrzebujemy.

Tak więc o przyjęciu teorji Böhma do wytłómaczenia ruchu wody w żyjących komórkach miękiszu liściowego i do wytłómaczenia pobierania wody przez korzenie nie może być mowy, do wytłómaczenia tych zjawisk koniecznie przyjąć musimy działanie sił osmotycznych, i co najwyżej moglibyśmy przypuścić, że gdy turgor dwóch stykających się z sobą komórek nie jest jednakowy, to ta różnica może mieć pewien nieznaczny wpływ na rezultat działania sił osmotycznych. Ale pozostaje do rozebrania jeszcze druga ważniejsza, bo więcej uzasadniona, część teorji Böhma, to jest wytłómaczenie ruchu wody w cewkach i naczyniach drzewnych. Odrzucenie teorji różnicy ciśnień dla wytłómaczenia ruchu wody w żyjących komórkach miękiszu nie przesądza bynajmniej o nieuprawnieniu jej do wytłómaczenia ruchu wody w cewkach i naczyniach drzewnych. W zastosowaniu do wytłómaczenia tego ruchu teorja Böhma może odwołać się do licznych i z całą pewnością skonstatowanych faktów. Jak już kilkakrotnie mówiliśmy, w naczyniach i cewkach znajduje się woda i powietrze, ale powietrze o prężności daleko mniejszej niż atmosferyczne.

Jeśli gałązkę transpirującą utniemy pod rtęcią, naczynia jej często do znacznej wysokości nastrzykują się rtęcią. Tu więc ssanie rzeczywiście istnieje, boć, skoro rtęć do wysokości kilkunastu centymetrów wessaną być może, to tem bardziej wessaną być

może woda. Jeśli tedy przez działalność korzeni woda do naczyń i cewek cylindra środkowego doprowadzoną zostaje, to rozumie się samo przez się, że gdy wewnętrzne ciśnienie w naczyniach i cewkach łodygi w skutek transpiracji zmniejszy się poniżej ciśnienia atmosferycznego, woda z korzenia wstępować do nich musi. Skoro nawet w atmosferze wilgotnej, gdy działalność korzeni nad parowaniem przeważa, woda przez naczynia wyciskaną zostaje w postaci kropelek na zewnątrz, to tem bardziej w czasie parowania, gdy w naczyniach i cewkach utworzy się względna próżnia, woda wstępować do nich musi.

Ale trudność nie leży w objaśnieniu wstępowania wody w roślinach zielnych, niewielkiej tylko wysokości dochodzących, ale w objaśnieniu faktu, że woda podnosić się może do najwyższych szczytów drzew, do 50 metrów i wyżej sięgających. Otóż twierdzimy stanowczo, że zwolennicy teorji imbibicyjnej mają zupełną słuszność, twierdząc, że teorja Böhma żadną miarą nie może nam objaśnić podnoszenia się wody do wysokości wyższej, aniżeli 32 stóp[1]. Zobaczmy, jak Böhm broni się od tego zarzutu. W jednej ze swoich prac mówi on[2]: »*Es ist einleuchtend, dass die Pflanzen, wenn sie aus nebeneinander liegenden Zellen von ihrer (der Pflanzen) eigenen Länge aufgebaut wären, selbst unter den günstigsten Verhältnissen nie höher werden könnten als eine Wassersäule, welche der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Dass Pflanzen nun factisch viel höher werden können, wird dadurch möglich, dass dieselben aus vielen kleinen übereinander gelagerten uud geschlossenen Zellen bestehen, indem so das Wasser von Zelle zur Zelle emvorgepumpt wird*«. Ale Böhm zapomina tu, że jeśli przegrody rozdzielające komórki stawiają jakikolwiek opór ciążącej na nich, a zatem dążącej do spłynięcia na dół wodzie, to zupełnie taki sam opór stawiać muszą i podnoszeniu się tej wody do góry, o tyle więc większa siła do tego podnoszenia zużytą być musi. W innem znów miejscu mówi Böhm[3]: »*Die Schwere (Filtrationsdruck) der in den übereinander liegenden Zellen enthaltenen Flüssigkeitssäule wird theils durch Querwände, insbesondere aber durch Reibungswiderstände, welche selbst in capillaren mit alter-*

[1] Sachs. *Handbuch der Experimentalphysiologie.* Dufour l. c.

[2] Joseph Böhm. *Ueber Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen. Landw. Vers. XX.* s. 364.

[3] *Warum steigt der Saft in den Bäumen. Sepabdr.* s. 11.

nirenden Wassertropfen und Luftbläschen gefüllten Röhren ausserordentlich gross sind, vollständig aufgehoben«. Ale i tu znów zauważyć należy, że zupełnie te same opory, które nie dopuszczają spływania wody na dół, przeszkadzają w równej mierze podnoszeniu się jej do góry.

Niemożność podnoszenia się wody na zasadach, przez Böhma podanych, do wysokości większych niż 10 metrów, najłatwiej zrozumiemy, jeśli przypatrzymy się schematowi tego podnoszenia się, przez samego Böhma podanemu[1]. Tabl. str. 445. Fig. 1., podaje nam taki schemat: komórka *E* ma tu przedstawiać naskórek, komórka *M* miękisz liściowy, komórki 1, 2, 3, 4, aż do 15 po jednej i drugiej stronie, cewki, w których znajdują się bańki powietrza i woda, I i II bańki powietrzne, znajdujące się w naczyniu między temi cewkami leżącem, *W* miękisz korzeniowy, *H* włoski korzeniowe. Na tym schemacie objaśnia Böhm ruch wody w sposób następujący: Gdy naskórek *E* traci wodę, ciśnienie wewnętrzne w nim zmniejsza się, co pociąga za sobą przejście doń wody od śródliścia *M*, a w następstwie ruch wody w całym systemie, a to w kierunkach strzałkami wskazanych. Gdy naskórek *E* ciągle paruje, a komórki *W* i *H*, t. j. naskórek i włoski korzeniowe, stykają się z wodą w ziemi zawartą, a więc zostającą pod ciśnieniem atmosferycznem, ruch trwa bez przerwy.

Że ruch wody w miękiszu liściowym i korzeniowym według tego schematu odbywać się nie może, to wykazaliśmy już poprzednio, ale, poprawiwszy nawet teorję Böhma w ten sposób, że za przyczynę ruchu wody w miękiszu siły endosmotyczne przyjmiemy, a przez różnicę ciśnień objaśniać będziemy tylko ruch wody w naczyniach i cewkach drzewnych, jeszcze na mocy schematu przedstawionego nie trudno się przekonać, że ta teorja odnośnie do roślin, których wysokość 10 metrów przenosi, prawdziwą być nie może. Przypatrzmy się temu bliżej.

Wyobraźmy sobie, że system, schematem Böhma przedstawiony, ma $10{,}_5$ metrów wysokości. W warunkach podnoszenia się w nim wody nic się na niekorzyść zmienić nie może, jeśli zamiast komórki *W* wyobrazimy sobie zbiornik z wodą, pod ciśnieniem atmosferycznem zostającą, a zamiast komórki *M* komórkę o ściankach takich samych, jak ścianki cewek i naczyń, ale komórkę, w której zro-

[1] Böhm. *Bot. Zeit.* 1881. s. 809.

bioną jest prawie zupełna próżnia. W tem założeniu różnica ciśnień u dołu i u góry systemu wynosić będzie całą 1 atmosferę, warunki więc podnoszenia się wody w systemie będą możliwie najkorzystniejsze. Wyobraźmy sobie teraz, że próżnię w komórce *M* otrzymaliśmy w ten sposób, że po napełnieniu jej wodą przystosowaliśmy do niej z boku rurkę szklanną $10^1/_2$ metra wysoką, napełnioną wodą, i koniec tej rurki pogrążyliśmy w zbiorniku *W*. Oczywistą jest rzeczą, że woda z komórki *M* spłynie do owej rurki i zatrzyma się w niej w wysokości około 10 metrów nad poziomem wody w zbiorniku, w górnej zaś części tej rurki i w komórce *M* utworzy się próżnia.

W tych warunkach, według teorji Böhma, woda ze zbiornika *W* podnosić się będzie w systemie cewek i naczyń, aż do komórki *M*, a z tej oczywiście spływać musi do przystosowanej do niej rurki, a przez nią do zbiornika *W*, aby znów cewkami naczynia podnieść się do komórki *M*, i oto mamy *perpetuum mobile* w całej okazałości.

Tak więc teorja Böhma, zastosowana do objaśnień podnoszenia się wody w roślinach, których wysokość 10 metrów przewyższa, prowadzi w konsekwencji do *perpetuum mobile*, a zatem popada w sprzeczność z fundamentalnem prawem fizyki, t. j. z prawem o zachowaniu energji. Czy cewki i naczynia są poprzegradzane czy niepoprzegradzane ściankami poprzecznemi, czy ścianki ich są doskonale elastyczne, czy zupełnie sztywne, czy na tych ściankach znajduje się taka lub inna forma jamek, czy wewnątrz te cewki i naczynia wypełnione są całkowicie wodą, czy prócz niej zawierają także bańki powietrza, czy pomiędzy niemi znajdują się przestwory międzykomórkowe, czy ich niema[1], w niczem to wszystko ostatecznej konkluzji, do jakiej teorja Böhma prowadzi, zmienić nie może, i dla tego teorję tę, o ile ona służyć nam ma do objaśnienia podnoszenia się wody do wysokości wyższych niż 10 metrów, bezwarunkowo odrzucić musimy. Ale w rzeczywistości nawet do wysokości 10 metrów woda

[1] Russow, broniąc teorji Böhma, powiada, że zarzut czyniony tej teorji przez Sachsa, że woda ponad 10 metrów podnieśćby się nie mogła, o tyle nie był bezzasadny, że Sachs nie znał systemu przestworów międzykomórkowych w drewnie. *Bot. Centralblatt.* T. XIII, s. 107. Obecność tych przestworów, przez Russowa wykryta, ma według niego dowodzić słuszności teorji Böhma.

Fig. 1.

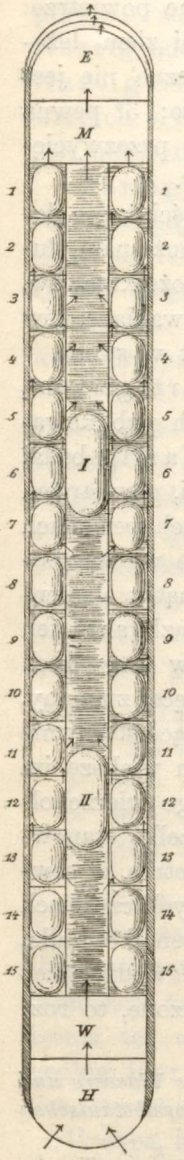


Fig. 3.

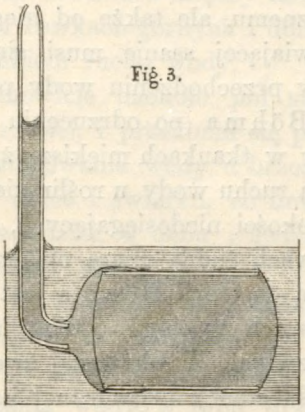


Fig. 4.

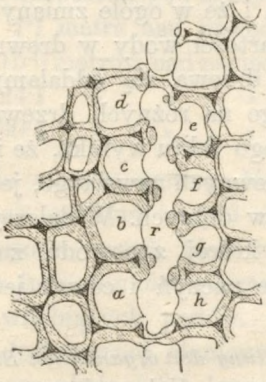
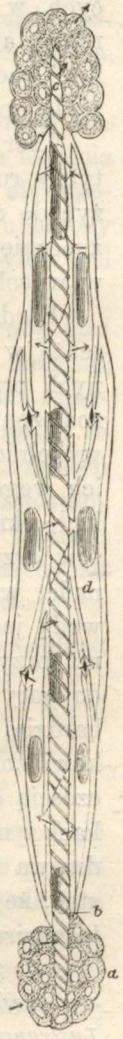


Fig. 2.



na mocy różnicy ciśnień podnieśćby się nie mogła, bo: 1° w najwyżej nawet leżących cewkach i naczyniach nigdy nie istnieje zupełna próżnia, ale tylko do pewnego stopnia rozrzedzone powietrze: 2° w naczyniach i cewkach, w poziomie powierzchni ziemi leżących, w czasie silnej transpiracji ciśnienie wewnętrzne nie jest równe atmosferycznemu, ale także od niego mniejsze; 3° pewna ilość energji sprawiającej ssanie musi się zużyć do przezwyciężenia oporów przy przechodzeniu wody przez błony.

Teorja zatem Böhma (po odrzuceniu tej jej części, która dotyczy ruchu wody w tkankach miękiszu żyjącego) może nam służyć do objaśnienia ruchu wody u roślin zielnych i może krzewów, znaczniejszej wysokości niedosięgających, ale wstępowania soków w wysokich drzewach żadną miarą objaśnić nie jest w stanie.

Bardzo zbliżoną do teorji Böhma jest teorja Hartiga, którą tenże w trzech swoich w ciągu dwóch lat ostatnich publikowanych pracach [1] rozwinął. W pierwszej swej pracy Hartig badał rozłożenie wody, substancji organicznej i przestrzeni, powietrzem wypełnionej, w różnych częściach drzew i w różnych perjodach ich wegetacji. W pracy tej nietylko skonstatował, że we wszystkich okresach wegetacyjnych, obok powietrza wewnątrz elementów drzewnych znajduje się woda ciekła, lecz znalazł także ten nader ważny fakt, że stopień wypełnienia elementów drzewnych wodą jest w pobliżu wierzchołka drzew nierównie więcej zmienny, niż przy ich nasadzie, i że w ogóle zmiany występujące stosownie do pory roku w zawartości wody w drewnie są tym większe, im bardziej od korzenia drzewa się oddalamy i ku jego wierzchołkowi zbliżamy. Z tego na różnych drzewach z wszelką stanowczością skonstatowanego faktu wynika, że ilość powietrza, w cewkach i naczyniach drzewnych zawartego, jest w górnych częściach drzewa mniejsza niż w dolnych. W dalszej konsekwencji wynika ztąd, że w porze, w której z powodu zużycia się wody przez transpirację, powietrze naczyń i cewek jest rozrzedzone, to roz-

[1] »*Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen*«. *Untersuchungen aus dem Forstbotanischen Institut in München.* Zeszyt II.

»*Zur Lehre der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen*«. Tamże, zeszyt III. 1883 r.

»*Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie*«. Berlin 1883.

rzedzenie w górnych częściach drzewa daleko musi być większem, niż w dolnych, w pobliżu korzenia będących. Tak więc to, co Böhm przyjmował, jako postulat teoretyczny dla uzasadnienia swej teorji, Hartig udowodnił drogą doświadczenia. W drugiej swej pracy Hartig udowodnił[1], że ta różnica między ciśnieniami gazów, zawartych w naczyniach i cewkach górnych i dolnych części drzewa, jest niezbędnym warunkiem ruchu wody.

Hartig robił mianowicie naokoło pni starszych drzew nacięcia, sięgające aż po za biel, i przekonał się przytem, że nacięcia takie nie tamowały wstępowania wody u brzozy i buka, ale przerywały prąd wody w dębie i świerku, co dowodzi, że u brzozy i buka, tak biel, jak twardziel, u dębu i świerka sam tylko biel wodę przeprowadzać jest w stanie.

U dębu w tydzień po przecięciu piłą biela, cała korona liści była już zeschnięta, u świerka, w miesiąc po zrobieniu nacięcia, okazały się przy szczycie także widoczne ślady więdnięcia i usychania. Badanie rozłożenia wody w tych drzewach okazało, że u dębu w górnej połowie drzewa woda z wnętrza cewek i naczyń w zupełności znikła, a tylko taka ilość wody w drewnie pozostała, jakaby odpowiadała całkowitemu nasyceniu nasiąkliwości ścianek. U świerka rzecz miała się inaczej: mimo widocznych już oznak więdnięcia na pędach, wnętrze cewek zawierało jeszcze wody:

w wys.	1·5 m.,	a zatem	bezpośred.	pod	nacięciem,	87·6%	swej	objęt.
»	2·6 »	»	1·1	metra	nad nacięciem	68·7%	»	»
»	16·6 »	»	15·0	metrów	nad nacięciem	64·2%	»	»
«	25·7 »	»	24·1	»	» »	74·6%	»	»
»	31·0 »	»	30·4	»	» »	74·9%	»	»

A zatem więdnięcie szczytowych pędów świerka rozpoczęło się, mimo że w cewkach górnych części drzewa jeszcze prawie 75% wewnętrznej objętości cewek biela wodą było wypełnione. Widocznie tedy brakło tu warunków, potrzebnych do przeprowadzenia tej wody do więdnących pędów. Te warunki polegają, według Hartiga, na dostatecznej różnicy między ciśnieniem gazów, zawartych wewnątrz obok siebie leżących cewek.

U dęba, którego drewno ma obszerne naczynia, po przecięciu tych naczyń, w miejscu nacięcia, mogło wejść do naczyń powietrze atmosferyczne i sprowadzić znaczną różnicę ciśnień między po-

[1] *Zur Lehre der Wasserbewegung.*

wietrzem wyżej i niżej leżących części drzewa, te różnice ciśnień dozwalały na ruch wody, i to było powodem, że z górnych części drzewa woda z wnętrza naczyń i cewek do liści doprowadzoną i całkowicie zużytą została.

Inaczej u świerka. Tu w drewnie naczyń niema, są tylko cewki, których jamki są zamknięte błonami. Powietrze atmosferyczne mogło wejść tylko do cewek bezpośrednio przeciętych, do cewek zaś wyżej leżących tylko drogą powolnej dyfuzji od nacięcia dostawać się mogło. Nacięcie na drzewie zrobione nie mogło tedy spowodować znaczniejszego zwiększenia ciśnienia powietrza w cewkach biela bezpośrednio nad nacięciem leżącego, a że i dopływ wody został przez nacięcie przerwany, więc po pewnym czasie, gdy pewna ilość wody z cewek wyżej leżących przez liście wessaną i wyparowaną została, musiało nastąpić przybliżone wyrównanie się ciśnienia powietrza cewek w całej wysokości drzewa po nad nacięciem.

To wyrównanie ciśnienia było powodem, że mimo iż woda wewnątrz cewek jeszcze dość obficie się znajdowała, nie mogła ona w dostatecznej ilości podnosić się w górę i pędy więdnąć zaczęły. Istotnie Hartig oblicza[1], że w miesiąc po zrobieniu na świerku nacięcia, gdy rozpoczęło się więdnięcie szczytowych jego pędów, ciśnienie powietrza wewnątrz cewek wynosiło:

w wys.	2·6	m.	czyli	1·1	m.	nad nacięciem	0·385	ciśnienia	atmosf.
»	16·6	»	»	15	»	»	0·200	»	»
»	25·7	»	»	24·1	»	»	0·180	»	»
»	31·0	»	»	30·4	»	»	0·167	»	»

U innego świerka zrobiono na pniu nacięcie tegoż samego dnia, co u poprzedniego, ale spuszczono pień dopiero w sześć tygodni po zrobieniu nacięcia, kiedy pączki u szczytu drzewa już kompletnie się zeschły i gdy już i kora pnia na przestrzeni $3^1/_2$ metra od szczytu zbrunatniała i uschła.

Badanie rozłożenia wody i obliczenie ciśnienia powietrza w cewkach tego drzewa okazały co następuje:

W wysokości pnia	znajdowało się wody w 100 częściach wewnętrznej objętości cewek	powietrze w cewkach miało ciśnienie w stosunku do ciśnienia atmosfer., jako 1.
2·6 metra	39·5	0·200
4·6 »	43·7	0·200

[1] l. c. s. 74.

W wysokości pnia	znajdowało się wody w 100 częściach wewnętrznej objętości cewek	powietrze w cewkach miało ciśnienie w stosunku do ciśnienia atmosfer., jako 1.
10·8 metra	50·2	0·189
17 »	53·1	0·151
23·2 »	68·5	0·190.

Tu tedy ciśnienie powietrza cewek w całej wysokości drzewa ponad nacięciem prawie zupełnie się wyrównało i wynosiło w przybliżeniu $^1/_5$ ciśnienia atmosferycznego, to też, jak świadczą postępy w schnięciu młodych pędów i kory, ruch wody prawie całkiem ustał, mimo że wnętrze cewek w górnych częściach drzewa było jeszcze w większej połowie wodą wypełnione. Tylko wyrównanie ciśnienia gazów wewnątrz wszystkich elementów drzewnych mogło być przyczyną ustania ruchu wody.

Tak więc widzimy, że Hartig udowodnił dwa fakta, które dla teorji ruchu wody mają nader doniosłe znaczenie, a mianowicie: 1° Że podczas wstępowania w drzewach prądu wody, spowodowanego przez transpirację, ciśnienie powietrza zawartego w cewkach jest w górnych częściach drzewa mniejsze niż w dolnych 2° Że ta różnica ciśnień jest koniecznym warunkiem wstępowania soków, bo jeśli ciśnienie gazów w różnych wysokościach drzewa zostanie wyrównane, prąd wody ustaje, pomimo że cewki znaczną jeszcze ilość płynnej wody wewnątrz zawierają.

Te dwa fakta zdawały się w wysokim stopniu popierać teorję różnicy ciśnień przez Böhma podaną, to też nie dziw, że Hartig, nie dopatrzywszy się słabych stron tej teorji, stanął w szeregu jej obrońców.

Teorja Hartiga, jakkolwiek w zasadzie zgadza się z teorją Böhma, różni się od niej w niektórych szczegółach, i dla tego oddzielnie rozebrać ją musimy.

Przedewszystkiem Hartig tem się różni od Böhma, że ściśle i z należytym naciskiem oddziela przyczyny pobierania wody przez korzenie od przyczyn wstępowania wody w drewnie i tylko tych ostatnich szuka w różnicy ciśnień gazów wewnątrz po nad sobą leżących elementów drzewnych; przyczynę zaś pobierania wody przez korzenie widzi Hartig wraz z ogółem botaników w działaniu sił osmotycznych komórek naskórka i miękiszu korzeniowego. Hartig nie dostrzegł wprawdzie całej niedorzeczności konsekwencyj, do jakich prowadzi objaśnianie pobierania

wody przez korzenie w sposób podany przez Böhma; zapatrywanie jednakże tego badacza odrzuca głównie z tego powodu, że jak to już od dawna było wiadomem, a jak Hartig ponownie stwierdził, działalność korzeni zależną jest w wysokim bardzo stopniu od temperatury ziemi. Zależność taka nie mogłaby istnieć, gdyby jedynie ssanie spowodowane różnicą ciśnień było powodem pobierania wody przez korzenie. Toż samo i ruchu wody w komórkach śródliścia i naskórka liściowego nie objaśnia Hartig ujemnem w nich ciśnieniem, ale, jak inni botanicy, działaniem sił osmotycznych.

Ale i w sposobie objaśniania samego ruchu wody w cewkach i naczyniach drzewnych jest pewna między Böhmem a Hartigem różnica. Böhm, jak widzieliśmy, podawał różnicę ciśnień, jako jedyną przyczynę podnoszenia się wody w drewnie, Hartig wciąga w grę także działanie włoskowatości. Podług Hartiga różnica ciśnień sprawia tylko przechodzenie wody przez błonkę jamki z jednej cewki do drugiej, a w tej ostatniej woda podnosi się już siłą włoskowatości. Ponieważ rozumowania Hartiga są dość subtelnej natury, więc, aby nie narazić się na zarzut oparcia krytyki na nie dość wiernem przedstawieniu samej teorji, wolimy tę ostatnią przedstawić własnemi słowami Hartiga[1], które w wiernym podajemy przekładzie:

»Powietrze wewnątrz każdego narzędzia[2] przedstawia się, jako pęcherzyk, otoczony naokoło wodą i wywierający na nią pewne ciśnienie. To ciśnienie pozostaje tylko wtedy bez wpływu, gdy pęcherzyk, organu sąsiedniego wywiera nań równe mu przeciwciśnienie. Gdy to istotnie zachodzi, wtedy zgrubiała pośrodku błonka jamki tworzy zupełnie nieprzepuszczalne zamknięcie narzędzia i nie dopuszcza wodzie w nim się znajdującej spłynąć do organu wyżej lub niżej leżącego. Ten fakt musimy wyraźnie stwierdzić, boć wszyscy wiedzą, że jeśli tylko prężność powietrza, w elementach drzewnych zawartego, nie jest większa niż ciśnienie atmosferyczne, woda w tych elementach zawarta nie spływa na dół, ale utrzymuje się w masie drzewnej. Teodor Hartig pierwszy wykazał, że, gdy trzymamy prostopadle kawałek drewna,

[1] Hartig. *Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie.* Berlin 1883, s. 10.

[2] Pod organem rozumie tu Hartig jeden element drzewny, a więc naczynie lub cewkę.

całkowicie wodą nasycony, i na górną powierzchnię przekroju puścimy kroplę wody, kropla ta zostaje wessaną, a natomiast z przekroju dolnego takaż kropla wystąpi. Fakt ten dowodzi w uderzający sposób, że już nadzwyczaj małe ciśnienie, z jednej strony wywarte, może powodować przesiąkanie wody na znaczną odległość.

Tak więc musimy uznać, że już minimalna przewaga ciśnienia po jednej stronie może powodować przesiąkanie od organu do organu nawet bardzo znacznych ilości wody. Ten objaw musimy sobie wytłómaczyć w ten sposób, że, gdy gęstość powietrza w jednym organie zwiększy się choćby o jakąś minimalną wielkość, wtedy wywiera ono na delikatne błonki jamek tego organu pewne ciśnienie, to ciśnienie rozciąga te błonki i czyni je w skutek tego przesiąkliwemi (*filtrationsfähig*). Z chwilą, gdy przez błonkę jamki zostanie przepchniętą taka ilość wody, że ciśnienie powietrza w obu tą błonką rozdzielonych organach znów się wyrówna, ustaje napięcie elastyczne tej błonki, a wraz z nią i przesiąkliwość delikatnego jej brzegu.

W każdej z cewek woda wepchnięta układa się natychmiast podług panujących w niej sił włoskowatych; innemi słowy: różnica ciśnień między powietrzem dwóch sąsiednich organów potrzebną jest dla rozwinięcia takiej tylko ilości siły, jaka jest potrzebna do przepchnięcia cząstek wody z jednej komórki do drugiej, podniesienie zaś tej cząstki wody wewnątrz cewki nie jest już zadaniem tej siły, ale dokonywa się pod wpływem sił molekularnych samej cewki. Zadaniem ciśnienia powietrza nie jest podnoszenie wody od organu do organu, bo wtedy istotnie woda wyżej, niż do 10 metrów podnieśćby się nie mogła, ale zadanie tego ciśnienia polega na tem, żeby błonki zamykające jamki uczynić przesiąkliwemi i wodę przepchnąć z jednej komórki do drugiej. Z tego powodu uważałbym za właściwe wyrażenie teorja ciśnienia powietrza zastąpić wyrażeniem teorja ciśnienia gazów, gdyż z pierwszem wyrażeniem łączy się wyobrażenie, jakoby ciśnienie powietrza atmosferycznego wodę w roślinach podnosiło, co też istotnie przyjmuje Böhm i niektórzy inni przedstawiciele t. z. teorji ciśnienia powietrza«.

Tyle Hartig. Przystępując teraz do rozbioru teorji Hartiga, dopiero co skreślonej własnemi jego słowami, przedewszystkiem nadmienić musimy, że cała ta teorja zdaje się być opartą na mylnej interpretacji opisanego powyżej doświadczenia Teodora

Hartiga, doświadczenia bardzo prostego, które każdy z wszelką łatwością powtórzyć może. Z tego, że kropla wody, spuszczona na górny przekrój prostopadle trzymanego kawałka drewna, wsiąka w nie, i że za to z dolnego przekroju takaż kropla występuje, wnosi Hartig, że minimalna przewaga ciśnienia po jednej stronie może powodować filtrowanie się wody na znacznych przestrzeniach [1]. Otóż R. Hartig wyobraża sobie widocznie, że tak samo, jak owa kropla wody w doświadczeniu Teodora Hartiga, działa różnica ciśnień w drzewie żyjącem, i że udowodniona przez niego przewaga ciśnień u dołu drzewa daje powód do przesiąkania wody ku jego szczytowi. Ale Hartig zdaje się tu zapominać, że zupełnie co innego jest spływanie wody na dół, a co innego podnoszenie się jej do góry.

Występowanie kropli wody u dołu w doświadczeniu T. Hartiga nie odbywa się z powodu ciśnienia kropli wody na górnej powierzchni, ale z powodu ciążenia całego słupa wody w drewnie zawartego. Gdyby, jak to Hartig widocznie przypuszczał, woda w cewkach zawarta znajdowała się w nich w stanie jakiejś dziwnej równowagi, przy której potrzebaby tylko było powiększenia ciśnienia po jednej lub drugiej stronie o minimalną wielkość, aby wodę na znacznej przestrzeni poruszać, to zapytujemy, coby się stać musiało, gdybyśmy n. p. kawałek pędu na 1 metr długi zanurzyli przypuśćmy do głębokości 90 centymetrów w wodę; w takim razie na dolny przekrój pędu cisnąłby nie już ciężar jednej kropelki wody, ale ciężar słupa wody 90 centymetrów wysokiego. Jeżeli ciśnienie jednej kropelki powoduje już wypływanie wody z przekroju na drugim końcu pędu, to ciśnienie 90-ciu centymetrów wysokiego słupa wody sprawiaćby chyba musiało wytryskiwanie wody z tego drugiego końca. Tak więc, gdyby się rzeczy miały, jak je sobie Hartig wyobraża, to dość byłoby kawałek drewna jodłowego nasyconego wodą wstawić w naczynie z wodą, aby otrzymać *perpetuum mobile* w postaci wiecznie bijącego wodotrysku. Aby sobie jasno zdać sprawę z opisanego wyżej doświadczenia Teodora Hartiga, wyobraźmy sobie rurkę włoskowatą jeden metr długą i 0·1 mm wewnętrznej średnicy mającą. Jeżeli rurkę taką napełnimy wodą i trzymać ją będziemy w pio-

[1] »*Dass schon ein äusserst geringer einseitiger Druck im Stande ist, die Filtration des Wassers auf weite Strecken hin zu veranlassen*«.

nowem położeniu, wtedy woda w rurce będzie spływać, tworząc krople na dolnym jej końcu, aż wreszcie zatrzyma się przy wysokości słupa około 300 mm., a to odpowiednio działaniu włoskowatości w rurce takiej średnicy. Wyobraźmy sobie teraz tę samą rurkę napełnioną wodą, ale na obu końcach zamkniętą za pomocą błony przenikliwej dla wody, ale nieprzenikliwej dla powietrza. Jeśli teraz tę rurkę ustawimy pionowo, to woda spływać z niej nie może, gdyż ciśnienie atmosferyczne na to nie pozwoli: bo skoro błonka, zamykająca rurkę u góry, jest dla powietrza nieprzenikliwą, to jasną jest rzeczą, że gdyby woda z rurki spłynęła, w górnej części tej rurki musiałaby się utworzyć próżnia. Ale jeśli teraz na błonkę, zamykającą rurkę u góry, puścimy kropelkę wody, to rzecz naturalna, że ta kropelka samym ciężarem słupa wody w rurce musi być do wnętrza tej rurki wessaną i że odpowiednia jej kropelka wody z dolnego końca rurki zostanie wypchniętą. Wyobraźmy sobie teraz, że nasza rurka jest wewnątrz licznemi przegrodami poprzecznemi podzielona na pewną ilość części; w takim razie, jeśli tylko te przegrody będą mieć taką samą naturę, jak owe błonki przy końcach rurki się znajdujące, t. j. jeśli będą łatwo dla wody przenikliwe, rzecz o tyle tylko się zmieni, że siły, powodujące wypływanie wody z rurki, będą miały jeszcze do przezwyciężenia opór, jaki te przegródki stawiać będą przesiąkającej przez nie wodzie.

Kawałek drewna jodłowego w doświadczeniu Hartiga możemy sobie wyobrazić, jako zbiór takich rurek włoskowatych, poprzegradzanych w pewnych odstępach błonami podobnych własności, jak te, któreśmy przypuścili w naszej rurce. Istotnie, błony, któremi jamki cewek są zamknięte na brzegach swoich, są łatwo przenikliwe dla wody, ale bardzo trudno przenikliwe dla powietrza. Choćby tedy średnica cewek drzewa jodłowego była i największa, to i rezultat doświadczenia Teodora Hartiga musiałby wypaść tak, jak właśnie wypada, a to z powodu, że te cewki są poprzegradzane błonami przenikliwemi dla wody, ale nieprzenikliwemi dla powietrza.

Ale nawet i wtedy, gdyby jamki cewek drzewa jodłowego były zupełnie otwarte, rezultat doświadczenia T. Hartiga wypadłby tak samo. Bo nadmienić należy, że średnica cewek drzew iglastych jest o wiele mniejsza aniżeli 0·1 mm. Według pomiarów

Saniego[1] wynosi ta średnica około 0·015 mm. Otóż przypuszczając dla uproszczenia rachunku, że średnica wewnętrzna cewek jest cylindryczna i że kąt styczności między wodą a ściankami cewek wynosi 180°, znajdujemy podług wzoru:

$$h = \frac{2k^2}{r} \cos b = \frac{15\ mm}{0.0075} 1 = 2000\ mm$$

2 metry jako wysokość kapilarnego utrzymywania się wody w cewkach[2].

Jeżeli tedy weźmiemy pęd drzewa jodłowego 1 metr długi, zupełnie nasycony wodą, i trzymać go będziemy w pionowem położeniu, to w przeciętych u góry cewkach utworzy się wklęsły menisk, który nawet wtedy, gdyby jamki cewek nie były zamknięte błonami, utrzymywałby wodę w cewkach i nie dopuściłby spływania jej na dół. Ale wyobraźmy sobie teraz, że na górny przekrój drewna puściliśmy kroplę wody, to jasną jest rzeczą, że wklęsłe meniski w przeciętych cewkach zostaną w skutek tego zniszczone, a nawet zastąpione lekko wypukłym meniskiem kropli wody, teraz więc woda w cewkach ciężarem całego 1 metr wysokiego słupa wody, zwiększonego jeszcze ciśnieniem spowodowanem przez wypukły menisk kropli wody, w cewkach spływać musi, z dolnego więc przekroju pędu kropla wody wystąpi. Dopiero, gdy kropla wody puszczona na górny przekrój pędu zostanie wessaną, i gdy w przeciętych cewkach znów wklęsłe meniski się utworzą, ruch wody w cewkach ustanie, gdyż woda w nich zawarta przez działanie tych menisków będzie utrzymywaną. Jeśli teraz pęd nasz obrócimy o 180° tak, że dolny koniec z kroplą wody, a więc wypukłym meniskiem, zwrócimy w górę, a górny z wklęsłemi meniskami wody w cewkach na dół, to rozumie się, że ta do góry teraz zwrócona kropla wody zostanie do drzewa wessaną, a u dołu znów kropla wody wystąpi.

Streszczając objaśnienie doświadczenia T. Hartiga stwierdzamy, że gdy kawałek n. p. 1 metr długi pędu jodłowego, nasyconego wodą, trzymamy w położeniu pionowem, to woda, w cewkach tego pędu zawarta, nie spływa z nich z dwóch przyczyn:

[1] Sanio. *Ueber die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer. Jahrb. f. Wiss. Bot.* t. 8. str. 401.

[2] Przyczem robimy przypuszczenie, że na dolnym przekroju niema żadnego menisku.

1° ponieważ wewnątrz cewek wyżej leżących musiałaby w razie spłynięcia z nich wody utworzyć się próżnia, a to w obec ciśnienia atmosferycznego jest niemożliwe; 2° ponieważ w cewkach przeciętych na górnym przekroju tworzą się wklęsłe meniski wodne, które już same mogłyby utrzymać w drzewie kolumnę wody nietylko jeden, ale dwa metry wysoką.

Gdy teraz na górny przekrój puścimy kroplę wody, następuje obsunięcie się na dół całego słupa wody: 1° woda tej kropli może zastąpić wodę, która z górnych cewek spłynie, i próżnia tworzyć się w nich przytem nie potrzebuje; 2° wklęsłe meniski w przeciętych cewkach zostają zniszczone i zastąpione przez lekko wypukły menisk kropli wody.

Gdy już cała kropla wessaną zostanie, spływanie dalsze wody ustanie, bo znów nie dopuszczają tego spływania ciśnienie atmosferyczne na dolnym przekroju i wklęsłe meniski w cewkach na przecięciu górnem.

Gdy zamiast drzewa iglastego weźmiemy pęd nasycony wodą z drzewa liściastego, w którem obok cewek znajdują się naczynia, to przy powtórzeniu doświadczenia T. Hartiga mogą zajść dwa różne wypadki:

1) Jeżeli naczynia nie są całkowicie wodą wypełnione, ale poprzerywane bańkami powietrza, to te bańki, zwłaszcza gdy ich jest więcej, utworzą t. z. łańcuch Jamina, w skutek czego nastąpi taki rezultat, jak gdyby naczynie było podzielone na pewną ilość cewek, w których bańki powietrza będą zastępować przegrody poprzeczne, z tą atoli różnicą, że te przegrody będą nieprzepuszczalne dla wody. Woda tedy z tych naczyń będzie mogła spływać tylko przez jamki w ściankach bocznych do cewek sąsiednich i t. d. Będzie to tedy wypadek zupełnie analogiczny z pędem drzewa jodłowego, doświadczenie Hartiga da tu rezultat taki sam, jak u drzewa jodłowego, a wynik jego musi być w ten sam, jak i poprzednio, objaśniony sposób.

2) Jeśli naczynia są całkowicie wodą wypełnione, w takim razie ciśnienie atmosferyczne nie będzie wcale spływania z nich wody tamować, i jeśli kawałek pędu, takie naczynia zawierającego, pionowo trzymać będziemy, to spływanie wody z naczyń albo niespływanie jej, a więc występowanie lub niewystępowanie wody z dolnego przekroju, zależeć będzie wyłącznie od stosunku między długością pędu, do doświadczenia użytego, a średnicą największych

naczyń. Gdy długość pędu będzie większą, niż wartość $\frac{15 \text{ mm.}}{r}$, gdzie r wyraża promień największego naczynia, woda spływać będzie i bez puszczenia kropli wody na górny przekrój pędu; gdy zaś długość pędu, do doświadczenia użytego, będzie mniejszą od $\frac{15 \text{ mm.}}{r}$, wtedy meniski, które się utworzą w naczyniach, nie dopuszczą spływania wody, ale oczywiście spływanie to natychmiast nastąpi, gdy przez puszczenie kropli wody na górny przekrój pędu meniski te zniszczymy. Że w pewnych przypadkach z przekroju świeżo uciętego pędu woda wprost na dół spływa, o tem wspomina już w 1865 r. Sachs odnośnie do winorośli i niektórych egzotycznych roślin wijących [1].

Być może, że zbyt długo zatrzymaliśmy się nad objaśnianiem tak prostych zjawisk, jakie widzimy w doświadczeniu T. Hartiga, ale doświadczenie to tak często jest cytowane, i botanicy niemieccy powyciągali z niego tak różnorodne, a daleko idące wnioski, że sądziłem, iż bliższe jego objaśnienie nie będzie bez pożytku i sprowadzi jego doniosłość do właściwych granic. Podług nas z doświadczenia T. Hartiga ten jedynie wyprowadzić można wniosek, że suma oporów, jakie błony jamek wodzie przez nie przenikającej stawiają, jest mniejsza niż ciśnienie kolumny wody, której wysokość równą jest długości pędu, z którym doświadczenie wykonanem zostało. W dalszej konsekwencji wynika ztąd, że poprzegradzanie cewek i naczyń błonkami zamykającemi jamki wcale nie niszczy ciągłości ciśnienia słupa wody, w tych naczyniach i cewkach się znajdującego.

Tak więc doświadczenie T. Hartiga, na którem tak Böhm jak i Robert Hartig swoję teorję w znacznej części opierali, zwraca się przy należytem jego zrozumieniu właśnie przeciwko tym teorjom i raczej ich bezpodstawności aniżeli prawdziwości dowodzi.

Z właściwem wyjaśnieniem doświadczenia T. Hartiga odpada główna podstawa teorji Roberta Hartiga, już zatem z tego powodu moglibyśmy tę teorję uważać za obaloną, jednakże rozpatrzmy ją jeszcze bliżej.

Dla unaocznienia swej teorji Hartig podaje także schemat [2],

[1] Sachs: *Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen* S. 212.

[2] Hartig: *Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie* S. 9.

który, właściwie mówiąc, niewiele się różni od schematu podanego przez B ö h m a, p. Tab. str. 445 (fig. 2). Komórki u dołu schematu przy *a* przedstawiają nam komórki miękiszu korzeniowego, które, pobierając z zewnątrz wodę drogą osmozy, wpychają ją do naczynia śrubowatego, z którego ona dalej do cewek przechodzi. Komórki u góry przy *c* przedstawiają komórki śródliścia, które, odciągając wodę z naczynia, wyparowują ją w powietrze. W skutek parowania powietrze w górnych cewkach jest więcej rozrzedzone niż w dolnych. Ta różnica ciśnień sprawia przesiąkanie cząstek wody przez błonki jamek z jednej cewki do drugiej w kierunkach, przez strzałki wskazanych. Podnoszenie się cząstek wody wewnątrz tej drugiej cewki nie jest już, według H a r t i g a, zadaniem różnicy ciśnień, ale ma się odbywać przez włoskowatość tej cewki. W ten sposób różnica ciśnień nie jest, według H a r t i g a, siłą podnoszącą wodę w cewkach, ale tylko siłą służącą do przezwyciężenia oporu, jaki błony jamek stawiają przesiąkaniu przez nie wody, i H a r t i g oblicza, że do tego ta różnica ciśnień zupełnie wystarcza. Siłą podnoszącą wodę ma być włoskowatość cewek. Ale jak ta włoskowatość ma tu działać, tego my przynajmniej zrozumieć nie potrafimy. W każdej cewce w schemacie H a r t i g a jest zaznaczona pośrodku cewki bańka powietrza. Woda, stykając się z tą bańką, tworzy dwa meniski zwrócone swemi wklęsłościami w strony przeciwne, a więc w swem działaniu wzajemnie się znoszące; jak te meniski działać mają na podniesienie wody w cewce, tego nie wiemy. Naszem zdaniem, jeśli różnica ciśnień wystarczyłaby tylko do przezwyciężenia oporu, jaki błony jamek przesiąkaniu stawiają, a w podnoszeniu wody już udziału nie miała, to woda w drzewie roślin iglastych mogłaby się podnieść nie wyżej, jak do wysokości dwóch metrów, odpowiednio działaniu menisków, jakie w cewkach o 0,015 mm średnicy utworzyć się może. Jeśliby zaś energja, dostarczona przez różnicę ciśnień, nie zużywała się do owego napinania błon, o którem mówi H a r t i g, ale tak ona jak i włoskowatość zużytą byłaby do podniesienia wody w cewkach, to wszystko to razem, w przypuszczeniu, że różnica ciśnień u dołu i u szczytu wynosiłaby całą atmosferę, spowodowaćby mogło podniesienie się wody w cewkach co najwyżej do wysokości $10+2$ czyli razem 12 metrów, a wątpić nie można, że w rzeczywistości i do tej wysokości podniesienie nigdy nie byłoby możliwe.

Ale być może, że w naszych rozumowaniach popełniliśmy ja-

kąś omyłkę, że w czemś nie zrozumieliśmy należycie myśli Hartiga; aby więc usunąć wszelkie wątpliwości co do słuszności naszej krytyki, użyjmy dla przekonania się o niemożliwości przyjęcia teorji Hartiga tego samego sposobu, któregośmy raz już przeciwko teorji Böhma użyli.

Wyobraźmy sobie, że zamiast komórek miękiszu korzeniowego w schemacie Hartiga mamy zbiornik napełniony wodą, że system, według schematu Hartiga przedstawiony, ma 12 metrów wysokości, że szczyt naczynia *c*, zamiast znajdować się między komórkami miękiszu liściowego, które mu endosmotycznie wodę odciągają, jest wpuszczony w obszerniejszą cewkę napełnioną wodą, szczelnie zamkniętą i mającą u dołu umocowaną rurkę szklanną 12 metrów długą, której koniec pogrążony jest w wodzie rezerwoaru *a*.

Jasną jest rzeczą, że woda z owej wierzchniej cewki, szczyt systemu okalającej, spłynie przez rurkę w niej umocowaną do zbiornika przy *a*, zatrzymując się w rurce w wysokości 10 metrów $+ h$, gdzie h oznacza wzniesienie włoskowate rurki. W cewce utworzy się w skutek tego próżnia. W obec tego w schemacie Hartiga nic na niekorzyść ruchu wody nie uległo zmianie; włoskowatość cewek pozostała jak była, różnica ciśnień u dołu i u góry systemu wynosi całą 1 atmosferę, a więc wznoszenie wody w myśl teorji Hartiga odbywać się powinno. Woda ze szczytowego naczynia, w którem ciśnienie jest przecie > 0, wypływać będzie do obejmującej je cewki, ztamtąd przez przystosowaną do niej rurkę do zbiornika przy *a*, i oto znów będziemy mieli »perpetuum mobile».

A zatem nie ulega wątpliwości, że i teorja Hartiga, zastosowana do wytłumaczenia ruchu wody w wysokich drzewach, popada w sprzeczność z prawem o zachowaniu energji i że zatem w tym przypadku prawdziwą być nie może.

Tak więc, jak widzimy, żadna z teorji, podawanych do wytłumaczenia ruchu wody w tkankach drzewnych, nie wytrzymuje krytyki; teorja imbibicyjna upadła wobec niewątpliwych dowodów, jakie Böhm i Hartig dostarczyli na poparcie twierdzenia, że woda nie w ściankach, ale wewnątrz naczyń i cewek się porusza; teorje Böhma i Hartiga, starając się z anatomicznej budowy naczyń i cewek wyprowadzić możność dokonywania się w nich wielkiej ilości pracy za pomocą małej ilości energji, popadają

i popadać muszą w sprzeczność z prawem o zachowaniu energji, boć w żadnej, choćby najlepiej urządzonej machinie, ilość wykonanej pracy nie może być większa niż ta, która odpowiada ilości energji do wykonania tej pracy zużytej. To też, opierając się na tem zasadniczem dla fizyki prawie o zachowaniu energji, twierdzimy stanowczo, że jeśli za siły działające przy ruchu wody uważać będziemy jedynie parcie korzeniowe, transpirację i siły molekularne (włoskowatość) w naczyniach i cewkach, wszelkie próby objaśniania podnoszenia się wody do szczytów drzew muszą być i będą chybione.

Bo parcie korzeniowe w czasie silnego parowania jest zazwyczaj nawet < 0 [1], transpiracja może wywołać tylko rozrzedzenie powietrza w naczyniach i cewkach, a więc wejść w działanie jedynie jako różnica ciśnień; siły molekularne na ruch wody ciekłej, wewnątrz naczyń i cewek zawartej, działać mogą tylko jako włoskowatość, która odpowiednio do średnicy cewek i naczyń w najlepszym razie do wysokości kilku metrów wodę podnieść może; wszystkie zatem te siły, razem wzięte, nie mogą żadną miarą wydźwignąć wody do wysokości szczytów drzew. Z tego wyprowadzić musimy dalszy wniosek, że gdyby drewno roślin złożone było z samych tylko martwych elementów, wodą i powietrzem wypełnionych, to jest jedynie z naczyń i cewek, i gdyby parcie korzeniowe w takich roślinach w okresie transpiracji było $= 0$, to rośliny takie żadną miarą nie mogłyby być wyższe nad kilkanaście metrów. Jeśli faktycznie drzewa wysokości 50 i więcej metrów dochodzą, to jedynie z tego powodu jestto możliwem, że drewno ich nie z samych naczyń i cewek, ale także z żyjących, zaródź zawierających, komórek jest złożone.

Nie wątpię ani na chwilę, że komórki te nie są przeznaczone jedynie do tego, aby w nich nadmiar materji organicznej, w ciągu perjodu wegetacyjnego wytworzonej, na następny okres wegetacyjny mógł być przechowany, ale że najważniejszem ich zadaniem jest dostarczać energji do podnoszenia do szczytów drzew owych olbrzymich mas wody, jakie przez parowanie liści zużywane zostają.

Gdybyśmy zapytali, na jakiej podstawie odmawiano dotąd promieniom rdzeniowym i miękiszowi drzewnemu wszelkiego prawie

[1] Przez parcie korzeniowe rozumiemy tu przewagę ciśnienia wewnątrz elementów drzewnych korzenia po nad ciśnienie atmosferyczne.

udziału w rozprowadzaniu wody, a chciano koniecznie naczynia i cewki, jako jedyne organa rozprowadzania wody uważać, niewątpliwie żaden z botaników na to pytanie odpowiedziećby nam nie potrafił: wszak doświadczenie, polegające na zdjęciu pierścienia kory aż po drewno, na którem głównie opieramy się w twierdzeniu, że krążenie wody w drewnie się odbywa, bynajmniej nie przesądza o tem, czy wszystkie elementa tkankę drzewną stanowiące, czy też tylko niektóre z nich przy rozprowadzaniu wody są czynne. A że żaden botanik nie potrafi nam wskazać ani jednego drzewa, którego drewno z samych tylko naczyń i cewek byłoby złożone i ani miękiszu drzewnego ani promieni rdzeniowych nie zawierało, więc przy objaśnianiu ruchu wody w tkance drzewnej mamy wszelkie prawo, skoro się to okaże potrzebnem, przypisać pewną rolę i tym żyjącym, w tkance drzewnej znajdującym się komórkom. Że względy logicznej konieczności zmuszają nas do przyjęcia przy objaśnianiu ruchu wody tego współdziałania żyjących komórek drewna, tośmy już dowodnie przez krytykę teoryj, które tego współdziałania nie przyjmują, wykazali.

Otóż w najogólniejszym zarysie ruch, zdolny doprowadzić wodę i do najwyższych wysokości drzew, wyobrażamy sobie w ten sposób, że komórki promieni rdzeniowych i miękiszu drzewnego pobierają, w skutek działania sił osmotycznych, wodę z naczyń i cewek, a wydzielając ją następnie, popychają do cewek i naczyń wyżej leżących, ztamtąd znów komórki wyżej leżących promieni i miękiszu wciągają ją i popychają dalej i tak coraz wyżej aż do szczytów drzew. W ten sposób miękisz drzewny i promienie rdzeniowe po nad sobą leżące, działając jako pompki ssąco-tłoczące podają sobie niejako wodę za pośrednictwem cewek i naczyń, i tak ta woda od promieni do promieni, aż do naczyń do liści wchodzących doprowadzoną zostaje.

Nie taimy bynajmniej przed sobą trudności, jakie przedstawiają się naszej teorji przy wejściu w szczegóły objaśnianego przez nią procesu, ale są to trudności zupełnie też same, z któremi spotykamy się w objaśnieniu parcia korzeniowego, bo zjawiska, jakie w pniach drzewnych przypuszczamy, są ze zjawiskami parcie, korzeniowe wywołującemi zupełnie analogiczne.

Odnośnie do zjawisk, jakie napotykamy w korzeniach, nie ulega najmniejszej wątpliwości, że woda, przez komórki naskórka i włoski korzeniowe z ziemi wessana, przeszedłszy przez komórki mię-

kiszu korzeniowego, zostaje z tych ostatnich do naczyń i cewek drzewnych korzenia wepchniętą, i że to wpychanie odbywa się z pewną siłą, zdolną do przezwyciężenia nawet bardzo znacznego oporu.

Jak wiadomo, tylko młodsze części korzeni, włoskami i naskórkiem okryte, pobierają wprost z ziemi znaczniejsze ilości wody, starsze natomiast przeprowadzają tylko tę wodę w kierunku ku łodydze. Tymczasem już wielu botaników wypowiedziało zdanie, że nie same młode koniuszki korzeni, ale i starsze ich części mają udział w wytwarzaniu parcia korzeniowego. Już Hofmeister przyjmuje współudział promieni rdzeniowych w wytwarzaniu parcia korzeniowego, gdy mówi: »Sok, pchany w górę przez starsze części korzenia, napotyka wszędzie po drodze w masie drzewnej na tkanki (promienie rdzeniowe) podobne do tych, które podnoszenie się jego spowodowały, a przez zetknięcie się z temi tkankami musi się jego parcie powiększyć«. Gdzieindziej zaś: »Rośliny silnie płaczące obfitują szczególniej w zawartości komórkowe w masie drzewnej«[1]. Russow[2], opierając się na budowie błon komórkowych w miękiszu drzewnym i promieniach rdzeniowych, wyraża zdanie, że parcie korzeniowe wytwarzane jest nie przez komórki miękiszu korowego, ale przez elementa miękiszu drzewnego opatrzone jamkami o jednostronnych lejkach. Karol Kraus[3] w niedawno ogłoszonej pracy o parciu korzeniowem dowodzi obszernie, że nie same najmłodsze części korzeni, ale i starsze mają (wprawdzie u różnych roślin różny) udział w wytwarzaniu parcia korzeniowego. Badacz ten po odcięciu młodszych części i wszystkich bocznych korzeni wstawiał kawałki starszych części korzenia w mokry piasek i po pewnym czasie widział wylewające się z przekroju górnego krople wody. W ten n. p. sposób K. Kraus stwierdził powstawanie parcia w starszych częściach korzeni szparaga, kosaćca i słonecznika. Jeśli tedy parcie może powstać w drewnie starszych części korzeni, które w normalnym przebiegu rzeczy już wody z ziemi nie pobierają, a tylko służą do przeprowadzenia do łodygi wody, przez młodsze części pobranej, to czemużby

[1] Słowa te cytowane są przez C. Krausa: *Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik* T. V, str. 445.

[2] Russow: *Bot. Centralblatt* T. XIII s. 144.

[3] C. Kraus: *Die Saftleitung der Wurzeln besonders in ihren jüngeren Theilen. Forsch. a. d. G. d. Agriculturphysik.* T. V, str. 432–462.

ono wytwarzać się nie miało w drewnie samych pni drzewnych. Widzieliśmy, że już starsi botanicy, jak Hofmeister, przypisywali promieniom rdzeniowym korzeni pewien udział w wytwarzaniu parcia korzeniowego; dla czegóżby też same promienie drzewne, występując z tą samą budową, z takiemi samemi zawartościami komórkowemi w drewnie pni, miały być tutaj bezczynne? Że wiele drzew, po ścięciu pnia, soku z pniaka nigdy nie wydziela, to nie dowodzi, aby komórki miękiszu drzewnego i promieni rdzeniowych zachowywały się tu zupełnie obojętnie, ale tylko, że parcie, które one sprawiają, nie jest dość wielkie, aby przezwyciężyć ciśnienie atmosferyczne i wznieść słup wody do pewnej wysokości. Z drugiej strony znamy znów wiele takich drzew u których z pniaka, po ścięciu drzewa, woda przez długi bardzo czas wycieka; znamy dalej wiele takich, u których na wiosnę z nacięcia, nawet wysoko na pniu zrobionego, woda w znacznej bardzo ilości wypływa. Już z góry wydaje się rzeczą nieprawdopodobną, aby ten wypływ bez współudziału żyjących komórek drewna jedynie pod wpływem parcia korzeniowego i rozszerzania się od ciepła gazów zawartych w naczyniach i cewkach mógł się odbywać. Jeśli zaś u jednych drzew pewien współudział miękiszu i promieni rdzeniowych w ruchu wody przyjmiemy, to nie podobna odmówić go tymże tkankom w innych drzewach, skoro one tam zupełnie tak samo są zbudowane. Różnice, jakie w objawach wyciekania soków między różnemi drzewami napotykamy, nie mogą polegać na zasadniczych jakościowych różnicach między czynnościami tkanek drzewnych, ale tylko przez różnice ilościowe w tych czynnościach spowodowane być mogą.

Ale zresztą nie jestem bynajmniej pierwszym z botaników, którzy twierdzą, że w tkance drzewnej nadziemnych części rośliny, podobnie jak w korzeniu, parcie soków, a więc wpychanie ich z komórek miękiszowych do naczyń i cewek może mieć miejsce.

W obszernej pracy specjalnie temu przedmiotowi poświęconej [1], a którą niestety znam tylko z referatów, Pitra opisuje liczne doświadczenia, w których stwierdził wyciekanie wody z przekrojów odciętych i liśćmi w wodę wstawionych pędów. To

[1] Pitra: *Versuche über die Druckkräfte der Stammorgane bei den Erscheinungen des Blutens und Thränens der Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot.* T. 11.

wyciekanie zaczynało się czasem już po 20 godzinach, czasem dopiero po kilku tygodniach. Böhm[1] nie chce przyznać, że wyciekanie to odbywało się pod wpływem osmotycznego parcia, i twierdzi, że następowało tu najprzód wessanie wody do naczyń i cewek w skutek ujemnego ciśnienia, jakie tu panuje, a dopiero potem wypchnięcie tej wody przez ciśnienie gazów, wywiązujących się z początku w skutek śróddrobinowego oddychania, a następnie przez fermentację masłową, jakiej pogrążone w wodzie tkanki roślinne ulegają. Być może, że Böhm w swojem zapatrywaniu ma poniekąd słuszność, że czynniki, o których on mówi, także oddziaływały, nie widzimy przecież w jego rozumowaniach dowodów, któreby wykluczały możliwość osmotycznege parcia, zwłaszcza też w tych przypadkach, w których wyciekanie wody już po 20 godzinach się rozpoczynało, a więc w czasie kiedy fermentacja masłowa części w wodzie pogrążonych jeszcze nie miała czasu się rozwinąć.

Pfeffer w swej fizjologji roślin[2] unika nawet wyrażenia »*Wurzeldruck*« i zastępuje go wszędzie wyrażeniem »*Blutungsdruck*«, wychodząc z tego słusznego założenia, że korzenie bynajmniej nie są tym jedynym organem, w którym parcie osmotyczne soków wytwarzane zostaje, ale że i w nadziemnych częściach rośliny parcie takie powstawać może.

Sachs w swej najnowszej fizjologji roślin[3] przypuszcza także możliwość powstawania osmotycznego parcia w nadziemnych częściach rośliny i przytacza doświadczenie, że kawałek młodego źdźbła trawy, wstawiony jednym końcem w wilgotny piasek i ochroniony od parowania, wydzielał z drugiego końca krople wody.

Karol Kraus[4] przytacza doświadczenie, że wycinki styczne z młodego drewna, położone poziomo na mokrym piasku, wydzielały z powierzchni w górę zwróconej krople wody i często można było stwierdzić, że krople te wychodziły z promieni rdzeniowych.

Russow, przyjmując, jak już mówiliśmy, że parcie korzeniowe wytwarzane jest przez komórki miękiszu drzewnego korzeni, wnosi konsekwentnie: że ponieważ budowa promieni rdzeniowych i mię-

[1] Böhm: *Ueber Druckkräfte in Stammorganen. Bot. Zeit.* 1880 str. 33.
[2] Pfeffer: *Pflanzenphysiologie.* Leipzig 1881, str. 154.
[3] Sachs: *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie.* Leipzig 1882 str. 330.
[4] Karol Kraus l. c. str. 448.

kiszu drzewnego w drewnie pnia jest taka sama jak i w korzeniu, przeto spodziewać się należy, że i w pniu parcie rozwijać się musi[1]. Tak więc widzimy, że to, cośmy koniecznością logiczną zmuszeni byli przyjąć dla objaśnienia ruchu wody, przyjmowało już przed nami wielu innych botaników, z zupełnie innych niż nasze powodów.

Uzasadniwszy w ten sposób uprawnienie naszej teorji ruchu wody w ogólności, przejdźmy teraz do szczegółów.

Najpierwszą trudnością, jaka nam się do przezwyciężenia nastręcza, jest zrozumienie, w jaki sposób woda, z cewek przez komórki miękiszowe działaniem sił osmotycznych wciągnięta, ma być z nich znowu do cewek i naczyń wyżej leżących wypchniętą. Jeśliśmy, spotkawszy się z tą trudnością, powołali się na analogiczne a niewątpliwe zjawiska w korzeniach, to bynajmniej jeszcześmy przez to trudności nie przezwyciężyli, ale tylko wskazaliśmy na możliwość przyjmowanego przez nas procesu. Zaznaczając, że w tej chwili schodzimy na pole hypotez, spróbujmy, czy nam się choć częściowe objaśnienie wspomnianego procesu nie uda. Skoro, jak już wspomnieliśmy, parcie osmotyczne, jakie przyjmujemy w pniu drzew, jest zjawiskiem zupełnie analogicznem z parciem, jakie spotykamy w korzeniach, więc też i sposób objaśnienia tego parcia w obu przypadkach musi być jednakowy. Niestety, dobrego objaśnienia parcia korzeniowego dotąd nie posiadamy. Że parcie polega na wpychaniu wody, przez komórki żyjące drogą osmozy pobranej, do naczyń i cewek, to rzecz naturalna, ale to jest dopiero fakt, który właśnie objaśnić należy. Dla tego objaśnienia Sachs robi przypuszczenie[2], że ścianki komórek miękiszowych, parcie wywołujących, a właściwie zaródź te ścianki wyścielająca nie jest ze wszystkich stron jednakowo zbu-

[1] *Da Stammholz und Wurzelholz durchaus übereinstimmend gebaut sind, so ist zu erwarten, dass auch im Stammholz Druckkräfte entwickelt werden, falls der Wurzeldruck in dem Holzkörper der Wurzel entsteht. Bot. Centr.-blatt XIII* s. 168 i zaraz kilka wierszy dalej: *In Hinblick auf das übereinstimmende Auftreten von Gefässen oder gefässartigen Elementen und das an diese angrenzende Parenchym in dem primären wie secundären Xylem in Stamm und Wurzel sämmtlicher Leitbündelpflanzen steht zu erwarten, dass man Druckkräfte überall im Holzkörper finden muss.*

[2] Sachs: *Handbuch der Experimentalphysiologie.* Leipzig 1865, s. 204. *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie.* Leipzig 1882, str. 327.

dowana. Od strony zewnętrznej, gdzie komórka miękiszowa styka się z wodą (względnie z innemi komórkami miękiszowemi, wodę przez osmozę doprowadzającemi), jest ona wprawdzie przenikliwą dla wody, osmotycznie wciąganej, ale przedstawia bardzo wielki opór wodzie, przeciskanej przez nią pod wpływem ciśnienia; od strony zaś, gdzie komórka styka się z naczyniem lub cewką, zaródź wyścielająca błonę w skutek odmiennej tu budowy nierównie łatwiej wodę pod wpływem parcia przepuszcza. Sachs wyobraża sobie, że przy takiej budowie komórki woda, wciągana do niej w skutek osmozy przez ową zewnętrzną ściankę, wywołuje w niej zwiększenie się wewnętrznego parcia czyli turgoru i że ten turgor sprawia następnie przeciskanie tej wody na zewnątrz przez tę ściankę, która słabszy opór stawia, t. j. przez ściankę, oddzielającą komórkę od naczynia lub cewki. W ten sposób woda, przez komórkę miękiszową z jednej strony wciągana, ma być na drugą stronę do naczynia przez działanie samego turgoru wypychaną.

Aby tę swoją teorję parcia korzeniowego poprzeć doświadczeniem, Sachs skonstruował bardzo prosty przyrząd, który ma naśladować działanie komórki miękiszu korzeniowego [1].

Szeroka rurka szklanna pozioma (p. tab. str. 445, fig. 3) obwiązana jest od strony prawej podwójną, od strony lewej pojedyńczą błoną z pęcherza i napełniona roztworem cukru lub innego endosmotycznie działającego ciała. Koniec rurki po stronie lewej połączony jest szczelnie kauczukiem z wąską, pionowo wznoszącą się rurką. Cały ten przyrząd wstawiony jest w wodę, z której wystaje tylko górna część rurki wązkiej. Prosty ten przyrząd ma naśladować to, co się dzieje w korzeniu. Rolę komórki miękiszowej odgrywa tu rurka szeroka, rolę naczynia rurka wąska. Roztwór cukru, znajdujący się przy pęcherzu podwójnym, wciąga wodę z zewnętrznego naczynia i wprowadza w stan silnego napięcia pęcherze, po obu stronach rurkę zamykające. To napięcie reprezentuje osmotyczny turgor komórki. Gdy to napięcie dojdzie do pewnego kresu, następuje wyciskanie cieczy przez pory pęcherza, naturalnie przedewszystkiem po tej stronie, po której znajduje się tylko pojedyńcza warstwa tegoż. Ciecz, wypchnięta

[1] Pierwsza myśl tej teorji i tego przyrządu wyszła od Hofmeistra, a Sachs myśl tę tylko bliżej rozwinął. Sachs: *Handbuch der Experimentalphysiologie*, s. 204.

przez pęcherz pojedyńczy, wznosi się w rurce wązkiej do pewnej wysokości. Zjawiska, jakie w tym prostym przyrządzie obserwujemy, mają nam, według Sachsa, przedstawiać obraz tego, co się dzieje w miękiszowych komórkach korzenia. Pojedyńcza lub podwójna warstwa pęcherza ma nam wyobrażać różnicę w budowie wysłania protoplasmatycznego ścianek komórek miękiszu, które od strony cewek łatwiej ma być dla wody przenikliwe, niż od strony innych komórek miękiszowych. Wyciskanie pod wpływem napięcia pęcherza cieczy do rurki wązkiej ma nam przedstawiać wpychanie wody z komórek miękiszowych do naczyń i cewek korzenia.

Mimo uznania, jakie sobie ta teorja parcia korzeniowego u wielu botaników zdobyła, nie możemy żadną miarą uważać ją za wystarczającą. Na przeprowadzenie analogji pomiędzy zjawiskami, występującemi w sztucznej komórce Sachsa i w komórkach miękiszowych korzeni, moglibyśmy się zgodzić w takim tylko razie, gdyby do rurki szerokiej w przyrządzie Sachsa wypychaną była nie ciecz taka, jaka jest w komórce, ale czysta woda, a przynajmniej bardzo rozcieńczony tylko roztwór cukru, lub też gdyby z naczyń i cewek ściętej rośliny wypływała nie woda, bardzo małe tylko ilości ciał rozpuszczonych zawierająca, ale płyn takiego prawie stężenia, jak sok znajdujący się w komórkach. Otóż pierwsza z tych rzeczy jest wręcz niemożliwą, a druga, jak rozbiory soku ze ściętych roślin wypływającego pokazują, wcale miejsca nie ma.

Skonstruowanie aparatu osmotycznego, któryby z jednej strony wodę wciągał, a z drugiej taką samą wodę wypychał, jest w obec prawa o zachowaniu energji rzeczą niemożliwą, bo aparat taki, jak to już Mayer zauważył[1], równałby się »perpetuum mobile«.

Parcie osmotyczne, jakie w sztucznej czy naturalnej komórce powstaje, jest rezultatem przyciągania ciał, wewnątrz tej komórki zawartych, do wody. Otóż jeśli ta woda ma być następnie znów z komórki wypchnięta, to potrzeba nietylko zużycia energji do przezwyciężenia oporu, jaki błona komórki przyciąganiu wody stawia, ale nadto energji do oddzielenia tej wody od ciał w niej rozpuszczonych. Do oddzielenia wody od ciał, w niej rozpuszczonych, potrzeba dokładnie tyle energji aktywalnej, wiele jej się

[1] Mayer: *Lehrbuch der Agriculturchemie.* S. 332. Heidelberg 1871.

wytworzyło przy złączeniu się wody z owemi rozpuszczonemi w niej ciałami, więc nie mówiąc już o niezbędnej utracie energji przez zamianę pewnej jej części na ciepło, zkądże ma się wziąść ten nadmiar energji, potrzebnej do przepchnięcia wody przez błonę, zkąd jeszcze ten nadmiar, który potem w formę hydrostatycznego ciśnienia ma się zamienić.

W doświadczeniu Sachsa, jak się sam przekonałem, stężenie płynu, wypchniętego ze sztucznej komórki, jest takie samo, jak stężenie płynu w samej komórce, ta więc energja aktywalna, uwolniona w skutek nasycenia się powinowactwa cukru do wody, zostaje zużytą nie do oddzielenia znów tej wody od cukru, ale wprost do przepchnięcia roztworu cukru przez pęcherz, a ztąd może ona nawet wytworzyć pewne hydrostatyczne ciśnienie.

W korzeniach roślinnych rzecz się ma inaczej: tam sok, który z naczyń i cewek korzeni wycieka, jakkolwiek nie jest czystą wodą, jest przecież często roztworem tak bardzo rozcieńczonym, że w porównanie ze stężeniem soku komórek osmotycznie działających wcale iść nie może.

I tak rozbiory Ulbrichta[1] okazały, że sok, wyciekający z pieńków ściętej naci kartoflanej, zawierał przy początku wypływania 0·161%, przy końcu 0·124% materyj stałych. Sok ze słonecznika przy początku wypływania 0·303%, przy końcu 0·081% tych materyj. Większą połowę tych materyj stałych stanowiły części mineralne, które oczywiście już z ziemi wzięte były i tylko z wodą przechodziły przez komórkę, nie mogły zatem dostarczać energji do wypychanla wody z komórki. Jedynie działającemi mogły tu być ciała, nie pochodzące z ziemi, ale w samych komórkach wytworzone, a więc osmotycznie działające materje organiczne.

Otóż tych materyj organicznych znalazł Ulbricht:

W soku początkowo	wypływającym	z kartofli	0·045%
» przy końcu	»	»	0·0295%
» początkowo	»	ze słonecznika	0·145%
» przy końcu	»	»	0·021%

Odnośnie do stężenia soku komórek, wodę wypychających, zau-

[1] Ulbricht: »*Ein Beitrag zur Kenntniss der Blutungssäfte einjähriger Pflanzen*«. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*. T. VI, str. 468.

ważyć należy, że według doświadczeń Vriesa[1] do sprowadzenia plasmolysy komórek często 4-procentowy roztwór saletry jeszcze nie wystarcza i że w 1% roztworze tej soli komórki często turgor swój jeszcze zwiększają. Jeżeli przeto uwzględnimy jeszcze okoliczność, że przyciąganie saletry do wody jest bardzo znaczne[2], to nie może ulegać wątpliwości, że koncentracja soku owych komórek, wodę wypychających, 1% znacznie przechodzi, a prawdopodobnie znacznie jest większa.

Do wydzielenia z soku takiego stężenia roztworu tak bardzo rozcieńczonego jak ten, który z przeciętego korzenia wyciekający widzimy, musi być zużytą stosunkowo znaczna ilość energji, a w obec tego jeszcze, że energja ta wystarcza nie tylko do przepchnięcia rozcieńczonego roztworu przez błony i zaródź, te błony wyścielającą, ale jeszcze jest zdolną wytworzyć bardzo znaczne hydrostatyczne ciśnienie, objawiające się jako tak zwane parcie korzeniowe, sądzimy: że źródłem tej energji nie może być sam tylko osmotyczny turgor komórki, ale że przyjąć tu jeszcze koniecznie potrzeba czynny współudział żyjącej zarodzi. Konieczność przypuszczenia tego współudziału energji, przez procesa życia (oddychanie) w stan aktywalny wprowadzonej, jeszcze o wiele jaskrawiej wystąpi, jeśli przyjmiemy, że promienie rdzeniowe i miękisz drzewny korzeni potęgują parcie soku przez drewno płynącego. Bo jasną jest rzeczą, że wpływu promieni rdzeniowych i miękiszu drzewnego korzeni na parcie soków nie jesteśmy w stanie inaczej sobie wytłumaczyć, jak przypuszczając wymianę wody między naczyniami i cewkami a owemi żyjącemi komórkami drewna, to znaczy pobieranie tej wody z naczyń i cewek przez komórki żyjące i wydzielanie jej następne z pewną siłą do tychże elementów. Otóż gdyby ta wymiana odbywała się jedynie na mocy osmozy bez współdziałania energji żyjącej zarodzi, to w obec prawa o zachowaniu energji w myśl tego, cośmy wyżej powiedzieli, po każdem takiem przejściu przez osmotycznie działające komórki stężenie owego soku co najmniej bardzo znacznie zwiększyćby się musiało i jeśli nie od razu po pierwszem przejściu przez komórki, to przynajmniej wkrótce wyrównałoby stężeniu

[1] Vries: »*Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung*«. Leipzig 1877.

[2] Vries: »*Ueber die Anziehung zwischen gelösten Stoffen und Wasser in verdünnten Lösungen*«. *Vorläufige Mittheilung*. Amsterdam 1883 s. 7.

soku komórkowego, a wtedy dalsze działania osmotyczne ustaćby musiały.

A zatem teorja parcia korzeniowego, podana przez Sachsa, a zasadzająca się na przyjęciu nie jednakowej budowy wysłania protoplazmatycznego błon komórkowych po dwóch stronach komórki, nie może wystarczyć do objaśnienia zjawisk, jakie przy wyciekaniu soków z korzeni obserwujemy.

Trudności w objaśnianiu tych zjawisk i wtedy jeszcze nie zostałyby usunięte, gdybyśmy przypuścili, że układ cząsteczek zarodzi ulega perjodycznym zmianom tak, że w pewnych chwilach przenikliwość zarodzi dla wody od strony cewek bardzo znacznie się zwiększa, a po wyciśnięciu wody z komórki znów powraca do pierwotnego stanu. Zrobiwszy takie przypuszczenie, moglibyśmy poniekąd zrozumieć, dla czego rozcieńczony roztwór, w cewkach i naczyniach zawarty, nie powraca następnie pod działaniem ciał osmotycznych komórki napowrót do tej komórki: ale nie zrozumielibyśmy jeszcze, zkąd się bierze energja, do oddzielenia wody od stosunkowo stężonego soku komórkowego potrzebna; nie zrozumielibyśmy, jakim sposobem sok, z pieńka uciętej rośliny wyciekający, po tylokrotnem przejściu przez komórki osmotycznie działające, może być tak bardzo rozcieńczonym. Aby to rozcieńczenie soku, z pieńków roślinnych wyciekającego, zrozumieć, jest, zdaniem naszem, rzeczą nieodzowną przypuścić, że wypchnięcie wody z komórki miękiszowej do naczynia lub cewki odbywa się nie pod wpływem samego tylko osmotycznego parcia, ale pod wpływem czynnego jeszcze działania samej żyjącej zarodzi; że energja, powodująca oddzielenie roztworu mocno rozcieńczonego od roztworu stosunkowo skoncentrowanego i przepchnięcie pierwszego do naczyń i cewek, energja, której część zjawia się następnie w postaci hydrostatycznego ciśnienia, pochodzi w części tylko od napięcia osmotycznego między sokiem komórkowym a błoną, w drugiej zaś, może daleko znaczniejszej, części pochodzi z procesu oddychania żyjącej zarodzi. W jaki sposób energja, w skutek oddychania zarodzi w stan czynny przechodząca, wykonywa swoje działanie, na to pytanie dostatecznie z pewnością odpowiedzieć trudno, pewne jednakże wyobrażenie o tem urobić sobie przynajmniej hypotetycznie możemy.

Jeżeli komórka miękiszowa przez przyciąganie ciał, w jej soku zawartych, pewną ilość wody z zewnątrz pobrała, to wydzielenie

tej wody bez wydzielenia odpowiedniej ilości ciał, z któremi się ona złączyła, w dwojaki tylko sposób nastąpić może:

1) Przez powiększenie siły, dążącej do wypchnięcia tej wody na zewnątrz (a więc ciśnienia ścian na sok komórkowy) w tym stopniu, że ona siłę przyciągania tej wody przez ciała w niej rozpuszczone przewyższy.

2) Przez zmniejszenie siły przyciągania ciał, w komórce zawartych, do wody, w skutek czego napięcie przy większem przyciąganiu wytworzone ów nadmiar wody z komórki wypchnie.

Przypuszczając jednę z tych dwóch ewentualności, możemy sobie już łatwo ze zjawisk parcia korzeniowego zdać sprawę. Spróbujmy, o ile nam się to uda.

1. Wyobraźmy sobie komórkę miękiszową, z jednej strony przez pośrednictwo innych podobnych komórek z wodą ziemi, z drugiej zaś z naczyniem lub cewką pozostającą w zetknięciu. Przez działanie osmotyczne ciał, w soku komórki rozpuszczonych, woda z ziemi zostaje do niej wciąganą, a ponieważ zaródź wyciskaniu wody znaczny stawia opór, powstaje w komórce napięcie osmotyczne błony czyli turgor. Wyobraźmy sobie teraz, że gdy turgor doszedł do pewnej wielkości, nastąpiło w miejscu, gdzie komórka przytyka do naczynia lub cewki, w skutek zmiany układu cząsteczek zarodzi znaczne zwiększenie przenikliwości tej zarodzi dla wody, i że jednocześnie z tą zmianą cała masa zarodzi ściągnęła się pod wpływem sił, przez oddychanie uwolnionych a bliżej w swojej istocie nam nieznanych. W takim razie pod wpływem sił, pochodzących z osmotycznego napięcia, oraz owego czynnego ściągnięcia się zarodzi, woda z komórki musi zostać przez miejsce najmniejszego oporu wypchniętą, jeśli tedy to miejsce najmniejszego oporu będzie tam, gdzie komórka styka się z cewką, to do niej właśnie woda wepchniętą być musi. Jeżeli sobie teraz wyobrazimy, że po tem wypchnięciu wody z komórki zaródź wraca do pierwotnego układu cząsteczek, to rozpocznie się na nowo osmotyczne wciąganie wody, po którem znów jej wypchnięcie nastąpi i t. d. Przypuszczając takie perjodyczne czynne kurczenie się zarodzi w komórkach, wodę zawierających, przyjmujemy w nich źródło energji, które wraz z energją, przez osmotyczne napięcie błony reprezentowaną, może już zupełnie wystarczyć tak do oddzielenia wody od ciał, w soku komórkowym roz-

puszczonych, jak i do przepchnięcia jej przez zaródź i błonę i wywołania pewnego hydrostatycznego ciśnienia.

2. Łatwiej jeszcze, bo prościej, z owego wypychania wody z komórek miękiszowych do cewek i naczyń na mocy drugiego przypuszczenia możemy zdać sobie sprawę. Wyobraźmy sobie, że gdy turgor komórki miękiszowej w skutek wciągania do niej wody doszedł do pewnego kresu, nastąpiły w ciałach, w soku komórkowym rozpuszczonych, tego rodzaju chemiczne zmiany, że w skutek nich przyciąganie tych ciał do wody znacznie się zmniejszyło: w takim razie jasną jest rzeczą, że woda, wciągnięta do komórki w czasie, gdy to przyciąganie było większe, nie może się w niej utrzymać, ale w skutek za wysokiego na teraz osmotycznego ciśnienia, musi zostać przez miejsce najsłabszego oporu z komórki wypchniętą. Wyobraźmy sobie, że teraz nastąpią nowe zmiany chemiczne, w skutek których przyciąganie ciał, w komórce zawartych, do wody na nowo się powiększy, to łatwo zrozumiemy, że woda znów z zewnątrz do komórki wciągniętą będzie, aby przy nowych zmianach chemicznych w soku komórkowym zostać z niej znowu wypchniętą i t. d.

Tak więc, zamiast dla objaśnienia wypychania pobieranej przez komórkę wody przypuszczać perjodyczne czynne kurczenie się zarodzi, możemy z równie dobrym skutkiem przypuścić perjodyczne chemiczne zmiany w zawartościach komórkowych, sprawiające perjodyczne zwiększanie się i zmniejszanie przyciągania soku komórkowego do wody.

Podług obu przypuszczeń, energja żyjącej zarodzi, pochodząca z oddychania, sprawia oddzielenie wody od ciał w soku komórkowym rozpuszczonych, ale podług pierwszego przypuszczenia energja ta objawia się w postaci mechanicznego czynnego skurczenia się zarodzi, podług drugiego wykonywa tylko chemiczną pracę, sprawiającą takie przegrupowanie się atomów w ciałach osmotycznie działających, że tę wodę słabiej teraz niż przedtem przyciągają.

Żadne z tych przypuszczeń nie popada w sprzeczność ani z fizjologicznemi faktami, ani prawami fizyki, sądzę przecież, że drugie ma za sobą więcej prawdopodobieństwa, a przynajmniej jaśniej i zupełniej rzecz nam objaśnia. Pierwsze albowiem przypuszczenie wymagałoby jeszcze bliższego objaśnienia owego czynnego kurczenia się zarodzi na mocy pewnych chemicznych zmian w niej

zachodzących, drugie zaś fakta, o które idzie, już wprost przez takie zmiany chemiczne w zarodzi objaśnia, na poparcie też tego drugiego przypuszczenia dość liczne fakta przytoczyć się dadzą.

Że różne ciała z różną energją wodę przyciągają, to już oddawna wiadomo. Ciśnienie osmotyczne, jakie przez jednakowo stężony roztwór ciał powstać może, jest stosownie do natury tych ciał bardzo różne [1], krystaloidy np. przyciągają wodę nierównie silniej niż koloidy, materje organiczne składu prostszego silniej niż materje budowy więcej złożonej. Białko, klej, guma przyciągają np. wodę daleko słabiej niż cukier, glykol, kwasy organiczne lub sole mineralne. Vries [2] w świeżo ogłoszonej pracy oznaczał za pomocą swej plasmolitycznej metody t. z. przez siebie współczynniki izotoniczne rozmaitych ciał w wodzie rozpuszczonych. Współczynnikiem izotonicznym nazywa Vries liczbę, wyrażającą siłę przyciągania wody przez jednę drobinę danego ciała, jeżeli przyciąganie wody przez pół drobiny kwasu szczawiowego przyjmiemy za jedność. Otóż z badań Vriesa okazało się np., że jedna drobina cukru trzcinowego przyciąga wodę z taką samą siłą, jak jedna drobina glykosy albo jedna drobina jakiegoś organicznego kwasu, że wtedy współczynnik isotoniczny tych ciał jest jednakowy $i = 2$, że współczynnik isotoniczny soli jednoatomowych $= 3$, soli dwuatomowych $= 4$ i t. d.

Jeślibyśmy tedy przypuścili tylko, że w komórce roślinnej cukier trzcinowy inwertował się, to już przez to przyciąganie osmotyczne, jakie ten cukier sprawiał, zdwoiłoby się; gdyby przeciwnie glykosa zamieniła się na cukier trzcinowy, ponieważ na utworzenie jednej drobiny tego ostatniego złożyćby się musiały dwie drobiny glykosy, więc przez taką przemianę przyciąganie owej pierwotnej glykosy do wody zmniejszyłoby się o połowę. Zestawiając współczynniki isotoniczne różnych organicznych związków, prawie na pewne twierdzić możemy, że każde rozszczepianie się związków bardziej złożonych na prostsze zwiększy ich przyciąganie do wody, każde złączenie się związków prostszych na bardziej złożone to przyciąganie zmniejszy. Otóż mamy wszelkie podstawy do sądzenia, że takie rozszczepiania się i łączenia związków chemicznych w żyjącej zarodzi nieustannie się odbywają.

[1] Pfeffer: *Osmotische Untersuchungen.* Leipzig 1877. S. 73, 75.

[2] Vries: *Ueber die Anziehung zwischen gelösten Stoffen nnd Wasser in verdünnten Lösungen.* Amsterdam 1883.

Niektórzy badacze (Detmer) przyjmują np. ciągłe rozszczepianie się białka na związki amidowe i związki bezazotowe i następną regeneracją białka z tych związków amidowych i wodanów węgla. Potrzeba tedy tylko przypuścić, że w komórkach, wypychających pobraną osmotycznie wodę, tego rodzaju rozszczepiania się związków bardziej złożonych na prostsze i następna regeneracja owych bardziej złożonych z prostszych perjodycznie po sobie następują, a przepływanie wody przez takie komórki, a nawet wypychanie z nich z pewną siłą wody zrozumieć już łatwo. Bo gdy w takich komórkach nastąpi rozszczepienie się związków więcej złożonych na prostsze, przyciąganie osmotyczne w nich zwiększy się i pewna ilość wody z zewnątrz zostanie wciągniętą; gdy następnie owe prostsze związki złączą się w bardziej złożone, przyciąganie osmotyczne do wody zmniejszy się i pod wpływem napięcia, przy większem przyciąganiu wytworzonego, ów nadmiar wody zostanie wypchnięty. Działanie takich komórek przyrównać można do działania pompy ssąco-tłoczącej. Każde rozszczepienie związków więcej złożonych na prostsze odpowiada podniesieniu do góry tłoku w takiej pompie, każde złączenie się związków prostszych na więcej złożone, opuszczeniu tłoka na dół; zmiany przenikliwości protoplasmy dla wody od strony naczynia lub cewki, do której woda jest wypychaną, odpowiadają otwieraniu się i zamykaniu klapy przy rurze odprowadzającej. Przypuszczając tedy perjodycznie odbywające się zmiany chemiczne w komórkach miękiszu korzeniowego, które się tu z cewkami i naczyniami stykają, łatwo już zdać sobie sprawę ze wszystkich objawów parcia korzeniowego.

Przy takiem pojmowaniu przyczyn parcia korzeniowego nie trudno zrozumieć, w jaki sposób sok, wyciekający z pieńków uciętych roślin, może mieć stężenie tak znacznie mniejsze od soku, w komórkach miękiszowych zawartego. Przy takiem pojmowaniu nie trudno też zrozumieć i potęgowanie się owego korzeniowego parcia przy przepływaniu soku przez starsze części korzeni bez odpowiedniego wzrostu jego koncentracji: bo łatwo sobie wyobrazić, że sok ten z cewek i naczyń zostaje częściowo wciągany do komórek miękiszu drzewnego i promieni rdzeniowych, a ztamtąd znów w sposób, jakiśmy opisali, energją żyjącej zarodzi tych komórek wypychany wprost do naczyń i cewek. Jeżeli sok w swojej drodze w korzeniu na bardzo liczne takie miękiszowe komórki natrafia, to nic dziwnego, że energja, z jaką wypychany jest ku

górze, znacznie się potęguje; jeśli takich komórek na swej drodze nie wiele napotka, to energja słabo zasilana, zużywając się na pracę poruszania wody ku górze, stopniowo słabnie. Ztąd u jednych roślin woda wycieka z pieńków obficiej, u innych mniej obficie u innych wreszcie wyciekanie soku nie następuje wcale[1]. Wyrobiwszy sobie pewne pojęcie o sposobie, w jaki woda, do komórki miękiszowej przez osmozę wciągnięta, może być z niej następnie do naczyń i cewek wypychaną, możemy spróbować zdać sobie bliżej sprawę z przebiegu podnoszenia się wody w tkance pni drzewnych.

Weźmy dla bliższego rozpatrzenia najprostszy przykład, to jest wstępowanie wody w pniach roślin iglastych, a w szczególności jodłowatych, np. sosny, świerku lub jodły.

Uprzytomnijmy sobie przedewszystkiem budowę drewna tych roślin [2].

Drewno drugorzędne (z miazgi utworzone) roślin jodłowatych nie zawiera, jak wiadomo, wcale naczyń, ale złożone jest z samych tylko cewek i promieni rdzeniowych. Na ściankach promieniowych owe cewki opatrzone są typowej budowy lejkowatemi jamkami. Błonka, rozdzielająca oba lejki jamki, jest nieco od największego przekroju jamki większa, tak że, wypuklając się na jedną lub drugą stronę, przylega do jednego lub drugiego lejka jamki. W samym środku na błonce tej znajduje się zgrubienie torus zwane. Masa drzewna z tych cewek złożona poprzerzynaną jest, jak wiadomo, bardzo gęsto promieniami rdzeniowemi. Ilość promieni rdzeniowych jest tak wielka, że na każdym wycinku pewną ilość zawsze znajdujemy. Odległość pionowa jednego promienia od drugiego nie jest większa jak długość jednej cewki. Każdy promień rdzeniowy na wycinku promieniowym przedstawia się jako tabliczka miękiszu drzewnego z dwóch, trzech lub więcej szeregów komórek tego miękiszu złożona Na wycinkach stycznych, w kątach, gdzie się schodzą komórki promieni rdzeniowych z cewkami, dają się widzieć delikatne przestwory międzykomórkowe. Przestwory te na wycinkach promieniowych przedstawiają się jako kanaliki powietrzne, wzdłuż promieni rdzeniowych przebiegające. Komórki promieni rdzeniowych są wydłużone w kie-

[1] Porówn. C. Kraus l. c.

[2] Russow: »*Zur Kenntniss des Holzes in Sonderheit des Coniferenholzes*». *Bot. Centralblatt XIII.*

runku tychże promieni, a każda komórka jest tak długą, że po jednej i drugiej stronie z kilkoma styka się cewkami. Ścianki tych komórek są dość zgrubiałe i tworzą bardzo charakterystyczne jamki. Gdzie dwie komórki promieni rdzeniowych stykają się z sobą, tam znajdują się zwykle stosunkowo niewielkie kanalikowate jamki: podobne jamki znajdują się także tam, gdzie ścianka komórki promienia rdzeniowego dotyka przestworu międzykomórkowego; na ściankach, odgraniczających komórkę promienia rdzeniowego od cewek, znajdują się bardzo obszerne jamki, których średnica jest prawie równa średnicy cewki, liczba zatem tych jamek, znajdujących się na ściankach jednej komórki promienia, odpowiada liczbie cewek, z któremi komórka się styka. Każda taka jamka jest także lejkowatą, ale lejek stosunkowo płytki znajduje się tylko po stronie cewki, niema go zaś od strony komórki promienia. Błonka takiej jamki jest prawie zawsze wgięta ku wnętrzu cewki, brzegi jej zatem przylegają do lejka od strony cewki się znajdującego. Błonka jamki nie jest nigdy zdrewniałą, ale owszem z czystej celulozy złożoną, jak o tem świadczy zachowanie się jej z jodem w obec chlorku cynku. Przytem jamka tej błonki jest na całej swej powierzchni cienką i nie posiada owego środkowego zgrubienia, które charakteryzuje blaszkę jamek między samemi cewkami. Tylko, gdy jamka byłaby zbyt wielką, pośrodku jej błonki występuje listwa zgrubienia, która jamkę na dwie części rozdziela. Komórki promieni rdzeniowych zawierają obficie zaródź, a często też, zwłaszcza w zimie, znajdują się w nich także bardzo znaczne ilości skrobi.

Otóż, jak już wiemy, podług naszego zapatrywania się na ruch wody w drewnie, cewki tkanki drzewnej, której budowę dopiero co opisaliśmy, stanowią rodzaj rur, któremi woda rozprowadzoną zostaje; siły zaś, do poruszania wody niezbędnej, dostarcza w części tylko różnica ciśnień przez parowanie liści wytworzona, w drugiej części dostarczają jej promienie rdzeniowe.

Przebieg działania przy tym ruchu wody wyobrażamy sobie w sposób następujący:

Wyobraźmy sobie jednę komórkę promienia rdzeniowego (p. tab. str. 445, fig. 4). Komórka taka, jak wiemy, mocno wydłużona w kierunku promienia, styka się od góry i od dołu, tudzież od zewnątrz i od wewnątrz z podobnemi komórkami promienia, z boków zaś z cewkami, od których błonami owych wielkich jamek

jest oddzieloną. Na figurze 4, przedstawiającej kawałek przekroju poprzecznego z drewna świerkowego, komórka promienia rdzeniowego *r* styka się z ośmiu cewkami, z których cztery leżą po jednej, cztery po drugiej stronie komórki. Wyobraźmy sobie teraz, że komórka ta przez działanie osmotyczne ciał w jej soku rozpuszczonych wciąga wodę ze wszystkich tych cewek, z któremi się styka, i że w skutek tego turgor tej komórki zwiększa się. Zwiększenie się tego turgoru sprawiać naturalnie będzie mocniejsze naprężenie błon owych wielkich jamek i wgięcie się ich ku cewkom, przytem brzegi ich wspierać się będą na lejkach, od strony cewek się znajdujących. Takie wciąganie wody z cewek do komórki miękiszowej promienia prawie zupełnie nie będzie wpływać na zmianę ciśnienia powietrza w cewkach; bo zmniejszenie tego ciśnienia, spowodowane przez odciągnięcie wody z cewek, będzie zrównoważone zwiększaniem ciśnienia w skutek wgięcia się błon jamek ku wnętrzu cewek. Ale wyobraźmy sobie teraz, że gdy turgor komórki naszej doszedł do pewnego kresu, zaródź wyścielająca błonę jamki między komórką a jedną z cewek, np. cewką *b*, zwiększyła swoją przesiąkliwość dla wody i że jednocześnie nastąpiło czynne skurczenie się całej zarodzi, albo, co prawdopodobniejsze, zmiany chemiczne w ciałach osmotycznie działających, w skutek których zmniejszyło się przyciąganie tych ciał do wody: w takim razie woda, z ośmiu cewek poprzednio do komórki wciągnięta, zostanie do cewki *b* wypchniętą. W skutek tego wepchnięcia do cewki *b* znaczniejszej ilości wody ciśnienie wewnątrz tej cewki zwiększy się, co spowodować musi wypchnięcie z tej cewki pewnej ilości wody do cewek innych, w których ciśnienie jest mniejsze. Gdyby na ściankach stycznych cewek znajdowały się jamki, to woda z cewki *b* zostałaby wypchniętą przedewszystkiem do cewki *a* i cewki *c*, które z nią na jednej leżą wysokości, ale ponieważ tu jamek niema, więc wypchnięcie nastąpić może tylko przez ścianki promieniowe jamkami opatrzone, a więc do cewek sąsiednich, wyżej lub niżej leżących. Ponieważ, jak to Hartig udowodnił, ciśnienie powietrza w cewkach wyżej leżących jest mniejsze, więc naturalną jest rzeczą, że to przepchnięcie wody nastąpić musi ku cewkom wyżej leżącym.

A teraz wyobraźmy sobie, że zaródź komórki naszej wraca do pierwotnego układu cząsteczek i że w ciałach osmotycznie działających znów pewne rozszczepienia, sprawiające zwiększenie

się przyciągania ich do wody, następują: wtedy na nowo rozpoczyna się wciąganie osmotyczne wody ze wszystkich cewek, z któremi komórka się styka, i ponowny wzrost turgoru. Po pewnym czasie, gdy odpowiednia ilość wody zostanie wciągniętą, znów woda ta, w sposób poprzedni, zostaje z komórki wypchniętą. Otóż możemy przypuścić, iż przy tem drugiem wypchnięciu wody miejsce najmniejszego oporu zarodzi przenosi się od jamki przy cewce *b* do jamki przy cewce *c*; teraz więc woda ze wszystkich ośmiu cewek do cewki *c*, a ztamtąd wyżej do cewek, z cewką *c* stykających się, wypchniętą będzie. Potem następuje znów wciąganie wody i wypchnięcie jej do cewki *d*, potem wciąganie i wypchnięcie do cewki *e*, potem do cewki *f*, do cewki *g*, do cewki *h*, do cewki *a*, i znów do cewki *b* i t. d. Przypuszczamy tedy, że woda, wciągana ze wszystkich cewek, z któremi dana komórka promienia się styka, zostaje wypychaną zawsze do jednej tylko cewki i to prawdopodobnie do coraz inszej. Jak długim jest okres pomiędzy osmotycznem wciągnięciem pewnej ilości wody do komórki a jej następnem wypchnięciem do jednej z cewek, oraz jak wielką jest ilość naraz wypchniętej wody, o tem nic powiedzieć się nie da.

Atoli samo przypuszczenie takiego perjodycznego wciągania i wypychania wody przez komórki promieni rdzeniowych jest dla objaśnienia ruchu wody rzeczą niezbędną.

To działanie komórek promieni rdzeniowych na ruch wody w cewkach nie jest jedynie tłoczącem, ale także i ssącem. W chwili, gdy z komórki promienia rdzeniowego woda do którejkolwiek cewki wypchniętą zostanie, turgor komórki, a z nim razem i wypukłość błon jamkowych, oddzielających tę komórkę od wszystkich innych cewek, musi się zmniejszyć.

Bezpośredniem następstwem owego zmniejszenia się wypukłości błon jamkowych ku cewkom musi być zmniejszenie ciśnienia w tych cewkach.

Przypuszczając, że komórka promienia styka się z ośmiu cewkami i że rozszerzanie się jej przy powiększaniu się turgoru może się odbywać jedynie przez wginanie się błon jamkowych ku cewkom, przypuszczając dalej, że objętość wewnętrzna wszystkich ośmiu cewek jest jednakowa: to jeśli przy wypchnięciu wody do cewki *b* ciśnienie powietrza w tej cewce powiększyło się o ilość *p*, to ciśnienie powietrza w każdej z innych cewek, np. w cewce

g, zmniejszyło się w tym samym czasie o $\frac{p}{8}$. Po następnem wypchnięciu wody do cewki c, w cewce g zmniejszenie ciśnienia będzie już wynosić $\frac{2p}{8}$, przy trzeciem wypchnięciu wody $\frac{3p}{8}$ i t. d. Gdy to zmniejszenie ciśnienia osiągnie pewną wielkość $\frac{xp}{8}$, wtedy woda z cewek niżej leżących zostanie wessaną i ciśnienie wróci mniej więcej do stanu pierwotnego. Tak więc według naszej teorji każda komórka promienia rdzeniowego wywiera na ruch wody w cewkach zarazem tłoczące i ssące działanie. Tłocząc, komórka promieni popycha wodę w tej cewce, do której wodę z siebie wydziela, a w tej samej chwili oddziaływa ssąco na wodę wszystkich innych cewek, z któremi się styka. Każdy promień rdzeniowy składa się z kilku szeregów komórek, każda więc cewka, przy promieniu położona, styka się nie z jedną, ale z kilku komórkami promienia; jeśli więc jedna komórka przez wepchnięcie wody do jednej cewki może w niej zwiększyć ciśnienie powietrza o p, to gdy n komórek działa jednocześnie i w tym samym kierunku, zwiększenie ciśnienia w tej cewce wynosić będzie np, a zmniejszenie ciśnienia w każdej z cewek sąsiednich $\frac{np}{m}$, gdzie m oznacza ilość cewek, do jednej komórki promienia dotykających. Otóż te ilości, np. $i - \frac{np}{m}$, wyrażać będą zmiany ciśnienia, jakie dany promień rdzeniowy w cewkach, które się z nim stykają, sprawiać będzie, i te to zmiany ciśnienia, połączone ze stopniowem zmniejszaniem się ciśnienia w cewkach coraz wyżej leżących, jakie udowodnił Hartig, sprawiać będą wznoszenie się wody do najwyższych szczytów drzew.

Powyżej rozwinięta teorja ruchu wody, nie popadając, jak tuszymy, nigdzie w sprzeczność z zasadniczemi prawami fizyki, objaśnia i tłumaczy tak wyniki bezpośrednich doświadczeń, jak i wszystkie szczegóły anatomicznej budowy drewna roślin iglastych.

I tak dla teorji naszej jest rzeczą zupełnie zrozumiałą, że różnica ciśnień w cewkach wyżej i niżej leżących jest niezbędnym warunkiem podnoszenia się wody w drewnie.

Jak sobie przypomnimy, Robert Hartig badał wpływ, jaki

przecięcie biela na krążenie soków wywiera, i spostrzegł, że to przecięcie powodowało więdnięcie szczytowych pędów w świerku, mimo że cewki biela po nad nacięciem w połowie jeszcze wodą były wypełnione. Powodem więdnięcia było tu tylko, jak widzieliśmy, wyrównanie wewnętrznego ciśnienia w cewkach, w różnych wysokościach po nad sobą leżących. Wyniki tego doświadczenia podług naszej teorji tłumaczą się z łatwością. Jeżeli powietrze w cewkach, wyżej i niżej leżących, ma jednakowe ciśnienie, to jasną jest rzeczą, że gdy woda z komórki promienia rdzeniowego do jednej z cewek wepchniętą zostanie i przez to ciśnienie powietrza chwilowo w niej powiększy, to niema żadnego powodu, żeby ta woda raczej do cewek wyżej aniżeli niżej leżących wypchniętą została; owszem, przy ciśnieniu jednakowem, raczej pod wpływem samego ciężaru na dół niż do góry woda popchniętąby była. Toż samo niema powodu, aby ssanie, spowodowane w innych cewkach, raczej z dołu aniżeli z góry wodę do tych cewek wciągało, a tak, mimo funkcjonowania komórek promieni rdzeniowych, woda wracać będzie tam, zkąd była wziętą, i ruch jej ku górze następować nie może. Aby przez ssąco-tłoczące działanie promienia rdzeniowego woda ku górze posuwaną być mogła, potrzeba koniecznie, aby w cewkach, po nad tym promieniem leżących, ciśnienie było mniejsze niż w cewkach leżących pod nim, inaczej działanie bez skutku pozostać musi. Szczegóły budowy anatomicznej drewna roślin iglastych objaśniają się za pomocą naszej teorji lepiej jeszcze, niż za pomocą teorji Böhma lub Hartiga, bo teorja nasza objaśnia także szczegóły budowy promieni rdzeniowych, czego teorje Böhma i Hartiga nie czynią, bo nawet w ogóle dla tych teoryj sama exystencja promieni rdzeniowych jest czemś zupełnie zagadkowem. Z jednej cewki do drugiej, i podług naszej także teorji, woda przez jamki w skutek różnicy ciśnień przechodzi, tylko że dla nas różnica ta ciśnień nie jest stałą i wyłącznie od transpiracji liści zależną, ale znaczniejsze różnice, zdolne do przepchnięcia wody z jednej cewki do drugiej, powstają tylko chwilowo w skutek wypchnięcia z komórek promieni rdzeniowych naraz większych ilości wody. Pewna stała zniżka ciśnienia w cewkach, coraz wyżej leżących, nie dopuszcza cofania się wody wypchniętej na dół, albo wsysania wody z cewek wyżej leżących do cewek niższych, i przez to nadaje kierunek prądowi wody, przez ssąco-tłoczące działania promieni spo-

wodowanemu, ale sama tego prądu wody w drzewach wysokopiennych nie sprawia. Przy takiem rozumieniu rzeczy, znaczenie budowy jamek cewkowych, a szczególniej też błon, te jamki zamykających, jeszcze jaśniej występuje niż przy teorji Böhma lub Hartiga.

Jeżeli z komórek promienia rdzeniowego nagle pewna ilość wody do jednej z cewek zostanie wepchniętą, to fala wody, z pewną siłą o błonki jamek uderzająca, rozdarcie ich łatwo spowodowaćby mogła. Aby tego nie dopuścić, znajdują się po obu stronach błony lejki, na których błona wesprzeć się może. Ale sam środek błony wystaje poza brzegi lejka, tu więc rozdarcie mogłoby nastąpić, ale też w tem miejscu znajduje się owo zgrubienie błonki jamkowej, *torus* zwane. Ow *torus* odgrywa tedy w jamkach cewek taką samą rolę, jak stożek platynowy, jaki chemicy wkładają pod sączek, gdy dla prędszego przesączania posługują się pompką. Jak ten stożek platynowy chroni sączek od rozdarcia w tem miejscu, w którem się on ze ściankami lejka nie styka, tak ów *torus* chroni blaszkę jamki tam, gdzie ona poza brzeg lejka wystaje. Delikatne zagięcie brzegów lejka, jakie Russow[1] dostrzegł, jeszcze lepiej to zabezpieczenie upewnia.

Teorja nasza tłumaczy dalej, dla czego na stycznych ściankach cewek roślin iglastych jamek niema, ale są one tylko na ściankach promieniowych.

Cewki, od jednej komórki miazgowej pochodzące, a więc w jednym szeregu promieniowym ułożone, stoją mniej więcej na jednej wysokości, podczas gdy w kierunku równoległym do obwodu łodygi cewki stoją na różnych wysokościach. Gdyby na ściankach stycznych cewek jamki znajdowały się także, to woda, wepchnięta z komórki promienia do jednej z nich, przechodziłaby, zamiast do cewek wyższych, do cewek obok niej na jednej z nią wysokości leżących, t. j. wracałaby tam, zkąd wziętą została; ruch wody ku górze odbywaćby się nie mógł. Obecność jamek na ściankach stycznych ostatniej warstwy drzewa jesiennego objaśnia się naturalnie, jak to już Hartig wypowiedział, potrzebą obfitego doprowadzenia wody do miazgi z chwilą rozpoczęcia się nowego okresu wegetacyjnego. Znaczenie budowy promieni rdzeniowych jest także w obec naszej teorji zupełnie zrozumiałe. Wydłużony

[1] Russow l. c. 39, fig. 16, 17, 18, 19.

w kierunku promienia kształt komórek tłumaczy się potrzebą, aby każda taka komórka stykała się z kilkoma cewkami, iżby przez wepchnięcie wody, z kilku cewek wciągniętej, do jednej cewki mogła w tej ostatniej powstać przewyżka ciśnienia zdolna do popchnięcia wody do cewek wyżej leżących. Dla podtrzymania oddychania, będącego źródłem energji w tych komórkach, służą przewody powietrzne, przebiegające między komórkami promieni a cewkami, w postaci delikatnych kanalików poziomo aż do kory przebiegających, i tu przez soczewki komunikujących się z zewnętrzną atmosferą. Ku tym przewodom prowadzą kanalikowate jamki, przez które oczywiście następuje wymiana gazów przy oddychaniu. Podobne jamki znajdujące się tam, gdzie dwie komórki promieni ze sobą się stykają, wystarczają do wymiany materji odżywczych między temi komórkami. Ale tam, gdzie idzie o pobieranie i wydzielanie wody przez komórki promieni rdzeniowych, takie drobne jamki byłyby niedostateczne, tam znajdować się muszą jamki ile możności jak najobszerniejsze: bo jasną jest rzeczą, że szybkość pobierania osmotycznego wody jest proporcjonalną do powierzchni błony; a że pobieranie wody z cewki do komórki promienia może się odbywać tylko przez niezdrewniałą i cienką błonkę jamki, więc jeśli to pobieranie ma być szybkie, to i ta błonka jamki musi mieć dostatecznie wielką powierzchnię. Przy mocnem naprężeniu błonki jamkowej przez turgor, a więcej jeszcze przy samem wypychaniu wody przez błonkę, pewne zabezpieczenie tej błonki, zwłaszcza w obec niskiej prężności powietrza w cewkach może być pożądane, to też od strony cewki jamka jest lekko lejkowata, od strony natomiast komórki lejek byłby zupełnie zbytecznym.

Widzimy tedy, że teorja nasza objaśnia najdrobniejsze szczegóły budowy anatomicznej roślin jodłowatych. Szczegółowo rozwinęliśmy tę teorję dla tych tylko roślin ze względu, że budowa ich drewna jest najprostszą i najlepiej nam znaną, ale nie wątpimy, że szczegóły anatomicznej budowy drewna innych roślin w świetle naszej teorji także łatwo zrozumiećby się dały.

U cyprysowatych, gdzie prócz promieni rdzeniowych między cewkami porozrzucane są jeszcze komórki miękiszu drzewnego, komórki te odgrywają niewątpliwie podobną rolę, jak komórki promieni rdzeniowych; jakoż, podług Russowa, jamki między

temi komórkami a cewkami występujące są zupełnie takie same, jak jamki między komórkami promieni rdzeniowych a cewkami.

U drzew liściastych zachodzi ta różnica, że, prócz cewek, jako owe rury rozprowadzające wodę, występują jeszcze naczynia. Atoli różnica ta jest więcej pozorna niż rzeczywista, bo woda w naczyniach wyjątkowo tylko tworzy jednociągłe słupy, zwykle zaś poprzegradzana jest bańkami powietrza, w skutek czego tworzy się tak zwany łańcuch Jamina. W takim łańcuchu Jamina w skutek tarcia, jakie powstaje przy meniskach, potrzeba bardzo znacznego ciśnienia, aby cały słup wody wraz z owemi bańkami poruszyć. Ostatecznie tedy wychodzi prawie na to samo, jak gdyby naczynie przedstawiało nam szereg cewek, z których każda prócz wody obejmowałaby bańkę powietrza; różnica jest tylko ta, że układ tych cewek może się zmieniać przez występowanie nowych baniek, zlewanie się baniek mniejszych w większe i t. p., podczas gdy zmiany takie tam, gdzie mamy do czynienia z prawdziwemi cewkami, są niemożliwe, bo nie dopuszczają ich ścianki, cewki rozdzielające.

Ścianki naczyń i cewek drzew liściastych są w zasadzie zupełnie podobnie zbudowane jak cewki roślin iglastych. Gdzie elementa trachealne stykają się między sobą, mamy najczęściej drobne jamki lejkowate bardzo gęsto obok siebie ułożone, tworzące rodzaj siatki. Jamki te jak i błonka, która je zamyka, są zupełnie tak samo zbudowane jak jamki roślin iglastych; czasem te jamki, nie przestając być lejkowatemi, są szparkowato wydłużone (naczynia i cewki drabinkowate), przez co czynność ich bynajmniej inną być nie potrzebuje. Szczególniej ważnym dla naszej teorji jest fakt, na który Russow z naciskiem zwrócił uwagę, że tam, gdzie naczynia lub cewki stykają się z komórkami promieni rdzeniowych lub z komórkami miękiszu drzewnego, znajdują się jamki odmienne, bez porównania większe od tych, które widzimy na ściankach, rozdzielających naczynia lub cewki między sobą[1]. Jamki te mają tylko od strony naczynia lub cewki słabo rozwinięte lejki, od strony zaś komórki miękiszowej wcale lejka niema. Mamy tedy i tutaj fakt zupełnie taki sam, jaki widzieliśmy u roślin iglastych, u których na ściankach, oddzielających komórki miękiszowe promieni od cewek, widzieliśmy owe wielkie, jednostron-

[1] Bardzo wydatnie występuje to np. u wierzby.

nemi lejkami opatrzone jamki. Z tej budowy zgodnie z naszą teorją i słusznie, jak sądzę, wnosić możemy, że i u roślin liściastych między komórkami miękiszu drzewnego a naczyniami i cewkami żywa wymiana wody odbywać się musi. Taką wymianę tem więcej przypuszczać mamy prawo, że jak łatwo się przekonać na wycinku z pierwszego lepszego drzewa (np. wierzby, akacji, bałwianu), komórki miękiszowe szczególniej naokoło naczyń są zwykle ugrupowane

Tak więc i u drzew liściastych ruch wody w drewnie, o ile przynajmniej idzie o doprowadzenie jej do znacznych bardzo wysokości, niewątpliwie następuje w ten sposób, że komórki promieni rdzeniowych i komórki miękiszu drzewnego, opatrzone jednostronnemi lejkami, wciągają osmotycznie z naczyń i cewek wodę, a wpychając ją potem przez czynne działanie żyjącej zarodzi, posuwają ją w naczyniach i cewkach w kierunku najmniejszego ciśnienia, a więc ku górze. Tam znów ta woda styka się z komórkami miękiszowemi, a wciągnięta przez nie, zostaje popchnięta dalej i tak aż do liści. Aby zdać sobie dokładnie sprawę z przebiegu tego ruchu wody, potrzeba, tak jakeśmy to zrobili dla roślin jodłowatych, w każdym poszczególnym przypadku roztrząsnąć szczegółowo budowę anatomiczną drewna, a przedewszystkiem rozłożenie, kształt i budowę komórek promieni rdzeniowych i komórek miękiszowych, oraz stosunek tych komórek do naczyń i cewek.

My, na ten raz przynajmniej, ograniczymy się do powyżej podanego zaznaczenia stosunków anatomicznych, wskazujących na wymianę wody między żyjącemi komórkami a naczyniami i cewkami w drewnie, i do danego powyżej rozwinięcia szczegółów naszej teorji na jednym tylko typie budowy tkanek drzewnych.

Czy przy ruchu wody u roślin zielnych, znaczniejszej wysokości niesięgających, komórki żyjące nadziemnych części łodygi współdziałają także, czy też ruch wody odbywa się tu jedynie pod wpływem różnicy ciśnień, przez transpirację spowodowanej, tego przesądzać nie chcę. Obserwacja np. Sachsa, że kawałek źdźbła trawy, wstawiony jednym końcem w mokry piasek, z drugiego końca kroplę wody wydziela, kazałaby przypuszczać, że czynny współudział żyjących komórek w ruchu wody i tu nie jest wykluczony, ale z drugiej strony wątpić prawie nie można, że sama różnica ciśnień, przez parowanie sprowadzona, może tu

zupełnie do podtrzymania tego ruchu wystarczyć, bo jeśli rtęć do naczyń tych roślin do wysokości kilku centymetrów wessaną być może, toć ssanie to może także wystarczyć do doprowadzenia wody od korzeni do tej niewielkiej wysokości, do jakiej rośliny takie sięgają. U krzewów i u drzew, nieprzenoszących wysokości kilku metrów, sama tożsamość budowy tkanek drzewnych z takiemiż tkankami drzew wysokopiennych każe przyjąć pewien współudział żyjących komórek w rozprowadzaniu po łodydze wody, choć i tu przypuścić można, że ze względu na niewielką wysokość, o którą idzie, i bez tego współudziału, li w skutek różnicy ciśnień, przez parowanie sprowadzonej, woda w dostatecznej ilości do liści mogłaby być doprowadzoną. Ta różnica ciśnień od samej transpiracji zależna, mogłaby też w wielu razach i w drzewach wysokopiennych wystarczyć do wywołania ruchu wody na znacznej przestrzeni, gdy np. idzie o doprowadzenie wody z pnia głównego do koron liściowych poziomo leżących lub zwieszonych gałęzi; tylko wszędzie tam, gdzie idzie o podniesienie wody do znaczniejszych wysokości, niezbędnym się okazuje współudział żyjących komórek miękiszu drzewnego i promieni rdzeniowych.

A teraz na zakończenie powiedzmy jeszcze słów parę o stopniu prawdopodobieństwa naszej teorji.

Co do ogólnych jej zasad, to sądzimy, że te są prawie pewne. Skoro przekonaliśmy się, że dotychczasowa teorja, przyjmująca ruch wody imbibicyjnej w ściankach, ostać się nie może, skoro dalej przekonaliśmy się, że podnoszenie się wody do znaczniejszych wysokości wewnątrz martwych jedynie elementów, jakiemi są naczynia i cewki, bez popadnięcia w sprzeczność z prawem zachowania energji objaśnić się nie da, współudział więc żyjących komórek, jako dostarczających energji do podnoszenia wody w roślinach, nie może ulegać wątpliwości. Drugą, jak sądzę, także pewną zasadą naszej teorji jest to, że współudział komórek żyjących w ruchu wody nie może polegać jedynie na działaniu sił osmotycznych, bo tem działaniem przepływania wody przez żyjące komórki bez znacznego zwiększenia się jej stężenia objaśnić nie można. Zaródź musi dostarczać do poruszenia wody czynnej, od sił osmotycznych niezależnej, ale z procesu oddychania pochodzącej energji.

To są ogólne zasady, na których, jak sądzimy, każda teorja ruchu wody w wysokopiennych drzewach w przyszłości oprzeć

się będzie musiałai których wykrycie uważamy za główny rezultat naszych rozumowań.

Szczegóły naszej teorji opierają się już na hypotezach i dla tego, pomimo że nam bardzo dobrze objaśniają znaczenie budowy tkanek drzewnych, za pewne uważać ich nie możemy. Hypotezy, na których szczegóły te oparliśmy, są:

1) Przypuszczenie perjodycznych zmian w układzie cząstek zarodzi, sprawiających, że w pewnej chwili w danem miejscu zaródź staje się bardziej przenikliwą dla wody.

2) Przypuszczenie perjodycznych zmian w turgorze komórki, pochodzących bądźto z czynnego kurczenia się co pewien czas zarodzi, bądź też z perjodycznych zmian w składzie chemicznym ciał osmotycznie działających.

Obie te hypotezy nie mają w sobie nic nieprawdopodobnego, nic sprzecznego z własnościami zarodzi, albo z zasadniczemi prawami fizyki.

Oddychanie dostarcza energji dostatecznej do wywołania owych zmian, jakie w zarodzi przypuszczamy, a że zaródź w różnych miejscach komórki może przybierać różne własności, to nie my pierwsi twierdzimy, o tem zresztą przekonać się można ze sposobu kurczenia się zarodzi pod wpływem czynników wodę odciągających. Że w zarodzi mogą następować zmiany, które nagłe wypchnięcie znacznych mas wody sprawiają, dowodem tego są poduszeczki liści czułka, które, jak wiadomo, za lekkiem podrażnieniem wywołują, w skutek wypchnięcia wody z komórek dolnej strony poduszeczki, ruch całego liścia; że zmiany w turgorze komórki mogą perjodycznie w krótkich bardzo odstępach czasu po sobie następować, dowodem tego np. ruchy listków bocznych w liściu złożonym *Hedysarum gyrans*; wszystko więc, cośmy dla rozwinięcia szczegółów naszej teorji hypotetycznie przyjęli, ma w zjawiskach życia roślin fakta analogiczne. Mimo to hypotezy są tylko hypotezami i dla tego przypuszczamy, że dalsze badania nad przyczynami ruchu wody w roślinach zmodyfikują może szczegóły objaśnienia, jakieśmy np. dla roślin jodłowatych podali, ale sądzimy, że główne zasady naszej teorji nawet w obec najściślejszej krytyki zdołają się ostać.

Dublany, dnia 5 Stycznia 1884 r.

W kilka tygodni po napisaniu i wysłaniu do Akademji powyższej rozprawy otrzymałem rocznik czasopisma »*Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*« za rok 1883. W ósmym zeszycie tego czasopisma str. 371 znajduje się praca Westermajera pod tytułem: »*Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchyms*«. W pracy tej autor, uznając niedostateczność dzisiejszych teoryj ruchu wody, przyjmuje także współdziałanie komórek żyjących miękiszu drzewnego dla wyjaśnienia ruchu wody. Ponieważ praca Westermajera wpłynęła do redakcji wspomnianego czasopisma już dnia 6 Października 1883 r., przeto pierwszeństwo tłumaczenia ruchu wody przez przyjęcie współdziałania promieni rdzeniowych i miękiszu drzewnego należy się nie mnie, ale Westermajerowi. Uznając chętnie to pierwszeństwo, zaznaczyć przecież muszę, że podobieństwo między teorją Westermajera a moją dotyczy samej tylko zasady przyjęcia współudziału żyjących komórek, bo sposób, w jaki sobie Westermajer współudział ten przedstawia, jest od mojego zasadniczo różny.

Jak widzieliśmy, podług mego zapatrywania komórki żyjące działają tylko jako pompki ssąco-tłoczące, które przy współdziałaniu ssania, przez transpirację spowodowanego, poruszają wodę wewnątrz naczyń i cewek; podług Westermajera główny ruch wody odbywa się przez endosmozę w komórkach miękiszu drzewnego, a naczynia i cewki stanowią tylko jakby zbiorniki, do których woda jest z komórek miękiszowych wyciskaną i w których przez włoskowatość się utrzymuje, aby z nich znów przez endosmotyczne ssanie w komórkach miękiszowych wyżej podciągniętą została.

Za podstawę dla swych dedukcyj nie bierze autor budowy anatomicznej jakiejś danej rośliny, ale tylko na ogólnym schemacie zapatrywanie swoje przedstawia. W schemacie tym rysuje Westermajer jedno naczynie, przy którem w kilku po nad sobą leżących poziomach przebiegają promienie rdzeniowe, połączone z sobą skośnie przebiegającemi szeregami miękiszowych komórek. Na tym schemacie objaśnia autor ruch wody w sposób następujący: Przypuśćmy, że do poziomu *A*, przy którym leży najniższy promień rdzeniowy, woda przez działanie korzenia i niżej leżących części pnia do naczynia doprowadzoną została. Komórki miękiszu w poziomie *A*, z naczyniem się stykające, pobierają z niego

wodę i mogą się nią dostatecznie nasycić. Przypuśćmy, że komórki miękiszowe, przy wyższym poziomie *B* leżące, stały się uboższemi w wodę (z jakiego powodu? autor nie mówi), wtedy działają one ssąco na komórki miękiszu drzewnego bezpośrednio niżej leżącego, które są w wodę bogatsze, i to ssanie endosmotyczne przenosi się od komórki do komórki aż do komórek miękiszowych leżących przy poziomie *A*. Gdy komórki przy *B* dostatecznie wodą się wysycą, zaczną wyciskać ją do naczynia, w skutek czego przy *B* kolumna wody w naczyniu będzie rosnąć ku górze i ku dołowi, utrzymując się sama kapilarnie, o ile tylko pewnej wysokości ($^1/_6$ kapilarnego wzniesienia odpowiadającego średnicy naczynia) nie przekroczy. W pewnej wysokości po nad *B* przy *C* woda z naczynia znów będzie wciągana przez komórki miękiszu drzewnego i temi komórkami przez endosmotyczne ssanie coraz wyżej leżących komórek doprowadzoną zostanie do poziomu jeszcze wyższego przy *D*, tam znów do naczynia wysączoną zostanie i t. d.

Co do wielkości owych odstępów, przez które woda drogą osmozy przeprowadzoną zostaje, np. odstęp między poziomami *A* i *B*, Westermajer przypuszcza, że one wynosić mogą około 80 centymetrów. W przypuszczeniu tem opiera się autor na doświadczeniu, w którem przewiędnięty nieco rdzeń ze słonecznika zawiesił w cylindrze szklanym tak, aby dolny koniec jego pogrążony był w wodzie. Po 36—48 godzinach cały rdzeń zesztywniał, co dowodzi, że woda drogą osmozy doszła w tym czasie do samego szczytu, t. j. do wysokości 80 centymetrów.

Streszczając swoją teorję, mówi Westermajer: »Dwie tedy siły wchodzą tu w działanie: siła endosmotyczna i włoskowatość: poruszająco jednak działa tylko jedna siła t. j. siła endosmotyczna, a to częścią przez wytwarzanie hydrostatycznego ciśnienia, powodującego przesączanie się wody do naczyń (cewek), częścią przez ssanie w miękiszu; włoskowatość działa tylko utrzymująco, nie poruszająco«.

Zbyt ogólnikowy sposób, w jaki Westermajer teorję swoją przedstawił, nie pozwala na bliższy krytyczny jej rozbiór, ograniczyć się przeto musimy do kilku tylko o niej uwag:

1. Przedewszystkiem zauważyć możemy, że teorja Westermajera nie wiele się różni od dawnych zapatrywań, kiedy jeszcze cały ruch wody objaśniać się starano przez endosmotyczne ssanie od liści aż do korzeni się rozciągające. Różnica polega

właściwie tylko na tem, że dawniej wyobrażano sobie, że komórki, w których woda się podnosi, tworzą jeden zamknięty system, w którym woda wznosi się przez osmozę od komórki do komórki, począwszy od korzenia aż do najwyższych szczytów drzew, gdy tymczasem w teorji Westermajera system ten jest niejako podzielony na ogniwa niespełna 1 metr wysokie: tylko w zakresie każdego ogniwa woda wznosi się przez endosmozę a dochodząc do szczytu ogniwa wylewa się do rodzaju zbiornika, który jest reprezentowany przez naczynia i cewki, ztąd znów przez endosmozę woda podnosi się dalej w następnem ogniwie żyjących komórek i t. d.

Mimo tej różnicy, zarzuty, jakie spowodowały zarzucenie dawnej endosmotycznej teorji ruchu wody, stosują się poniekąd i do teorji Westermajera, i tak przedewszystkiem zauważyć należy, że, jak zkądinąd wiadomo, ruch osmotyczny w najkorzystniejszych warunkach jest zbyt powolny, aby nam prąd wody, przez transpirację spowodowany, objaśnić. Sam Westermajer stwierdził, że do dojścia drogą osmotyczną wody do wysokości 80 centym. potrzeba było w rdzeniu słonecznika 36—48 godzin, podczas gdy Sachs wykazał[1], że średnia szybkość ruchu wody w roślinach około 1 metr na godzinę wynosi. Przyjmując prędkość nawet znacznie większą od znalezionej dla słonecznika przez Westermajera, np. 1 metr na 24 godziny, potrzebaby było miesiąca czasu dla doprowadzenia wody do szczytu drzewa 30 metrów wysokiego, tymczasem Hartig znalazł np., że już w tydzień po przecięciu biela korona liściowa u dęba całkowicie obeschła.

2. Komórki miękiszu drzewnego oddzielone są od siebie stosunkowo grubemi ściankami, na których znajdują się wprawdzie liczne ale bardzo drobne jamki; warunki więc osmotycznego przechodzenia wody z jednej komórki miękiszu drzewnego do drugiej są bardzo niekorzystne z powodu zbyt małej powierzchni, którą osmoza odbywać się może.

3. Schemat Westermajera nie nadaje się zupełnie do roślin jodłowatych, bo tu niema owych komórek miękiszu drzewnego, któryby łączył ze sobą promienie rdzeniowe, tu więc ob-

[1] Sachs »*Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstromes in transpirirenden Pflanzen*«. *Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg*. T. II. s. 182.

jaśnienie ruchu wody przez Westermajera wcale zastosować się nie da.

4. Westermajer wcale nawet nie zastanawia się nad tem, co sprawia owe różnice w zawartości wody, które ruch wody w komórkach miękiszowych mają sprawiać, nie stara się też wyjaśnić, czemu w jednem miejscu mają komórki miękiszowe ssać wodę z naczyń, a w innych wydzielać ją do naczyń.

5. Teorja Westermajera nie uwzględnia wcale wpływu, jaki ssanie, przez transpirację spowodowane, na ruch wody wywierać musi, i ssania tego wcale nie wymienia między siłami ruch wody wywołującemi. W obec tego trudno byłoby Westermajerowi wyjaśnić, dla czego, jak to Hartig udowodnił, różnica ciśnień wewnątrz wyżej i niżej leżących elementów drzewnych jest niezbędnym warunkiem podnoszenia się wody w tkance drzewnej.

W obec tych wszystkich uwag, uznając pierwszeństwo Westermajera odnośnie do przyjęcia współudziału żyjących komórek drzewnych przy objaśnianiu ruchu wody, nie możemy się zgodzić na sposób, w jaki Westermajer ten współudział pojmuje, dla tego też pracą tego autora nie widzimy się być spowodowanymi do zmienienia w czemkolwiek przedstawionych w powyższej rozprawie naszych zapatrywań.

Dublany, dnia 16 Lutego 1884.

Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen[1].

(Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Bd. XV, 1884, pp. 569—630).

I.

Die Frage über die Ursachen des Saftsteigens in dem Holzkörper der Pflanzen ist in der letzten Zeit wieder zum Gegenstande einer lebhaften Discussion geworden. Bis auf wenige Jahre hat sich die Sachs'sche Imbibitionstheorie einer fast allgemeinen Zustimmung erfreut. Es ist nur Böhm gewesen, der in seinen zahlreichen Schriften immer und immer diese Theorie zu bekämpfen suchte, und der seit längerer Zeit die Ansicht vertrat, dass das steigende Wasser nicht in den Zellwänden, sondern in den Lumina der Holzelemente sich bewegt. Böhm hat aber mit seinen Ansichten kein Glück gehabt: nicht nur konnten sich dieselben lange Zeit hindurch keine Anerkennung erwerben, sondern wunderbarer Weise wurden die Arbeiten Böhm's von den Anhängern der Imbibitionstheorie, ja von den meisten Botanikern fast gänzlich ignorirt, und ohne Rücksicht auf die Gegenbeweise, welche Böhm angebracht hat, wurde die Imbibitionstheorie sogar in den neuesten Lehrbüchern als eine allein mögliche, ja als sicher festgestellte Theorie vorgetragen. Erst in den zwei letzten Jahren haben sich verschiedene Forscher, wie Vesque, Elfving, Russow, Hartig, gegen die Imbibitionstheorie ausgesprochen. Es ist namentlich Robert

[1] Diese Abhandlung, im Laufe des Novembers und Decembers 1883 in polnischer Sprache geschrieben, wurde in der Sitzung von 20. Januar 1884 der Krakauer Akademie der Wissenschaften vorgelegt. Erst später habe ich die Arbeit von Westermaier »Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchyms« (Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, Hft. 8) kennen gelernt. Diese Arbeit, welche in gewissen Ansichten mit der meinigen übereinstimmt, bespreche ich unter III.

Hartig gewesen, der die Unhaltbarkeit der Imbibitionstheorie auf das Bestimmteste nachwies. Seine schönen Untersuchungen über die Vertheilung des Wassers in dem Holzkörper[1] haben festgestellt, dass zu jeder Zeit, sogar während der stärksten Transpiration, die Lumina der Zellen nicht lauter Luft, sondern auch bedeutende Mengen von flüssigem Wasser enthalten. Seine Einsaugungsversuche[2] haben dargethan, dass, wenn es an Bedingungen des Wassersteigens (Druckdifferenzen) in den Zelllumina fehlt, die Sprossen der Fichte welken, auch, wenn nicht nur sämmtliche Zellwände der Tracheiden vollkommen mit Wasser gesättigt sind, sondern sogar die Lumina derselben mehr als 60 pCt. ihres Volumens an Wasser enthalten. Diese Thatsachen reichen vollkommen hin, um die Imbibitionstheorie als unhaltbar zu erklären. In seiner letzten Schrift[3] hat Hartig eine so erschöpfende Kritik der Imbibitionstheorie geliefert, dass damit die Sache als vollkommen erledigt zu betrachten ist, und wenn wir noch in Betracht ziehen, dass Vesque[4] und Capus[5] die Bewegung des Wassers innerhalb der Gefässe unmittelbar beobachtet haben, so können wir ohne jedes Bedenken den von Böhm so lange erfolglos vertheidigten Satz, dass der Transpirationsstrom des Wassers in den Zelllumina und nicht in den Zellwänden sich bewegt, als vollkommen sichergestellt gelten lassen.

In Bezug auf die Frage, welche Kräfte es sind, die die Wasserbewegung innerhalb der Holzelemente veranlassen, ist nun wieder Böhm der erste gewesen, der sie zu beantworten suchte. Seine Ansichten in Bezug auf diese Frage fasst Böhm in folgenden Worten kurz zusammen: »Die durch Transpiration bedingte Wasserbewegung in den safterfüllten Zellen parenchymatischer Gewebe, ebenso wie die in den saftleitenden Hohlräumen

[1] Robert Hartig, »Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen und über die Ursachen der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen«. Berlin 1882.

[2] Robert Hartig, »Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen« Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut in München. III. Berlin 1883, S. 47.

[3] R. Hartig, Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie. Berlin 1883.

[4] Bot. Centralbl. Bd. 15, S. 371.

[5] Comptes rendus, Bd. 97, S. 1087.

des Splintes, ist ein durch Druckdifferenzen in den benachbarten Zellen bedingter Saugungsprocess«.

Böhm klagt mit Recht, dass diese seine Ansicht wie noch manche andere von ihm geäusserte, ohne einer ernstlichen Kritik unterworfen zu werden, von den Fachgenossen einfach ignorirt wurden. Ich will also versuchen, diese Ansichten einer näheren Kritik zu unterziehen.

Die Theorie von Böhm enthält eigentlich zwei ganz verschiedene Dinge: 1. Die Erklärung der Wasserbewegung in lebendigen Zellen der Wurzel und des Blattparenchyms. 2. Die Erklärung dieser Bewegung in den Gefässen und Tracheiden des Holzes.

Wir wollen versuchen, auf diese beiden Theile der Böhm'schen Theorie etwas näher einzugehen.

1. In Bezug auf die Aufnahme des Wassers aus dem Boden durch die Wurzeln und auf die Bewegung desselben in lebendigen Parenchymzellen, sind mit Ausnahme von Böhm alle Botaniker darüber einig, dass diese Bewegung durch osmotische Kräfte vermittelt wird. Böhm tritt dieser allgemein anerkannten Ansicht entgegen, indem er behauptet, dass auch die Wasseraufnahme durch die Wurzeln und die Bewegung des Wassers in den lebendigen Zellen auf eine durch Druckdifferenz bedingte Saugung zurückzuführen ist. Die Einwände, welche Böhm gegen die Erklärung der Wasserbewegung im Blattparenchym durch osmotische Kräfte aufführt, sind folgende:

1. »Die durch osmotische Spannungsdifferenz verursachte Wasserbewegung ist eine ausserordentlich langsame«.
2. »Die direct transpirirenden, d. i. Epidermiszellen, enthalten in der Regel kein Chlorophyll, können daher nicht assimiliren und somit keine osmotisch wirksame Substanzen erzeugen. Die in den Oberhautzellen enthaltene Flüssigkeit unterscheidet sich allem Anscheine nach kaum wesentlich von gewöhnlichem Wasser und kann daher durch Verdunstung nicht concentrirter werden«
3. »Würde der Wiederersatz des verdunsteten Wassers durch den osmotisch wirksamen Inhalt der Blattzellen veranlasst, so müsste bei Blättern von Pflanzen, welche im feuchten Raume assimiliren, auf der Oberhaut und in den Intercellularräumen Wasser abgeschieden werden, was jedoch niemals der Fall ist«.

4. »Bei einer grünbeblätterten Pflanze, welche im feuchten Raume verdunkelt wurde, müssen sich auffällige Spannungsdifferenzen in den Blattzellen in Bälde ausgleichen, indem die osmotisch wirksamen Substanzen theils verbraucht, theils in den Stengel abgeführt werden; es bleiben aber die Blätter frisch, wenn die Pflanze nach einiger Zeit bei fortdauerndem Lichtabschlusse in trockene Luft gebracht wird«.
5. »Wenn die Wasserbewegung in transpirirenden Blättern durch Concentrationsdifferenzen des Inhaltes benachbarter Zellen verursacht wäre, so müsste in gleicher Weise auch das Saftsteigen in den sogenannten parenchymatösen Hölzern bewirkt werden, was wohl Niemand wird behaupten wollen«.

Es ist keine schwierige Aufgabe, die Grundlosigkeit aller dieser Einwände anschaulich zu machen.

1. Dass die osmotische Wasserbewegung ausserordentlich langsam ist, beweist gegen die Annahme einer solchen Bewegung im Blattparenchym gar nichts, da es sich hier um Bewegungen auf sehr kleinen Strecken handelt. Die geringe Geschwindigkeit der osmotischen Bewegung erklärt uns sogar, warum die Blattspuren in ein so feines Netz verzweigt sind. Könnte das Wasser im Blattparenchym selbst sich schnell genug bewegen, so würden die Verzweigungen der wasserleitenden Gewebe (Gefässbündel) in demselben überflüssig sein, und ein einfacher durch die Mitte des Blattes laufender Fibrovasalstrang könnte für die Wasserversorgung der Blattgewebe vollständig hinreichen, höchstens würden noch Verzweigungen der mechanischen Elemente der Blattspuren nöthig sein. Wenn wir aber im Blattparenchym überall auf die Verzweigungen der trachealen Elemente stossen, so beweist dies, dass das Blattparenchym selbst zur schnellen Wasserleitung sich nicht eignet und dass das Wasser in diesem Gewebe sich nur sehr langsam bewegen kann.

2. Dem zweiten Böhm'schen Einwande liegt eine wunderbare Confusion zu Grunde. Daraus, dass die Epidermiszellen in der Regel kein Chlorophylll enthalten, schliesst Böhm, dass sie keine osmotisch wirksamen Substanzen erzeugen. Wer hat denn bewiesen oder sogar nur behauptet, dass die osmotisch wirksamen Substanzen immer unmittelbar durch Assimilation entstehen? Wenn die Oberhautzellen nicht osmotisch wirken können, weil sie kein Chlorophyll enthalten, wie können dann irgend welche Wurzelzellen,

Markzellen der Stengel, irgend welche Zellen chlorophyllfreier Pflanzen osmotische Wirkungen entwickeln? Wie soll man sich die Entstehung des Wurzeldruckes oder nur den Turgor und das Wachsthum irgend einer chlorophyllfreien Zelle denken?

Woraus Böhm schliesst, dass »die in der Oberhautzelle enthaltene Flüssigkeit sich allem Anscheine nach kaum wesentlich von gewöhnlichem Wasser« unterscheidet und dass sie durch Verdunstung nicht concentrirter werden kann, ist mir auch unverständlich. Böhm dürfte doch wissen, dass eine 1-procentige Salpeterlösung noch nicht hinreicht, um die Plasmolyse der Oberhautzellen hervorzurufen.

Und endlich, die Oberhautzellen sind doch nicht die einzigen Wasser unmittelbar verdunstenden Zellen, da ja jeder weiss, dass auch die Mesophyllzellen den Wasserdampf in die Intercellularräume und aus diesen in die Atmosphäre durch die Spaltöffnungen aushauchen.

3. Was den dritten Einwand anbetrifft, so ist zu bemerken, dass die Ausscheidung des osmotisch aufgenommenen Wassers nach aussen keineswegs eine nothwendige Folge des osmotischen Vorganges bei constanter Wasserzufuhr ist, sondern dass sie einen speciellen Fall der osmotischen Erscheinungen, welcher selbst einer näheren Erklärung bedarf, bildet.

4. Der vierte Einwand hat ebenso wie der zweite in der unbegründeten und falschen Voraussetzung, dass die osmotisch wirkenden Stoffe nur durch Assimilation, also nur am Lichte, entstehen können, seinen Grund, er ist also ebensowenig gerechtfertigt wie der zweite Einwand.

5. Gegen den fünften Einwand ist zu bemerken, dass das Holz der Papayaceen zwar vorwiegend, nicht aber ausschliesslich aus Holzparenchym besteht, dass wir also die Wasserbewegung in diesem Holze nicht ohne weiteres mit der Wasserbewegung im Blattparenchym gleichzustellen brauchen.

Wenn möglich noch weniger glücklich als in der Kritik der herrschenden Anschauung ist Böhm in der eigenen Erklärung der Wasserbewegung in Wurzel- und Blattparenchymzellen gewesen. Wie oben erwähnt, lässt Böhm das Wasser nicht nur in den trachealen Elementen des Holzes, sondern auch in Wurzel- und Blattparenchym in Folge einer Saugung, welche durch Druckdifferenz bedingt ist, sich bewegen. Die Epidermiszellen entziehen

durch eine solche Saugung das Wasser den Mesophyllzellen, diese den trachealen Elementen der Blattspurstränge, welche wieder durch eine ähnliche Saugung den weiteren Holzelementen das Wasser entziehen, und so bis auf die Wurzelzellen, welche, auch durch Saugung, das Wasser aus dem Boden schöpfen.

Es ist kaum zu glauben, dass eine solche Theorie, namentlich was die Bewegung des Wassers in lebendigen Zellen anbetrifft, von einem Botaniker, wie Böhm, aufgestellt werden konnte, da doch ihre Unhaltbarkeit klar auf der Hand liegt. Will man annehmen, dass die Epidermiszellen und die Mesophyllzellen durch Saugung in Folge der Druckdifferenz den trachealen Elementen Wasser entziehen, so ist einleuchtend, dass man in diesen Zellen einen geringeren Druck als in den Holzelementen voraussetzen muss. In den trachealen Elementen des Holzes herrscht aber bekanntlich ein ziemlich bedeutender negativer Druck, folglich muss in den Epidermis- und Mesophyllzellen ein noch stärkerer negativer Druck obwalten.

Ein negativer Druck in Epidermis- und Mesophyllzellen, wie ist denn das möglich? Die Botaniker haben ja bisher über einen Turgor, also über einen positiven Druck in den lebendigen Zellen geredet. Diesen Turgor nimmt also Böhm nicht an, im Gegentheil, in allen Zellen des Blattes, auch während des Wachsthums (da ja auch dann das Blatt transpirirt und also Wasser aufsaugt), herrscht nach ihm ein negativer Turgor, und nicht nur die Zellwände sind durch den Turgor nicht gedehnt, sondern sie knicken unter dem atmosphärischen Ueberdruck nur deshalb nicht ein, weil sie stark elastisch sind. Auch in den Wurzelparenchymzellen und in Wurzelhaaren ist kein positiver, sondern ein negativer Turgor anzunehmen. Böhm wird ja zugeben, dass seine Theorie der Wasserbewegung, auf lebendige Zellen angewendet, mit unseren elementaren Kenntnissen über den Bau der Zelle und die Eigenschaften des Protoplasmas und des Zellsaftes im schroffsten Widerspruch steht.

2. Jetzt kehren wir uns zum zweiten Theile der Böhm'schen Theorie, nämlich zur Erklärung, wie das Wasser in den trachealen Elementen des Holzes steigen kann. Hier steht die Sache nicht so schlimm, wie mit dem ersten Theile der Böhm'schen Theorie. In Anwendung auf die Bewegung des Wassers im Holze kann sich diese Theorie auf zahlreiche festgestellte Thatsachen berufen.

Der negative Druck, welcher unter normalen Bedingungen in den lebendigen Zellen niemals vorkommt, ist hier mit Sicherheit constatirt. Zerschneidet man einen transpirirenden Spross unter Quecksilber, so steigt bekanntlich dasselbe in die Gefässe oft bis zu einer ansehnlichen Höhe, zum Beweis, dass eine Saugung hier in der That besteht; ist diese Saugung im Stande, Quecksilber mehrere Centimeter hoch steigen zu lassen, so wird sie um so mehr hinreichen können, um das Wasser zu einer beträchtlichen Höhe emporzuheben. Wird also das Wasser durch osmotische Kräfte aus dem Boden aufgenommen und in die Gefässe und Tracheiden der Wurzeln hineingepresst, so ist schon ohne grosse Mühe, wenn es sich um eine nicht zu grosse Höhe handelt, nach der Böhm'schen Theorie das Steigen des Wassers bis zu den transpirirenden Organen zu erklären. Wenn in einer dampfgesättigten Atmosphäre das durch die Wurzeln aufgenommene Wasser, bis zu den Blättern gelangend, in Form von Wassertropfen nach aussen hinausgepresst wird, so wird es um so leichter in den Gefässen steigen, wenn in denselben durch Transpiration ein theilweises Vacuum entsteht.

Bei der Erklärung der Wasserbewegung in Kräutern und Sträuchern von geringer Höhe stösst also die Böhm'sche Theorie auf keine Schwierigkeiten; anders gestaltet sich aber die Sache, wenn wir die Wasserbewegung in Bäumen von 50 Meter und mehr Höhe durch die Böhm'sche Theorie erklären wollen.

Bei einigem Nachdenken muss Jedermann zugeben, dass die Anhänger der Imbibitionstheorie vollkommen Recht haben, zu behaupten, dass die Böhm'sche Luftdrucktheorie nicht im Stande ist, das Steigen des Wassers bis zu einer 10 Meter übersteigenden Höhe zu erklären. Was sagt aber Böhm gegen diesen Einwand?

»Es ist einleuchtend«, sagt er, »dass die Pflanzen, wenn sie aus nebeneinander liegenden Zellen von ihrer (den Pflanzen) eigenen Länge aufgebaut wären, selbst unter den günstigsten Verhältnissen nie höher werden könnten, als eine Wassersäule, welche der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Dass Pflanzen nun factisch viel höher werden können, wird dadurch möglich, dass dieselben aus vielen kleinen, übereinander gelagerten und geschlossenen Zellen bestehen, indem so das Wasser von Zelle zu Zelle emporgepumpt wird«[1]. Böhm vergisst aber, dass, wenn

[1] Böhm, Landwirtschaftliche Versuchsstationen, XX, S. 364.

die Zellwände, durch welche das Holz gekammert ist, dem von oben nach unten auf sie drückenden Wasser einen Widerstand leisten, sie einen ganz gleichen Widerstand dem Wasser leisten, welches von unten nach oben zu steigen strebt, und zur Ueberwindung dieses Widerstandes muss auch eine entsprechende Kraft in Anspruch genommen werden. An einer anderen Stelle sagt Böhm: »Die Schwere (Filtrationsdruck) der in den übereinander liegenden Zellen enthaltenen Flüssigkeitssäule wird theils durch Querwände, inbesondere aber durch Reibungswiderstände vollständig aufgehoben, welche selbst in capillaren mit alternirenden Wassertropfen und Luftbläschen gefüllten Röhren ausserordentlich gross sind«. Aber auch hier ist zu bemerken, dass dieselben Widerstände, welche dem Wasser nach unten abzufliessen nicht gestatten, seine Bewegung nach oben auch hemmen müssen.

Sollte aber Böhm die Richtigkeit dieses ihm so oft gemachten Einwandes nicht zugeben, so hoffe ich, dass er durch folgende Ueberlegungen sich überzeugen lassen wird.

In seiner Abhandlung »Ueber die Ursachen der Wasserbewegung und der geringen Lufttension in transpirirenden Pflanzen« (Bot. Zeit. 1881, S. 899) gibt Böhm eine schematische Figur, auf welcher er seine Ansicht über die Wasserbewegung in den Pflanzen erläutert. *E* soll in dieser Figur Epidermis, *M* Mesophyllzellen *W* und *H* lebendige Zellen der Wurzel darstellen. Verliert die Zelle *E* Wasser durch Transpiration, so wird sie dadurch der Zelle *M* gegenüber zur Saugpumpe und entzieht derselben Wasser. Die Zelle *M* saugt ihrerseits das Wasser aus der Tracheide 1 und aus dem Gefässe, diese saugen das Wasser aus den weiter nach unten liegenden Tracheiden u. s. w. Auf diese Weise soll in Folge der Transpiration bei *E* eine Saugwirkung in dem ganzen System eingeleitet werden.

Dass von einer Bewegung nach diesem Schema in den lebendigen Zellen des Wurzel- und Blattparenchyms nicht die Rede sein kann, haben wir schon oben gezeigt, dass aber auch in den lauter Luft und Wasser enthaltenden Tracheiden und Gefässen das Wasser nach diesem Schema höher als circa 10 Meter nicht steigen kann, ist leicht zu beweisen. Denken wir uns, dass das nach dem Schema von Böhm construirte System 11 Meter hoch ist. Die Bedingungen der Wasserbewegung werden nach diesem Schema nicht ungünstiger, wenn wir uns anstatt der Zellen *W*

und *H* ein Wasserreservoir, in welchem das Wasser unter dem atmosphärischen Drucke steht, denken. Auch dadurch kann die Wasserbewegung nicht gestört werden, wenn wir, anstatt die Zellen *E* und *W* einfach transpiriren zu lassen, in denselben ein Vacuum auf anderem Wege herstellen. Dies zugestanden, denken wir uns, dass wir die Zelle *M* mit Wasser gefüllt haben und dass wir zu dieser Zelle eine 11 Meter lange mit Wasser gefüllte Glasröhre luftdicht eingepasst und das Ende derselben in das Wasser des Reservoirs bei *W* eingetaucht haben. Was muss nun geschehen? Das Wasser aus der Zelle *M* und aus dem oberen Theile der Röhre wird in das Reservoir *W* abfliessen und nur eine circa 10 Meter hohe Wassersäule wird in der Röhre durch den atmosphärischen Druck gehalten. In dem oberen Theil der Röhre und in der Zelle *E* wird sich ein Vacuum bilden. Unter diesen Bedingungen soll der Theorie Böhm's zufolge das Wasser aus dem Reservoir *W* in das System bis zur Zelle *M* steigen. In die Zelle *M* angelangt, wird das Wasser durch die in diese Zelle eingepasste Röhre nach dem Reservoir *W* abfliessen, um dann wieder in das System zu steigen u. s. w. Wir haben also in diesem System der Theorie Böhm's zufolge ein wirkliches Perpetuum mobile vor uns. Ob die Gefässe und Tracheiden mit Querwänden gefächert sind oder nicht, ob sie vollkommen elastische oder ganz starre, einfach oder gehöft betüpfelte Wände besitzen, ob sie im Innern nur Wasser oder auch Luftblasen enthalten, ob zwischen ihnen Intercellularräume vorhanden sind oder nicht[1], das alles kann die Endconclusion, zu welcher die Böhm'sche Theorie führt, nicht im mindesten ändern. Diese Conclusion (Perpetuum mobile) steht, wie wir gesehen haben, mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie im Widerspruche, folglich kann die Böhm'sche Theorie in Bezug auf Bäume, welche höher als 10 Meter sind, nicht richtig sein. Thatsächlich könnte das Wasser in Folge der durch Transpiration bewirkten Saugung auch bis zu einer Höhe von 10 Meter nicht gelangen, denn: 1. selbst in den noch so hoch liegenden Tracheiden und Gefässen ist der Druck > 0; 2. in den Tracheiden und Gefässen,

[1] Russow sagt: »Da Sachs das Intercellularsystem des Holzes und dessen Zusammenhang mit der Atmosphäre nicht kannte, so war sein Einwand, dass in Folge des Luftdruckes das Wasser nicht höher als circa 10 Meter steigen konnte, nicht unberechtigt«. Bot. Centralbl. XIII, S. 107.

welche in dem Niveau des Bodens liegen, ist der innere Druck während einer starken Transpiration geringer als der atmosphärische Druck; 3. ein Theil der saugenden Kraft muss für das Ueberwinden des Filtrationswiderstandes der Zellmembranen verbraucht werden.

Nach allen diesen Erwägungen sehen wir, dass die Böhm'sche Theorie uns sehr gut das Saftsteigen in den Holzelementen der niedrigen Pflanzen erklären kann, dass sie aber nicht im Stande ist, die Frage, wie das Wasser in den Pflanzen, welche ansehnlichere Höhe erreichen, bis zu den Gipfeln gelangen kann, zu beantworten. Auch darf die Böhm'sche Theorie nur auf die Wasserbewegung in leblosen Elementen des Holzes, aber keineswegs auf lebendige Zellen des Parenchyms angewendet werden.

Der Böhm'schen Theorie sehr nahe steht die von Robert Hartig in seinen drei Abhandlungen[1] entwickelte Theorie.

In der ersten Arbeit hat Hartig die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und des Luftraumes im Holze an verschiedenen Höhen der Bäume und zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht. Die Methode, welcher sich Hartig bei diesen Untersuchungen bediente, war die, welche zuerst von Sachs in der bekannten Arbeit über Porosität des Holzes angegeben wurde. Obgleich diese Methode nicht ganz genau ist, da, wie ich anderswo zeigen werde, die Wassercapacität der Holzzellwände durch diese Methode oft zu klein gefunden wird, so ist doch diese Ungenauigkeit nicht gross genug, um die Hauptresultate der Hartig'schen Arbeit wesentlich zu alteriren. Diese Hauptresultate sind aber:

1. Dass der leitende Holzkörper aller untersuchten Bäume zu jeder Tageszeit in allen seinen Theilen ausser Imbibitionswasser sehr reichliche Wassermengen im flüssigen Zustande enthält.
2. Dass der Splintkörper mehrerer Baumarten nach oben wasserreicher wird.

[1] 1. »Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen und über die Ursache der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen«. Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München. II. Berlin 1882. — 2. »Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen«. Unters. aus dem forstbot. Institut in München. III. Berlin 1883. — 3. »Die Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie«. Berlin 1883.

3. Dass mit jeder Abnahme des Wassergehaltes im Baume der Luftraum in der Krone sich mehr vergrössert als im Schaft und zumal am unteren Theile derselben, dass also der Luftdruck in den Holzelementen nach oben geringer wird.

Ebenso wichtig für die Theorie der Wasserbewegung in den Bäumen ist die zweite Abhandlung Hartig's. Hier fand unser Verfasser nicht nur, dass an verschiedenen Höhen eines Baumes Druckdifferenzen in der Holzluft bestehen, sondern, was wichtiger ist, dass diese Differenzen eine nothwendige Bedingung der Wasserbewegung ausmachen.

Es handelte sich zunächst in dieser zweiten Arbeit Hartig's um die Feststellung der Frage, in welchen Theilen des Holzes das Wasser aufwärts wandert, ob in dem ganzen Holzkörper oder nur in den äusseren Jahresringen, etwa nur im Splinte. Um dieser Frage näher zu treten, schnitt Hartig die Stämme verschiedener Bäume bei einer Höhe von 1,3—1,5 m mit einer Säge ringsherum bis auf eine gewisse Tiefe ein, so dass nur die inneren Holzringe, etwa das Kernholz, für Wasserleitung übrig blieb, der Splint aber durchschnitten wurde. Dieser Versuch hat bei verschiedenen Baumarten verschiedene Resultate geliefert: während bei den Birken und bei den Rothbuchen auch nach einem Monat das Laub vollkommen frisch blieb, zeigte die Eiche schon nach 7 Tagen ein völlig vertrocknetes Laub. Die Fichte mit durchschnittenem Splinte zeigte 31 Tage nach dem Einschneiden die letzten Triebe auffallend welk, die jungen unreifen Zapfen vertrocknet; 71 Tage nach dem Einschneiden waren die Knospen in der oberen Hälfte der Baumkrone völlig vertrocknet und die Rinde des Gipfels bis $3^1/_2$ m abwärts war braun und trocken.

Die Untersuchung der Wasservertheilung in diesen Bäumen ergab folgende Resultate.

Bei der Eiche verschwand das flüssige Wasser aus dem Splinte der oberen Hälfte des Baumes vollständig, der Splint enthielt hier nur eine der Wassercapacität der Zellwände entsprechende Wassermenge.

Anders bei der Fichte: hier, trotzdem dass die oberen Triebe zu welken anfingen, enthielten die Tracheiden 31 Tage nach dem Einschneiden folgende Wassermengen:

In der Höhe von 1,5 m, unmittelbar unter dem Einschnitte 87,6 pCt. ihres inneren Volumens.

In der Höhe von 2,6 m, also 1,1 m über dem Einschnitte 68,7 pCt. ihres inneren Volumens.

In der Höhe von 16,6 m, also 15 m über dem Einschnitte 64,2 pCt. ihres inneren Volumens.

In der Höhe von 25,7 m, also 24,1 m über dem Einschnitte 74,6 pCt. ihres inneren Volumens.

In der Höhe von 31,0 m, also 29,4 m über dem Einschnitte 74,9 pCt. ihres inneren Volumens.

Aus diesen Zahlen sehen wir, dass das Welken der jungen Triebe zu einer Zeit begann, als die Splinttracheiden der höheren Baumregionen noch über 70 pCt. des inneren Volumens an Wasser enthielten. Offenbar ist also nicht der Mangel an Wasser im Holze, sondern der Mangel an Bedingungen, welche für das Aufwärtssteigen des Wassers nothwendig sind, die Ursache des Welkens der jungen Triebe gewesen. Diese Bedingungen sind nach Hartig in den Druckdifferenzen innerhalb der übereinander liegenden Tracheiden gegeben. Das Holz der Eiche enthält bekanntlich weite Gefässe, die atmosphärische Luft konnte also in diese Gefässe an der Einschnittsstelle gelangen und in dem tiefer liegenden Splinte einen Ueberdruck, welcher die Wasserbewegung gegen die Laubkrone gestattete, bewirken. In Folge dessen ist aus den Lumina der Splintelemente der höheren Regionen der eingeschnittenen Eiche das Wasser vollständig verschwunden.

Anders bei der Fichte. Hier sind bekanntlich keine Gefässe im Splinte vorhanden, die atmosphärische Luft konnte also hier nur in die durch den Schnitt geöffneten Tracheiden, nicht aber in die unverletzten Tracheiden eintreten, sie konnte also keine ansehnlichere Drucksteigerung in den über dem Einschnitte liegenden Splinttracheiden bewirken, und da auch der Wasserzutritt durch den Einschnitt unterbrochen wurde, so musste nach einiger Zeit in Folge der Transpiration eine annähernde Ausgleichung des Luftdruckes in den Tracheiden des ganzen oberhalb des Einschnittes liegenden Baumtheiles eintreten. In Folge dieser Druckausgleichung konnte das Wasser, trotzdem es noch reichlich in den Tracheiden vorhanden war, nicht nach oben steigen, und die jungen Triebe fingen an zu welken.

Hartig berechnet, dass 31 Tage nach dem Einschneiden, zur Zeit, wo die Triebe zu welken anfingen, der Luftdruck in den Tracheiden des Splintes betrug:

In der Höhe von 2,6 m 0,385 des Atmosphärendruckes
» » » » 16,6 » 0,200 » »
» » » » 25,7 » 0,180 » »
» » » » 31,0 » 0,167 » »

Bei der Fichte, welche 72 Tage nach dem Einschneiden, als das Welken schon bedeutende Fortschritte gemacht hatte, gefällt wurde, zeigte die Untersuchung:

In der Höhe.	Wasser in pCt. der Lumina der Splinttracheiden.	Luftdruck innerhalb der Tracheiden, wenn der atmosphärische Druck = 1 gesetzt wird.
2,6 m	39,5	0,200
4,6 »	43,7	0,200
10,8 »	50,2	0,189
17,0 »	53,1	0,151
23,2 »	68,5	0,190

Hier ist der Luftdruck in den verschieden hoch liegenden Tracheiden nahezu ausgeglichen worden, und in dieser Druckausgleichung ist ohne jeden Zweifel der Grund zu suchen, weshalb, trotzdem dass die Tracheiden des Splintes noch so reichlich flüssiges Wasser enthielten, dasselbe, wie aus dem Welken der Sprossen zu schliessen ist, nicht mehr nach oben steigen konnte.

Aus dem Dargestellten ist zu ersehen, dass Hartig zwei für die Theorie der Wasserbewegung höchst wichtige Thatsachen festgestellt hat:

1. Dass während der durch Transpiration bewirkten Wasserbewegung der Luftdruck in den Holzelementen des Baumes nach oben abnimmt.
2. Dass diese Luftdruckdifferenzen in verschieden hoch liegenden Holzelementen eine nothwendige Bedingung der Wasserbewegung ausmachen: so dass, sobald sie ausgeglichen werden, die Wasserbewegung, ungeachtet dass in den Lumina der Holzelemente noch eine bedeutende Wassermenge vorhanden ist, still steht.

Da diese beiden Thatsachen von Böhm aus seiner Theorie als Forderungen derselben abgeleitet worden waren, so musste ihre experimentale Bestätigung der Theorie selbst sehr willkommen sein, und schien derselben eine kräftige Stütze geliefert zu haben. Auch hat Hartig die Theorie Böhm's mit geringen Mo-

dificationen angenommen und weiter entwickelt. Im Gegensatz zu Böhm unterscheidet Hartig genau und mit nöthigem Nachdrucke die Ursachen der Wasseraufnahme aus dem Boden von den Ursachen seiner Bewegung im Holze, und nur die letzte Erscheinung sucht er durch die Gasdruckdifferenzen in verschiedenen Höhen des Holzes zu erklären während er die erstere mit sonstigen Botanikern als einen durch osmotische Wirkungen der Epidermis- und Parenchymzellen der Wurzel bedingten Process auffasst. Dass die Böhm'sche Theorie der Wasseraufnahme mit den einfachsten physiologischen und anatomischen Thatsachen unvereinbar ist, hat Hartig nicht bemerkt, doch weist er diese Theorie namentlich aus diesem Grunde zurück, weil er sich überzeugt hat, dass die Wasseraufnahme aus dem Boden, wie das übrigens schon längst bekannt ist, im hohen Grade von der Bodentemperatur beeinflusst wird. Für diese Beeinflussung wäre kein Grund vorhanden, wenn die Wasseraufnahme nicht durch Osmose, sondern durch eine durch Druckdifferenzen hervorgerufene Saugung bewirkt werde.

Auch die Wasserbewegung in lebendigen Mesophyll- und Oberhautzellen des Blattes erklärt Hartig nicht, wie Böhm, durch Druckdifferenzen, sondern, wie die anderen Botaniker, durch die Wirkung der osmotischen Kräfte.

Endlich auch bezüglich der Wasserbewegung im Holze ist die Hartig'sche Erklärungsweise mit der Böhm'schen nicht ganz identisch. Wie wir gesehen haben, giebt Böhm die durch Transpiration entstandenen Druckdifferenzen in den übereinanderliegenden Holzelementen als alleinige Ursache der Wasserbewegung im Holze an. Nach Hartig bewirken diese Druckdifferenzen nur den Uebergang des Wassers durch die Tüpfelwand von einem Holzelement in das andere, die Hebung des Wassers innerhalb eines jeden Elementes bewirken aber nicht die Druckdifferenzen, sondern die Kapillarkräfte.

Da die Auseinandersetzungen Hartig's von ziemlich subtiler Natur sind, so will ich, bevor ich zu ihrer Kritik schreite, sie mit Hartig's eigenen Worten wiedergeben:

»Die Luft im Innern eines jeden Organes erscheint als eine rings vom Wasser umgebene Blase, welche auf das Wasser vermöge ihrer Spannkraft einen Druck ausübt, der nur dann wirkungslos bleibt, wenn in den Nachbarorganen die Luftblase den-

selben Gegendruck ausübt. Die in der Mitte verdickte Schliesshaut der Tüpfel bildet alsdann einen undurchlässigen Verschluss des Organes, sie lässt das Wasser nicht aus dem einen Organ in das tieferstehende oder höherstehende abfliessen. Diese Thatsache müssen wir ausdrücklich constatiren; denn Jedermann weiss, dass das liquide Wasser, welches die Lumina der Zellen grösstentheils erfüllt, nicht nach unten abfliesst, sondern im Holzkörper festgehalten wird, so lange die Luft im Innern der Organe nicht über die Tension der Atmosphäre hinaus verdichtet ist. Die bekanntlich von Th. Hartig zuerst constatirte Thatsache, dass eine geringe Schicht von Wasser, welches wir auf die obere Schnittfläche eines vollgesättigten Holzstückchens bringen, das sofortige Hervortreten einer gleichen Wassermenge am unteren Schnittende veranlasst, beweist ganz schlagend, dass schon ein äusserst geringer einseitiger Druck im Stande ist, die Filtration des Wassers auf weite Strecken hin zu veranlassen.

Es genügt also anerkanntermaassen ein minimaler Ueberdruck von einer Seite, um, sich fortpflanzend, die Filtration einer grossen Wassermenge von Organ zu Organ zu bewirken. Wir können uns dies so erklären, dass die zarte Schliesshaut der Holztüpfel, sobald die Luft in einem Organe auch nur um ein Minimum an Dichtigkeit zunimmt und einen einseitigen Druck auf dieselbe ausübt, in einer Weise ausgedehnt wird, dass sie nunmehr filtrationsfähig wird. In dem Moment, in dem so viel Wassertheilchen hindurchgepresst sind, dass das Nachbarorgan wieder unter dem gleichen Druck steht, wie das erstere, so dass die Schliesshaut ihre elastische Ausspannung wieder verliert, hört auch die Filtrationsfähigkeit des zarten Randes der Schliesshaut wieder auf. Innerhalb einer jeden Tracheide ordnet sich das eingepresste Wasser sofort nach den in ihr herrschenden Capillarkräften an; mit anderen Worten: die Luftdruckdifferenz zweier Nachbarorgane braucht nur so viel Kraft zu entwickeln, um Wassertheilchen durch die Schliesshaut der einen Zelle in die Nachbarzelle zu drücken; die Hebung dieser Wassertheilchen innerhalb jeder Tracheide ist nicht ihre Aufgabe, sondern erfolgt durch die in ihr zur Geltung kommenden Molekularkräfte. Es ist nicht die Aufgabe der Spannkraft der Luft, das Wasser im Baume von Organ zu Organ zu heben, in welchem Falle dasselbe in der That nicht über 10 Meter emporkommen könnte, sondern ihre Aufgabe be-

steht darin, die Schliesshaut der Tüpfel filtrationsfähig zu machen und Wassertheilchen aus einer Zelle in die Nachbarzelle zu pressen. Ich möchte deshalb auch den Ausdruck Luftdrucktheorie durch Gasdrucktheorie ersetzen, da unwillkürlich mit jenem Ausdruck die Idee verknüpft ist, als solle der atmosphärische Luftdruck das Wasser emporheben, wie das allerdings von Böhm und anderen Vertretern der sogenannten Luftdrucktheorie angenommen wurde«.

So viel Hartig. Wenn ich nun zur Kritik dieser mit Hartig's eigenen Worten dargestellten Theorie trete, so muss ich vor Allem bemerken, dass mir diese ganze Theorie auf einer falschen Interpretation des vielfach von den Botanikern citirten Versuches von Theodor Hartig zu fussen scheint. Aus der Thatsache, dass ein auf die obere Schnittfläche eines mit Wasser vollgesättigten Holzstückchens angebrachter Wassertropfen das sofortige Hervortreten eines Tropfens an der unteren Schnittfläche veranlasst, folgert Hartig, »dass schon ein äusserst geringer einseitiger Druck im Stande ist, die Filtration des Wassers auf weite Strecken hin zu veranlassen«. Hartig stellt sich offenbar vor, dass der von ihm erwiesene Ueberdruck in den Holzelementen der unteren Theile eines lebendigen Baumes ähnlich wie der Wassertropfen im Versuche von Th. Hartig wirkt, und dass jener Ueberdruck ganz wie dieser Wassertropfen die Filtration des Wassers gegen die Baumkrone veranlasst.

Hartig scheint hier aber vergessen zu haben, dass eine Filtration des Wassers nach unten etwas ganz anderes, als eine Wasserhebung nach oben ist. Das Hervortreten eines Wassertropfens am unteren Schnittende des Holzstückes im Versuche von Th. Hartig ist keineswegs eine Folge des geringen Druckes, welchen die auf der oberen Schnittfläche angebrachte Wasserschicht ausübt, sondern sie ist eine Folge der Druckwirkung der ganzen Wassersäule, welche im Holz enthalten ist. Wäre das in den Holzelementen enthaltene Wasser im Zustande eines wunderbaren Gleichgewichts, bei welchem ein minimaler Ueberdruck von einer Seite genügte, um die Filtration einer grossen Wassermenge auf weite Strecken hin zu veranlassen, so fragen wir, was müsste dann geschehen, wenn wir z. B. ein 1 m langes wasserreiches Tannenholzstück bis zu einer Höhe von 90 cm in Wasser tauchten. Auf die untere Schnittfläche dieses Holzstückes würde nun nicht

etwa die Last eines Wassertropfens, sondern die Last einer Wassersäule von 90 cm Höhe drücken. Und wenn schon die Last eines Wassertropfens das Hervortreten des Wassers aus der anderen Schnittfläche bewirken sollte, so würde ein Druck von einer 90 cm hohen Wassersäule nothwendig einen stürmischen Wasserausfluss aus der oberen Schnittfläche bewirken. Wären also die Folgerungen, welche R. Hartig aus dem Versuche von Th. Hartig zieht, richtig, so würde es hinreichen, ein wasserreiches Holzstück in Wasser zu stellen, um ein Perpetuum mobile in Form einer ewigen Fontaine zu erhalten.

Wie das Resultat des Versuches von Th. Hartig zu verstehen ist, wollen wir jetzt etwas näher beleuchten.

Denken wir uns eine beliebige, etwa 1 m lange mit Wasser gefüllte und an seinen beiden Enden mit dünnen Membranen geschlossene Glasröhre; denken wir uns weiter, dass die Schliessmembranen dieser Röhre sehr leicht für Wasser, aber sehr schwer für Luft permeabel sind. Wenn wir diese Glasröhre vertical halten, so ist es klar, dass, trotzdem die untere Schliessmembran im hohen Grade für Wasser filtrationsfähig ist, das Wasser aus der Röhre nicht ausfliessen wird, weil die Luft durch die obere Membran nicht in die Röhre gelangen kann. Bringen wir nun aber auf diese obere Membran einen Tropfen Wasser, so wird derselbe durch die Last der Wassersäule in die Röhre eingesogen und aus dem unteren Ende der Röhre wird ein gleich grosser Tropfen hervortreten. Denken wir uns die Röhre im Innern durch Quermembranen in mehrere übereinander liegende Zellen gefächert, so wird die Sache, wenn die Quermembranen dieselben Eigenschaften wie die Schliessmembranen haben, sich nur insofern ändern, als die Kräfte, welche die Verschiebung der Wassersäule in der Röhre bedingen, den Filtrationswiderstand dieser sämmtlichen Quermembranen zu überwinden haben werden.

Ein Stück Tannenholz im Experimente von Th. Hartig können wir uns als ein System capillarer Röhren denken, welche an sehr vielen Stellen mit Membranen von ganz solchen Eigenschaften, wie wir sie bei unserer Glasröhre vorausgesetzt haben, gefächert sind. Denn die übereinander liegenden Tracheiden sind an den Tüpfelstellen durch Membranen, welche sehr leicht für Wasser, aber sehr schwer für Luft permeabel sind, von einander getrennt. Aus einem solchen Holzstück kann selbstverständlich in Folge

der Impermeabilität der Tüpfelmembranen für Luft das Wasser aus dem unteren Ende so lange nicht ausfliessen, bis durch die obere Schnittfläche eine entsprechende Wassermenge zugeführt wird: sobald dies aber geschieht, müssen wir aus der unteren Schnittfläche Wassertropfen hervortreten sehen.

Aber auch wenn die Tüpfel an den Tracheiden des Tannenholzes offen wären, könnte das Resultat des Experimentes von Th. Hartig nicht anders ausfallen, als es thatsächlich ausfällt. Denn nach den Messungen von Sanio[1] für Pinus sylvestris beträgt der innere Durchmesser der Tracheiden durchschnittlich ungefähr 0,015 Mm. Nehmen wir wegen der Vereinfachung der Rechnung an, dass das Lumen der Tracheiden cylindrisch ist und dass der Contactwinkel zwischen Wasser und Holzzellwand 180° beträgt, so werden wir nach der Gleichung:

$$h = \frac{2K^2}{r} \cos b = \frac{15 \text{ mm}}{0{,}0075} 1 = 2000 \text{ Mm}$$

eine 2 Meter hohe Wassersäule für die capillare Kraft der Tracheiden erhalten. Denken wir uns nun ein mit Wasser vollgesättigtes 1 Meter langes Stück Tannenholzes in senkrechter Lage gehalten, so werden sich in den durchschnittenen Tracheiden, welche am oberen Ende des Holzstückes liegen, concave Menisken bilden, welche im Stande wären, einer 2 Meter hohen Wassersäule das Gleichgewicht zu halten; da wir aber nur ein 1 Meter langes Holzstück genommen haben, so ist es klar, dass das Wasser in den Tracheiden des Holzes durch die Wirkung dieser Menisken gehalten wird. Sobald wir aber einen Wassertropfen auf die obere Schnittfläche des Holzstückes bringen, werden die concaven Menisken in den durchschnittenen Tracheiden aufgehoben, ja sie werden durch einen leicht convexen Meniskus des Wassertropfens ersetzt; jetzt muss also das Wasser in den Tracheiden unter der Lastwirkung der ganzen 1 Meter hohen Wassersäule, welche noch durch den convexen Meniskus des Wassertropfens vergrössert wird, nach unten abfliessen und das Hervortreten eines Wassertropfens aus dem unteren Querschnitte des Holzstückes bewirken. Sobald nun wieder das oben aufgebrachte Wasser aufgesogen wird und in den Tracheiden der oberen Schnittfläche

[1] Sanio, »Ueber die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer«. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VIII, S. 401—420.

concave Menisken sich wieder bilden, muss die weitere Filtration des Wassers nach unten aufhören. Drehen wir nun unser Holzstück um 180°, so dass das untere Ende, an welchem der Wassertropfen mit convexem Meniskus haftet, nach oben und das obere mit mehreren concaven Menisken nach unten kommt, so ist selbstverständlich, dass der jetzt nach oben gekehrte Wassertropfen aufgesogen und an dem jetzigen unteren Ende des Holzstückes ein gleicher Wassertropfen hervortreten wird.

Fassen wir die Erklärung des Experimentes von Th. Hartig kurz zusammen, so sehen wir, dass, wenn wir aus einem 1 Meter langen wassergesättigten Stück des Tannenholzes bei senkrechter Stellung desselben kein Wasser abfliessen sehen, so ist das aus der Wirkung zweier Ursachen zu erklären:

1. Aus der Wirkung des atmosphärischen Druckes; denn sollte das Wasser aus den Tracheiden abfliessen, so müsste in den letzteren in Folge der Impermeabilität der Tüpfelwände für Luft ein Vacuum entstehen.
2. Aus der Wirkung der concaven Menisken in den durchschnittenen Tracheiden der oberen Schnittfläche.

Bringen wir nun auf die obere Schnittfläche des Holzstückes einen Wassertropfen, so muss eine Verschiebung der ganzen Wassersäule erfolgen, denn: 1. das Wasser dieses Tropfens tritt an die Stelle des abfliessenden Wassers in die Tracheiden ein, so dass ein Vacuum in den Tracheiden bei dem Abfliessen des Wassers sich nicht zu bilden braucht; 2. die concaven Wassermenisken in den oberen Tracheiden werden aufgehoben und durch einen leicht convexen Meniskus des Wassertropfens ersetzt.

Sobald aber der ganze Tropfen aufgesogen wird, muss das Abfliessen des Wassers aufhören, weil der atmosphärische Luftdruck und die in den Tracheiden wiedergebildeten Menisken diesen Abfluss verhindern.

Nehmen wir anstatt des Coniferenholzes ein Stück wassergesättigten Laubholzes, wo neben Tracheiden auch Gefässe vorhanden sind, so können wir uns zwei Möglichkeiten denken:

1. Die Gefässe enthalten neben Wasser auch Luftblasen, so dass in ihnen sich eine Jamin'sche Kette bildet. Diesen Fall können wir so betrachten, als ob das Gefäss aus mehreren übereinander liegenden Tracheiden gebildet wäre, nur müssen wir uns denken, dass die Rolle der Querwände hier die Luftblasen

übernehmen. Ist das Holz hinreichend mit Wasser gesättigt, so haben wir hier einen analogen Fall wie beim Tannenholze und die Ergebnisse des Th. Hartig'schen Versuches werden hier ganz ähnliche wie bei dem Tannenholze sein.

2. Die Gefässe sind vollständig mit Wasser gefüllt. In diesem Fall hemmt der atmosphärische Druck den Abfluss des Wassers aus den Gefässen nicht, und das Hervortreten des Wassers aus dem unteren Ende des Holzstückes oder das Ausbleiben dieses Hervortretens wird nur durch das Verhältniss zwischen der Länge des zum Experimente benutzten Sprossstückes und dem Durchmesser des weitesten Gefässes bedingt. Ist die Länge des Sprossstückes $> \frac{15\,\text{Mm}}{r}$, wo r den Radius des weitesten Gefässes darstellt, so wird das Wasser aus dem unteren Ende des Sprossstückes, auch ohne dass man auf die obere Schnittfläche Wasser bringt, hervortreten. Ist die Länge des Sprossstückes, welches man zum Experiment benutzt, $< \frac{15\ \text{Mm}}{r}$, so gestatten die Wassermenisken, welche sich in den Gefässen bilden, das Abfliessen des Wassers aus den Gefässen nicht; dieses Abfliessen wird aber sofort eintreten, sobald man durch Aufbringung eines Wassertropfens auf die obere Schnittfläche die Menisken in den Gefässen vernichtet. Dass in gewissen Fällen das Wasser aus dem unteren Ende eines abgeschnittenen Sprosses sofort nach dem Abschneiden ausfliesst, hat schon im Jahre 1865 Sachs am Weinstocke und an einigen exotischen Schlingpflanzen beobachtet [1].

Wir haben uns bei der Erklärung des Experimentes von Th. Hartig etwas länger aufgehalten, weil dieses Experiment, ohne es eigentlich verdient zu haben, von den Pflanzenphysiologen vielfach citirt und zu weitläufigen Folgerungen benutzt wurde.

Meiner Meinung nach beweist dieses Experiment nur, dass die Summe der Filtrationswiderstände sämmtlicher zu passirenden Tüpfelwände geringer ist, als der Druck einer der Länge des zum Experimente benutzten Sprossstückes gleich hohen Wassersäule.

Weiter folgt aus diesem Experimente, dass die Trennung der Tracheiden durch Tüpfelmembranen keineswegs die Continuität

[1] Sachs, »Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen«. S. 212.

des Druckes der Wassersäule in den Tracheiden und Gefässen aufhebt.

Somit sehen wir, dass das Experiment von Th. Hartig nicht nur keine Stütze für die Theorien von Böhm und R. Hartig bilden kann, sondern dass es bei richtiger Interpretation sogar ihre Unzulässigkeit nachzuweisen im Stande ist.

Mit der Erklärung des Versuches von Th. Hartig fällt der Hauptbeweis für die Richtigkeit der Hartig'schen Theorie hinweg, und schon aus diesem Grunde könnten wir diese Theorie als unbegründet betrachten; doch wollen wir sie noch etwas näher zu beleuchten versuchen.

Um seine Theorie zu veranschaulichen, giebt auch Hartig ein Schema, welches mit dem Böhm'schen nicht viel differirt. Als Substrat für unsere Kritik wollen wir das Schema, welches Hartig auf der Seite 7 seiner neuesten Publikation[1] gegeben hat, nehmen. Die Zellen unten bei *a* in der Hartig'schen Figur stellen die Wurzelparenchymzellen dar. Diese Zellen pressen das aus dem Boden aufgenommene Wasser in das Schraubengefäss hinein. Von diesem Schraubengefässe gelangt dann das Wasser weiter in die Tracheiden. Die Zellen bei *c* sollen die transpirirenden Mesophyllzellen des Blattes darstellen. Nachdem diese Zellen eine gewisse Menge Wasser durch Transpiration verloren haben, fangen sie an, durch osmotische Saugung dem angrenzenden Gefässe und mittelbar den weiter nach unten liegenden Tracheiden das Wasser zu entziehen. Auf diese Weise wird die Luft in Folge der Transpiration in den oberen Tracheiden mehr als in den unteren verdünnt. Diese Verdünnung — oder anders Druckunterschied — bewirkt eine Filtration des Wassers durch Tüpfelwände aus einer Tracheide in die andere. Das Steigen des Wassers innerhalb einer jeden Tracheide wird Hartig's Meinung nach nicht mehr durch Druckunterschied, sondern durch Capillarität bewirkt. Wie aber diese Capillarität wirken soll, ist schwer einzusehen. In seinem Schema bildet Hartig in der Mitte einer jeden Tracheide eine Luftblase ab, welche durch zwei einander entgegengesetzte, also auch entgegenwirkende Wassermenisken begrenzt ist. Wie diese sich in der Wirkung gegenseitig aufhebenden Menisken das Steigen des Wassers bewirken sollen, ist

[1] Gasdrucktheorie und die Sachs'sche Imbibitionstheorie, Berlin 1883.

mir unverständlich. Mir scheint, dass, wenn die Druckdifferenzen gerade nur hinreichten, um die Tüpfelmembranen filtrationsfähig zu machen, so könnte das Wasser in Folge der Capillarität im Coniferenholze nicht höher als (entsprechend dem Durchmesser der Tracheiden, welcher 0,015 Mm beträgt) bis zu 2 Meter sich erheben. Aber auch angenommen, dass die als Druckdifferenzen sich äussernde Energie, ohne sich auf Ueberwindung des Filtrationswiderstandes der Tüpfelmembranen zu verbrauchen, mit der Capillarkraft der Tracheiden zusammengenommen sich vollständig zur Hebung des Wassers im Holzkörper verwendet, könnte diese Hebung, falls die zur Wirkung gelangende Druckdifferenz eine ganze Atmosphäre betrüge, eine Höhe von $10 + 2 = 12$ Meter nicht übersteigen. Somit kann die saugende Wirkung der Transpiration auch sammt den Capillarkräften in den Tracheiden keineswegs hinreichen, um das Wasser bis zur Laubkrone hoher Bäume emporzuheben.

Aber vielleicht haben wir in unseren Auseinandersetzungen irgend einen Fehler begangen, vielleicht haben wir die Gedanken Hartig's nicht richtig verstanden; um also jeden Zweifel über die Berechtigung unserer Kritik zu beseitigen, versuchen wir der Hartig'schen Theorie gegenüber dieselbe Methode der Kritik anzuwenden, welche uns bereits über die Unzulässigkeit der Böhm'schen Theorie überzeugt hat. Denken wir uns ein 13 Meter hohes System, welches nach dem Hartig'schen Schema gebaut ist. Denken wir uns, dass der untere Theil dieses Systems, anstatt mit den Wurzelparenchymzellen bei *a* umgeben zu sein, in ein Wasserreservoir taucht. Das Wasser in diesem Reservoir möge unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Druck stehen. Denken wir uns weiter, dass der obere Theil des Systems anstatt bei *c* mit transpirirenden Mesophyllzellen umgeben zu sein, in einem luftdicht geschlossenen mit Wasser gefüllten Cylinder steckt und dass im Boden dieses Cylinders eine 13 Meter lange Glasröhre befestigt ist, deren Ende in das Wasser des Reservoirs bei *a* taucht.

Bei einer solchen Einrichtung ist es klar, dass das Wasser aus dem Cylinder bei *c* durch die in ihm befestigte Glasröhre in das Reservoir bei *a* abfliessen wird und nur bei einer Höhe von 10 Meter $+ h$ wird es sich in der Röhre halten (*h* bedeutet die capillare Steighöhe der Röhre). Im Cylinder bei *c* und in dem

obersten Theile der Glasröhre wird sich ein Vacuum bilden. Unter diesen Bedingungen wird sich in dem Hartig'schen System nichts zum Nachtheil des Wassersteigens ändern. Die Capillarität der Tracheiden ist dieselbe wie früher geblieben, die Druckdifferenz zwischen dem unteren und oberen Theile des Systems beträgt eine ganze Atmosphäre, die Wasserbewegung müsste also der Hartig'schen Theorie zufolge vor sich gehen. Da aber das aus dem Gefässe bei *c* in den Cylinder austretende Wasser durch die Röhre in das Reservoir bei *a* abfliessen muss, um dann wieder in das System zu steigen, so hätten wir wieder ein Perpetuum mobile vor uns.

Es unterliegt also keinem Zweifel, dass, sobald man die Hartig'sche Theorie für die Erklärung der Wasserbewegung in hohen Bäumen anwenden will, man mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie in unvermeidlichen Widerspruch gelangt, folglich kann diese Theorie für diese Fälle nicht richtig sein.

II.

Aus der kritischen Sichtung der bisherigen Theorien der Wasserbewegung sehen wir, dass weder die Sachs'sche Imbibitionstheorie, noch die Böhm'sche Luftdrucktheorie, noch die Hartig'sche Gasdrucktheorie im Stande ist, das Wassersteigen in irgend einem hohen Baume zu erklären

Auf das Gesetz der Erhaltung der Energie gestützt, können wir sogar ganz bestimmt voraussagen, dass jede Theorie welche ausser dem Wurzeldruck, der Transpirationssaugung und der Capillarität der Holzelemente keine anderen Kräfte für die Erklärung der Wasserbewegung in den Bäumen voraussetzt, verfehlt sein muss. Denn da der Wurzeldruck während einer starken Transpiration oft sogar negativ ist, da die Transpiration höchstens eine Saugung von weniger als 1 Atmosphäre bewirken kann, da die Capillarität dem Durchmesser der Gefässe und Tracheiden entsprechend höchstens 2 oder 3 Meter hoch Wasser heben kann, so reichen diese sämmtlichen Kräfte, um das Wasser bis zur Baumkrone hoher Bäume emporzuheben, nicht hin. Daraus ist aber der weitere Schluss zu ziehen, dass, wenn das Holz der Bäume aus lauter todten Elementen, d. h. nur aus Gefässen und Tracheiden bestände und wenn mit der Transpirationssaugung kein

positiver Wurzeldruck mitwirkte, so könnten die Bäume höchstens eine Höhe von circa 10—12 Meter erreichen. Wenn factisch viele Bäume über 50 Meter hoch sind, so ist das nur dadurch möglich, dass ihr Holzgewebe nicht nur aus todten Elementen, sondern auch aus lebendigen, Protoplasma enthaltenden Zellen besteht.

Ich zweifle nicht im geringsten, dass die Markstrahlzellen, das Holzparenchym und sonstige Protoplasma enthaltende zellige Elemente des Holzes nicht nur dazu bestimmt sind, um den während der Vegetationsperiode gebildeten Ueberschuss an organischer Substanz für die nächste Vegetationsperiode zu überwintern, sondern dass ihre Hauptaufgabe in der Lieferung der für das Auftreiben des Wassers nöthigen Kräfte besteht.

Es giebt ja keinen einzigen Versuch in der Literatur, welcher die Betheiligung der Markstrahlzellen und des Holzparenchyms bei der Wasserbewegung ausschlösse. Der Ringschnittversuch, welcher den Hauptbeweis für den Satz, dass das Wasser sich im Holzkörper bewegt, bildet, entscheidet ja über den Antheil der einzelnen Elemente der Holzgewebe bei der Wasserbewegung gar nichts, und kein Phytotom wäre im Stande, einen Baum zu nennen, dessen Holzkörper ausschliesslich aus Gefässen und Tracheiden bestände und bei welchem man sowohl die Markstrahlen wie das Holzparenchym im Holzgewebe vermisse. Somit sind wir vollkommen berechtigt, sobald es nöthig erscheint, den Markstrahlen und den anderen zelligen Elementen des Holzes bei der Wasserbewegung auch eine gewisse Rolle zuzuschreiben.

Dass die Annahme einer Mitwirkung der Markstrahlen und des Holzparenchyms bei der Wasserbewegung eine logische Nothwendigkeit ist, haben wir schon gesehen: es bleibt also nur zu entscheiden, wie wir uns diese Mitwirkung denken sollen.

Im Allgemeinen stellen wir uns diese Wirkung so vor, dass die Markstrahlzellen auf osmotischem Wege das Wasser aus den Gefässen und Tracheiden aufnehmen und indem sie es wieder ausstossen, pressen sie es in die höher liegenden Gefässe und Tracheiden hinein, wo es wieder durch andere Markstrahl- und Holzparenchymzellen aufgenommen und dann weiter gepresst wird, und so immer höher, bis zu den transpirirenden Blättern.

Auf diese Weise können wir die Markstrahl- und Parenchymzellen als Saugdruckpumpen betrachten, welche das Wasser in

den Tracheiden und Gefässen bis zu den Baumgipfeln aufwärts treiben.

Ich will nicht im mindesten bestreiten, dass, sobald wir uns bei dieser Vorstellungsweise mehr in Einzelheiten hineinzudenken versuchen, wir auf nicht unbedeutende Schwierigkeiten stossen, die aber denen, mit welchen wir auch bei der Erklärung des Wurzeldruckes zu kämpfen haben, ganz ähnlich sind. Möge man sich, wie man will, die Vorgänge bei den Erscheinungen des Wurzeldruckes denken, so unterliegt doch keinem Zweifel, dass das von den Wurzelhaaren und Wurzelepidermiszellen aufgenommene Wasser, nachdem es durch die Rindenparenchymzellen durchgegangen ist, von diesen in die Gefässe und Tracheiden des centralen Cylinders hineingepresst wird, und dass dieses Hineinpressen oft mit einer Kraft erfolgt, welche einen bedeutenden Widerstand zu überwinden vermag. Bekanntlich sind es die jungen noch mit Haaren bedeckten Wurzeltheile, welche vorwiegend, wenn nicht ausschliesslich, das Wasser direct aus dem Boden aufnehmen; die älteren Theile leiten das von den jüngeren aufgenommene Wasser in der Richtung des Stengels hin. Dem ungeachtet haben schon viele Botaniker die Meinung ausgesprochen, dass nicht nur ganz junge Wurzeltheile, sondern auch die älteren bei der Entwickelung des Wurzeldruckes activ betheiligt sind.

Schon Hofmeister nimmt die Betheiligung der Markstrahlen an der Entstehung des Wurzeldruckes an. Er sagt nämlich: »Der von den saugenden Theilen der Wurzel aufwärts getriebene Saft trifft überall im Holzkörper auf Gewebe (Markstrahlen), denen ähnlich, welche sein Aufsteigen einleiten und deren Berührung unmittelbar seine Spannung steigern muss«. Und an einem anderen Orte: »Stark thränende Pflanzen sind vorzugsweise reich an Inhaltsstoffen von Zellen des Holzkörpers« [1].

Russow[2] schliesst aus den an den Markstrahl- und Holzparenchymzellen einseitig ausgebildeten Hoftüpfeln, dass der Wurzeldruck nicht in dem Rindenparenchym, sondern in dem Holzparenchym entsteht.

Carl Kraus sucht in einer umfangreichen Arbeit über Wurzeldruck durch mehrere Versuche zu beweisen, dass nicht nur die

[1] Citirt von C. Kraus: Forschungen für Agriculturphysik, Bd. V, S. 445.
[2] Russow, Bot. Centralbl., Bd. XIII, S. 144.

jüngsten, sondern auch die älteren Wurzeltheile bei der Entwickelung des Wurzeldruckes betheiligt sind. Dieser Forscher steckte z. B. ältere Wurzelstücke von Asparagus, Iris, Helianthus, nachdem von ihnen die jungen Theile und sämmtliche Nebenwurzeln entfernt waren, in feuchten Sand und sah nach einiger Zeit Wassertropfen aus dem Querschnitt der Wurzel hervortreten. Wenn also in den älteren das Wasser kaum aufnehmenden, sondern nur leitenden Wurzeltheilen ein Druck entwickelt wird, so ist kein Grund vorhanden, die Entstehung eines solchen Druckes in dem Holz des Stammes zu bestreiten.

Wenn schon ältere Botaniker, wie Hofmeister, den Markstrahlen der Wurzeln eine gewisse Rolle bei der Entstehung des Wurzeldruckes zugeschrieben haben, warum sollte man nicht den Markstrahlen der Stämme, welche ganz ähnlich wie jene in den Wurzeln gebaut sind, nicht dieselbe Wirkung zuschreiben?

Zwar kommt es öfters vor, dass aus der Wundfläche des Stockes gefällter Bäume kein Wasser ausfliesst, doch beweisen solche Fälle die Unwirksamkeit der Markstrahlen nicht, sondern lassen nur schliessen, dass der Druck, welcher in solchen Fällen entwickelt wird, nicht gross genug ist, um den atmosphärischen Druck zu überwinden und das Wasser durch die Gefässe und Tracheiden bis zur Wundfläche des Stockes hindurchzupressen. Andererseits wissen wir, dass in vielen Fällen die Stöcke gefällter Bäume lange Zeit hindurch Saft ausfliessen lassen, auch wissen wir, dass an manchen Bäumen im Frühling auch aus einem in einer grösseren Höhe am Stamme angebrachten Einschnitte Saft reichlich ausfliesst.

Es ist schon von vornherein unwahrscheinlich, dass dieser Saftausfluss ohne Betheiligung der lebendigen Zellen des Holzes einfach in Folge des Wurzeldruckes und der Ausdehnung der Gase von der Erwärmung bewirkt werde, und wenn wir bei einem Baum die Mitwirkung der Markstrahlen und des Holzparenchyms bei der Wasserbewegung annehmen, so ist nicht einzusehen, weshalb bei einem anderen Baume, wo die Markstrahlen ganz ähnlich gebaut sind, diese Mitwirkung ausbleiben sollte. Die Differenzen, welchen wir bei den Blutungserscheinungen verschiedener Bäume begegnen, können unmöglich in den qualitativen, sondern in den quantitativen Verschiedenheiten bei der Thätigkeit der Holzgewebe verschiedener Bäume ihren Grund haben.

Auch haben schon viele Botaniker die Ansicht ausgesprochen, dass im Stamme Druckkräfte entwickelt werden.

In einer umfangreichen, speciell auf diesen Gegenstand gerichteten Arbeit beschreibt Pitra zahlreiche Versuche, in welchen er einen Saftausfluss aus den Querschnitten der abgeschnittenen und in Wasser gestellten Sprossstücke constatirt hat. Dieser Saftausfluss begann manchmal schon nach 20 Stunden, manchmal aber erst nach einigen Wochen. Böhm bestreitet die Stichhaltigkeit der Pitra'schen Versuche, indem er behauptet, dass bei diesen Versuchen das Wasser vorerst in Folge der geringen Tension der in den Holzelementen enthaltenen Luft in dieselben eingesogen wurde, um dann durch die, theils durch intramoleculare Athmung theils durch Buttersäuregährung entwickelten Gase durch die Schnittfläche nach aussen ausgestossen zu werden. Man kann diesen Einwänden von Böhm eine gewisse Berechtigung nicht absprechen, doch finde ich in seinen Auseinandersetzungen kein Argument, welches den Antheil der osmotischen Kräfte an den Resultaten der Pitra'schen Versuche ausschlösse. Ganz besonders ist die Mitwirkung osmotischer Kräfte in diesen Fällen wahrscheinlich, wo der Saftausfluss aus der Schnittfläche bereits nach 20 Stunden begann, da zu dieser Zeit die Buttersäuregährung sicher noch nicht angefangen hat.

Pfeffer[1] in seiner Pflanzenphysiologie vermeidet sogar absichtlich den Ausdruck Wurzeldruck und gebraucht statt dessen den Ausdruck Blutungsdruck, weil er ganz richtig bemerkt, dass die Wurzeln keineswegs die einzigen Organe sind, welche den Blutungsdruck entwickeln.

Sachs in seinem neuesten Lehrbuch[2] nimmt auch die Möglichkeit der Entstehung des osmotischen Druckes in den oberirdischen Pflanzentheilen an und erwähnt einen Versuch, wo abgeschnittene junge Halmstücke mit dem basalen Ende in nassen Sand gesteckt und vor der Verdunstung geschützt, an der oberen Schnittfläche Wassertropfen hervorquellen liessen.

Carl Kraus[3] beschreibt Versuche, wo er tangentiale Schnittflächen aus jungem Holz herstellte. Diese Sprossstücke wurden

[1] Pfeffer. Pflanzenphysiologie, Leipzig 1882. S. 154.

[2] Sachs. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, Leipzig 1882, S. 330.

[3] Carl Kraus: »Die Saftleitung der Wurzeln, besonders ihrer jungen Theile«. Forschungen für Agriculturphys., Bd. V, S. 448.

mit der Längsachse horizontal in nassen Sand gelegt, und nun konnte Ausscheidung von Safttropfen auf der Tangentialfläche beobachtet werden, manchmal deutlich aus den Markstrahlen.

Russow nimmt, wie wir gesehen haben, an, dass der Wurzeldruck nicht in dem Rindenparenchym, sondern im Holzparenchym entsteht und folgert consequent weiter: »Da Stammholz und Wurzelholz durchaus übereinstimmend gebaut sind, so ist zu erwarten, dass auch im Stammholz Druckkräfte entwickelt werden, falls der Wurzeldruck in dem Holzkörper der Wurzel entsteht«[1]; und einige Zeilen weiter: »In Hinblick auf das übereinstimmende Auftreten von Gefässen oder gefässartigen Elementen und das an diese angrenzende Parenchym in dem primären wie secundären Xylem sämmtlicher Leitbündelzellen steht zu erwarten, dass man Druckkräfte überall im Holzkörper finden muss«.

Wir sehen also, dass schon manche Botaniker aus anderen Gründen das annahmen, was wir für die Erklärung der Wasserbewegung anzunehmen durch logische Nothwendigkeit uns gezwungen sahen.

Eben diese Thatsache, dass viele Forscher, ohne die Wichtigkeit und die Nothwendigkeit der Wirkung der lebendigen Holzzellen für die Wasserbewegung richtig erkannt zu haben, doch diese Wirkung annahmen, bekräftigt unsere Anschauungen am meisten. Wenn z. B. Russow, auf dem Standpunkte der Böhm'schen Theorie gestellt, doch die Mitwirkung der Markstrahlen und des Holzparenchyms bei der Wasserbewegung annahm, so ist nicht zu zweifeln, dass er auf diese Wirkung das Hauptgewicht gelegt haben würde, wenn er den Widerspruch, in welchem die Böhm'sche Theorie mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie steht, bemerkt hätte. Dass Russow von unserem Standpunkte nur sehr wenig entfernt war, beweisen seine folgenden Worte: »Fassen wir schliesslich die Ergebnisse vorstehender Untersuchungen kurz zusammen, so gewinnen wir die Vorstellung, dass die Gefässe und Tracheiden nichts anderes als Pumpen sind, die je nach Umständen saugend oder drückend das Wasser im Holzkörper von den Wurzeln bis zu den Blättern heben[2]«.

[1] Russow. Bot. Centralbl., Bd. XIII, S. 168.
[2] Bot. Centrabl., Bd. XIII, S. 170.

Nachdem wir auf diese Weise die Berechtigung unserer Theorie im Allgemeinen begründet haben, werden wir nun versuchen, etwas näher auf die Einzelheiten einzugehen.

Die nächste Schwierigkeit, welche wir zu überwinden haben, bietet das Verständniss, auf welche Art und Weise das aus den Gefässen und Tracheiden von den Parenchymzellen durch osmotische Kräfte aufgenommene Wasser aus diesen Zellen wieder in die trachealen Elemente hineingepresst werden kann. Wenn wir uns auf analoge und feststehende Processe in dem Wurzelkörper berufen, so beseitigt das die Schwierigkeit der Erklärung dieses Processes so lange nicht, als wir nicht eine hinreichende Erklärung des Wurzeldruckes besitzen. Die Erklärung des Wurzeldruckes ist also für unsere Theorie der Wasserbewegung von hervorragendster Wichtigkeit und deswegen müssen wir uns zunächst der Betrachtung der Theorie des Wurzeldrucks zuwenden.

Dass der Wurzeldruck dadurch entsteht, dass das von den Epidermis- und Parenchymzellen aus dem Boden aufgenommene Wasser in die trachealen Elemente des centralen Cylinders hineingepresst wird, weiss ein jeder Botaniker: wie aber dieser Process zu erklären ist, darüber sind unsere Kenntnisse noch sehr mangelhaft.

Sachs setzt bekanntlich nach dem Vorgange Hofmeister's, um den Wurzeldruck zu erklären, voraus, dass die Wände der Zellen, welche das Wasser in die Gefässe hineinpressen, oder richtiger das Protoplasma, welches diese Wände auskleidet, nicht nach allen Seiten gleichgebaut ist. Nach aussen, wo diese Zellen an andere wasserzuleitende Parenchymzellen angrenzen, sind ihre Wände zwar für osmotisch aufgenommenes Wasser durchdringbar, dafür aber bieten sie einen hohen Filtrationswiderstand dar; nach innen, wo sie die Gefässe berühren, sollen die Wände im höheren Grade filtrationsfähig sein. Sachs denkt sich nun, dass, wenn bei einem solchen Bau das durch die äussere Wand osmotisch aufgenommene Wasser eine Turgorvergrösserung in der Zelle hervorruft, diese Turgorvergrösserung eine Durchpressung des Wassers am Orte des kleinsten Filtrationswiderstandes, also nach der gemachten Voraussetzung an der Stelle, wo die Zelle an das Gefäss angrenzt, bewirkt. Auf diese Weise soll das, von aussen aus dem Boden aufgenommene Wasser, nach innen in die Ge-

fässe und Tracheiden des centralen Cylinders hineingepresst werden, um die bekannten Erscheinungen des Wurzeldruckes zu bewirken.

Um diese Theorie mit einem Experimente zu erläutern und zu bekräftigen, construirte Sachs ebenfalls nach dem Vorgange Hofmeister's einen Apparat, welcher den Wurzeldruck nachahmen sollte. Dieser einfache Apparat, welcher sowohl im Handbuch von 1865, wie auch in dem neuesten Lehrbuch[1] des berühmten Physiologen beschrieben und abgebildet ist, ist einem jeden Botaniker bekannt. Es ist eine künstliche mit osmotisch wirkender Flüssigkeit gefüllte Glaszelle, deren äussere Wand aus doppelter, die innere aus einfacher Schweinsblase besteht. Auf der inneren Seite der Zelle ist mittelst einer Kautschukkappe ein Steigrohr, welches das Gefäss representiren soll, angebracht. Legt man nun diesen Apparat in ein mit Wasser gefülltes Gefäss, so wird das Wasser durch die äussere doppelte Haut in die Zelle aufgenommen und es wird, sobald die Turgescenz der Zelle einen hinreichend hohen Grad erreicht hat, die Flüssigkeit aus der Zelle durch die innere einfache Haut, welche einen kleineren Filtrationswiderstand darbietet, in das Steigrohr hinausfiltrirt. »So unvollkommen dieser Apparat ist«, sagt Sachs, »jedenfalls erläutert er den Grundgedanken, auf welchem unsere Vorstellung von dem Wesen des Wurzeldruckes beruht, und in den 16 Jahren, welche seit meiner genannten Publication verstrichen sind, ist jedenfalls nichts Besseres an die Stelle gesetzt worden«.

Dieser Theorie meines hochverehrten Lehrers kann ich nicht beistimmen. Die Analogie zwischen den Erscheinungen, welche an dem Sachs'schen Apparate zu beobachten sind, und dem Wurzeldruck wäre nur dann anzunehmen, wenn die in dem Steigrohr des Apparates sich sammelnde Flüssigkeit reines Wasser oder wenigstens eine viel verdünntere Lösung als die Zellflüssigkeit wäre, oder wenn der aus den Stümpfen abgeschnittener Pflanzen ausfliessende Saft eine dem Parenchymzellsaft nahezu gleiche Concentration hätte. Nun ist aber weder das eine noch das andere der Fall. Die Construction eines osmotischen Apparates, welcher das auf einer Seite aufgenommene Wasser auf die andere Seite ausstösse, ist nach dem Princip der Erhaltung der Energie

[1] Sachs. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 330.

unmöglich, da ja, wie schon Adolf Mayer[1] richtig bemerkt hatte, ein solcher Apparat einem Perpetuum mobile gleich käme. Der osmotische Druck (Turgescenz), welcher sich in einer natürlichen oder künstlichen Zelle entwickelt, ist ein Resultat der Anziehungskräfte der Zellinhaltsstoffe an Wasser. Soll das in Folge dieser Anziehung aufgenommene Wasser wieder nach aussen ausgestossen werden, so sind nicht nur zur Ueberwindung des Filtrationswiderstandes der Zellwand, sondern auch zur Trennung des Wassers von den in ihm gelösten Stoffen Kräfte erforderlich.

In dem Sachs'schen Apparate, wie ich mich durch einen unmittelbaren Versuch überzeugt habe, wird in das Steigrohr nicht Wasser, sondern dieselbe Flüssigkeit, welche in der Zelle selbst enthalten ist, durchgepresst: hier wird also die als Druckkraft sich äussernde Energie, ohne sich zur Trennung des Wassers zu verbrauchen, gänzlich zur Ueberwindung des Filtrationswiderstandes der Zellhaut verwendet und in Folge dessen kann sie sogar hinreichen, um einen gewissen hydrostatischen Druck zu entwickeln. Anders bei den Wurzeln: hier ist der aus den Gefässen und Tracheiden ausfliessende Saft zwar kein reines Wasser, aber oft eine so verdünnte Lösung, dass sie mit der Concentration des Saftes der sie ausscheidenden Parenchymzellen in gar keinen Vergleich gestellt werden kann.

So haben die Analysen von Ulbricht[2] gezeigt, dass der aus den Stümpfen der Kartoffelpflanze ausfliessende Saft am Anfang 0,161 pCt., am Ende 0,124 pCt. an Trockensubstanz enthielt. Der Saft aus den Stümpfen von Helianthus enthielt in der ersten Portion 0,303 pCt., in der letzten 0,081 pCt. an Trockensubstanz.

Was die Concentration der Wurzelparenchymzellen anbetrifft, so ist zu bemerken, dass de Vries[3] noch in einer Salpeterlösung von 2 pCt das Wachsthum der Maiswurzeln constatiren konnte. Da aber das Wachsthum einen gewissen Turgor der wachsenden Zellen voraussetzt, so ist zu schliessen, dass der osmotische Sal-

[1] Adolf Mayer. Lehrbuch der Agriculturchemie. Heidelberg 1871, S. 332.

[2] Ulbricht. Ein Beitrag zur Kenntniss der Blutungssäfte einjähriger Pflanzen. Landw. Versuchsst., Bd. VI, S. 468.

[3] de Vries. »Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung«. Leipzig 1877, S. 57.

peterwerth[1] der Wurzelparenchymzellen wenigstens 0,20 pCt. betragen muss. Demzufolge werden wir nicht zu hoch greifen, wenn wir die Concentration des Zellsaftes in den Wurzelparenchymzellen auf 2,5 bis 3 pCt. Trockensubstanz schätzen werden. Dass diese Zahl nicht zu hoch angegeben ist, beweisen auch die zahlreichen von de Vries ausgeführten Analysen der ausgepressten Pflanzensäfte. In der von de Vries zusammengestellten Tabelle schwanken nämlich die Zahlen, welche die Concentrationen der Zellsäfte von verschiedenen Pflanzen ausdrücken, zwischen 1,6 pCt. und 9 pCt. Angenommen, dass der Zellsaft der Wurzelparenchymzellen nur 2 pCt. an Trockensubstanz enthält, so ist leicht einzusehen, dass eine nicht unbedeutende Menge Energie dazu erforderlich ist, um aus einer solchen Lösung eine so verdünnte Flüssigkeit, wie wir sie aus den Gefässen der Stümpfe abgeschnittener Pflanzen ausfliessen sehen, abzuscheiden; wenn wir aber noch ausserdem bedenken, dass die hier wirkenden Kräfte nicht nur die Scheidung einer verdünnteren von einer concentrirteren Lösung zu bewirken haben, sondern, dass sie noch den Filtrationswiderstand der mit Protoplasma ausgelegten Zellwände überwinden müssen und dabei noch einen sehr namhaften als Wurzeldruck sich äussernden hydrostatischen Druck zu entwickeln vermögen, so können wir mit aller Sicherheit folgern, dass der osmotische Turgor allein zu diesen Processen nicht hinreichen konnte und dass also eine unmittelbare Mitwirkung des lebendigen Protoplasmas dabei anzunehmen ist. Die Nothwendigkeit der Annahme dieser Mitwirkung wird um so dringender erscheinen, wenn wir die Betheiligung der Markstrahlen und des Holzparenchyms der Wurzelkörper an den Erscheinungen des Wurzeldruckes annehmen wollen. Denn es liegt auf der Hand, dass wir uns den Einfluss der Markstrahlen und des Holzparenchyms auf den Wurzeldruck nicht anders denken können, als dass wir annehmen, dass diese lebendigen Holzzellen das Wasser aus den trachealen Elementen der Wurzeln aufnehmen, um es dann wieder mit einer gewissen Kraft in diese Elemente hineinzupressen. Sollte nun dieser Saftaustausch einzig und allein auf osmotischem Wege ohne Mitwirkung der Lebensenergie des Protoplasmas vor sich gehen,

[1] de Vries. »Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft«. Jahrb. für wiss. Bot., Bd. XIV, S. 430.

so würde die Concentration dieses Saftes, laut dem Princip der Erhaltung der Energie, nach jedem Durchgange durch lebendige Zellen sich bedeutend steigern müssen, und wenn nicht sofort nach dem ersten Durchgange, so wenigstens sehr bald, müsste sie der Concentration des Zellsaftes dieser Zellen gleich werden, womit jede weiteren osmotischen Wirkungen aufhören müssten.

Um dieser Schwierigkeit, welche die Sachs'sche Theorie nicht zu überwinden vermag, entgegenzukommen, und um zu erklären, wie es möglich ist, dass der aus den Gefässen ausfliessende Saft im Vergleich mit dem Zellsafte der Zellen, welche ihn ausscheiden, eine so geringe Concentration hat, bleibt nichts anderes übrig, als eine Betheiligung der bei der Athmung freiwerdenden Kräfte bei dieser Saftausscheidung anzunehmen. Diese Kräfte mit dem durch osmotische Wirkung entstandenen Turgor zusammengenommen werden nun vollständig hinreichen können, nicht nur den Filtrationswiderstand des Protoplasmas und der Zellwände zu überwinden, sondern auch die Trennung des Zellsaftes in einen concentrirteren Theil, welcher in der Zelle zurückbleit, und in einen verdünnteren, welcher nach aussen ausgestossen wird, zu bewirken; sie werden ausserdem noch dazu hinreichen können, um einen hydrostatischen Druck, der sich als sog. Wurzeldruck äussert, zu entwickeln.

Auf welche Weise die durch die Athmung frei werdenden Kräfte ihre Wirkung bei dem uns beschäftigenden Processe ausüben, ist nicht mit Sicherheit zu sagen, doch ist es nicht zu schwer, sich mit Hilfe gewisser Hypothesen eine Vorstellung über die Wirkungsweise dieser Kräfte zu bilden.

Nimmt eine Zelle in Folge der osmotischen Wirkung ihrer Inhaltsstoffe Wasser von aussen auf, so entwickelt sich in ihr ein gewisser Turgor, d. h eine Spannung zwischen dem hydrostatischen Druck des Zellsaftes und der Elasticität der Zellhaut. Ist der Zelle das Wasser dargeboten, so dauert die Wasseraufnahme so lange fort, bis die Anziehung der Inhaltsstoffe an Wasser mit der elastischen Spannung der Zellhaut das Gleichgewicht halten. Nennen wir die Spannung der Zellhaut S und die Anziehuug der Inhaltsstoffe an Wasser a, so ist beim Gleichgewichtszustand $S = a$. So lange $S < a$, wird die Wasseraufnahme fortdauern. Nur wenn $S > a$, kann das Wasser aus der Zelle nach aussen ausgeschieden werden.

Unter diesen Bedingungen kann das einmal von der Zelle aufgenommene Wasser aus derselben als solches oder als eine von dem Zellsafte verdünntere Lösung nur dadurch nach aussen ausgeschieden werden, dass entweder S vergrössert oder a vermindert wird. Daraus ist nun zu folgern, dass die Ausscheidung des Wassers aus den osmotisch wirkenden Zellen in die Gefässe der Wurzel unter der Wirkung der durch Athmung frei werdenden Kräfte auf doppelte Weise zu Stande kommen könnte: entweder durch Vergrösserung der Kraft, welche den Zellsaft auszupressen strebt, oder durch Verminderung der Kraft, mit welcher das Wasser in der Zelle festgehalten wird, d. h. durch Verminderung der Anziehung der Inhaltsstoffe an Wasser. Nur durch die Annahme eines periodischen Eintretens einer dieser Möglichkeiten sind wir im Stande, die Entstehung des Wurzeldruckes zu erklären. Wir wollen diese Erklärung auf beiden Wegen versuchen.

1. Denken wir uns eine Parenchymzelle, welche auf einer Seite vermittelst anderer ähnlicher Zellen mit dem Wasser des Bodens in Verbindung steht, auf der anderen an ein Gefäss oder an eine Tracheide des centralen Cylinders angrenzt. Durch die osmotische Wirkung der Inhaltsstoffe wird das Wasser aus dem Boden in diese Zelle aufgenommen und in Folge dessen entwickelt sich in der letzten ein gewisser Turgor. Denken wir uns nun, dass, nachdem dieser Turgor eine gewisse Höhe erreicht hat, eine doppelte Veränderung unter der Wirkung der durch Athmung frei werdenken Kräfte im Protoplasma der Zelle eintritt: 1. dass sich das gesammte Protoplasma activ zusammenzieht; 2. dass an der Stelle, wo die Zelle an ein tracheales Element angrenzt, die Protoplasmatheilchen eine derartige Umlagerung erfahren, dass der Filtrationswiderstand an dieser Stelle sich bedeutend vermindert. Dies angenommen, ist es klar, dass jetzt ein Theil des früher osmotisch aufgenommenen Wassers, unter der Wirkung der elastischen Turgorspannung + (plus) der Kraft, mit welcher sich das Protoplasma zusammenzieht, an der Stelle des kleinsten Filtrationswiderstandes, also dort, wo die Zelle das tracheale Element berührt aus der Zelle ausgestossen und in das tracheale Element hineingepresst wird. Jetzt denken wir uns, dass das Protoplasma wieder zu dem früheren Zustande zurückehrt, d. h. dass die active Contraction desselben aufhört, und dass der Filtrationswi-

derstand des Protoplasmas an der Stelle, wo die Zelle an das Gefäss angrenzt, abermals grösser wird: dann wird das Wasser aus dem Boden wieder von der Zelle osmotisch aufgenommen, der Turgor der Zelle steigert sich, bis das Wasser durch eine neue Contraction des Protoplasmas nicht wieder aus der Zelle in das Gefäss ausgestossen wird: dann folgt eine neue osmotische Wasseraufnahme, eine neue Ausstossung desselben u. s. w.

Mit der Annahme einer solchen periodisch wiederkehrenden activen Contraction des Protoplasmas in den, den Wurzeldruck bedingenden, Zellen nehmen wir in denselben eine Quelle der activen Energie an, welche, mit der Energie der osmotischen Zellhautspannung zusammengenommen, sowohl für die Trennung des Wassers von den es anziehenden Inhaltsstoffen der Zelle, als auch für die Ueberwindung des Filtrationswiderstandes der mit Protoplasma ausgekleideten Zellhaut und zur Entwickelung eines gewissen hydrostatischen Druckes vollständig hinreichen kann. Diese Annahme steht weder mit den physikalischen Grundgesetzen, noch mit unseren Kenntnissen über die Eigenschaften des Protoplasmas in Widerspruch; doch bedarf die angenommene active Zusammenziehung des Protoplasmas noch einer weiteren Erklärung, und es drängt sich gleich die Frage auf, auf welche Weise die durch Athmung frei werdenden Kräfte diese Zusammenziehung des Protoplasmas bedingen.

2. Viel einfacher gestaltet sich die Erklärung des Wurzeldruckes, wenn wir die zweite der oben erwähnten Möglichkeiten annehmen, nämlich wenn wir voraussetzen, dass die in Folge der Athmung frei werdenden Kräfte nicht eine Vergrösserung der wasserauspressenden Kräfte, sondern eine Verminderung der wasseranhaltenden Kräfte in der Zelle bewirken. Wie schon früher gesagt, wird das Wasser in einer turgescirenden Zelle nicht nur durch den Filtrationswiderstand des Protoplasmas und der Zellhaut, sondern auch durch molekulare Anziehung der in ihm gelösten Stoffe festgehalten. Je grösser diese molekulare Anziehung ist, eine um so grössere Menge Wasser wird in der Zelle festgehalten. Die osmotische Anziehung des Zellsaftes für Wasser ist aber nicht nur durch die Menge, sondern auch durch die Qualität der in ihm gelösten Stoffe bedingt. Es ist ja längst bekannt, dass verschiedene chemische Verbindungen in gleichen Gewichtstheilen angewendet, das Wasser mit verschiedener Kraft anziehen.

Demzufolge unterliegt es also keinem Zweifel, dass durch chemische Veränderungen der Stoffe, welche im Zellsafte gelöst sind, eine Veränderung der wasseranhaltenden Kraft in der Zelle bewirkt werden kann.

Denken wir uns nun, dass, nachdem der Turgor einer Wurzelparenchymzelle eine gewisse Höhe erreicht hat, der Zellsaft dieser Zelle in seiner chemischen Zusammensetzung eine derartige Veränderung erfährt, dass dadurch seine wasseranziehende (osmotische) Kraft vermindert wird dann ist es klar, dass ein Theil des Zellsaftwassers durch die bei einer grösseren osmotischen Kraft entstandene Zellhautspannung aus der Zelle am Orte des geringsten Filtrationswiderstandes ausgestossen wird. Nehmen wir daneben noch an, dass zur Zeit, wo diese Auspressung erfolgt, das Protoplasma, welches die Zellhaut auskleidet, eben an der Stelle, wo die Zelle an ein tracheales Element angrenzt, den geringsten Filtrationswiderstand darbietet, so muss das ausgestossene Wasser eben in dieses Element hineingepresst werden. Nun denken wir uns weiter, dass, nachdem in dem Turgor der Zelle ein neuer Gleichgewichtszustand schon eingetreten ist, neue den vorigen entgegengesetzte, d. h. die osmotische Kraft des Zellsaftes vergrössernde Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Zellsaftes erfolgen. Dann wird die Zelle aufs Neue das Wasser von aussen aufnehmen, um es dann wieder bei einer neuen Verminderung seiner osmotischen Kraft in das tracheale Element auszustossen u. s. w.

Bei dieser Erklärung des Wurzeldruckes nehmen wir also anstatt periodisch wiederkehrender Contraction des Protoplasmas periodische Schwankungen der osmotischen Kraft des Zellsaftes an. Auch bei dieser Erklärungsweise muss eine Mitwirkung der durch Athmung frei werdenden Kräfte angenommen werden; nur ist die Art und Weise, wie wir uns diese Mitwirkung hier denken, eine andere. Wir stellen uns nämlich vor, dass, indem diese Kräfte gewisse chemische Umsetzungen in den osmotisch wirkenden Stoffen hervorrufen, sie ihre Anziehung für Wasser überwinden, und dadurch der Turgorspannung das Ausstossen des Wassers aus der Zelle in die trachealen Elemente der Wurzel ermöglichen.

Sind aber solche die Grösse der osmotischen Kraft periodisch verändernde chemische Umsetzungen in der Zelle möglich? Diese

Frage muss namentlich nach der neuesten Arbeit von de Vries[1] unbedingt bejaht werden. De Vries hat durch seine schönen und für die gesammte Pflanzenphysiologie bedeutungsvollen Untersuchungen nachgewiesen, dass wenigstens viele organische metallfreie Verbindungen gleiche sog. isotonische Coëfficienten haben, d. h. dass die wasseranziehende Kraft dieser Verbindungen pro Molekül gleich ist. Gilt dieser Satz, was sehr wahrscheinlich ist, für sämmtliche in Pflanzensäften vorkommende organische metallfreie Verbindungen, so kann man sagen, dass die wasseranziehende Kraft des Zellsaftes irgend einer Zelle, insofern sie von den organischen Stoffen herrührt, der Anzahl der Moleküle dieser Stoffe, welche im Zellsafte gelöst sind, proportional ist. Daraus ist nun zu folgern, dass jede Spaltung einer complicirteren Verbindung in einfachere die osmotische Kraft der Zelle vergrössert, indem sie die Anzahl der Moleküle vermehrt; jede Vereinigung der einfacheren Verbindungen zu einer complicirteren vermindert die wasseranziehende Kraft der Zelle, da sie die Anzahl der Moleküle vermindert. Auch muss die osmotische Kraft der Zelle eine Verminderung erfahren, wenn eine Anzahl von Molekülen durch Athmung verbrannt werden. Endlich ist auch selbstverständlich, dass jede Umbildung oder Spaltung eines unlöslichen im Protoplasma enthaltenen Stoffes in lösliche, sich im Zellsafte lösende, Verbindungen eine Vergrösserung, jede Ausscheidung eines unlöslichen Stoffes aus dem Zellsafte eine Verminderung der osmotischen Kraft der Zelle bewirken muss. Dass derartige Spaltungen von complicirteren Verbindungen in einfachere, Regenerationen der ersten aus den letzten, Oxydationen gewisser Moleküle zu Kohlensäure und Wasser, Umwandlungen der löslichen zu unlöslichen Verbindungen und vice versa sich in der Zelle oft genug abspielen, wird Niemand bestreiten wollen, und wenn wir noch annehmen, dass derartige Processe in gewisser Reihenfolge nach einander folgen, und periodisch wiederkehren, so sind die periodischen Schwankungen der osmotischen Kräfte in der Zelle eine nothwendige Folge solcher Annahme. Es ist z. B. höchst wahrscheinlich und sogar für einige Fälle sichergestellt, dass die Eiweissmoleküle lebendiger Zellen sich fortwäh-

[1] de Vries. »Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft«. Jahrb. für wiss. Bot., Bd. XIV.

rend in Kohlenhydrate und gewisse amidartige Verbindungen spalten, und dass die letzten sich wieder mit stickstofffreien Atomgruppen vereinigend die Eiweissmoleküle regeneriren. Es liegt auf der Hand, dass jede Eiweissspaltung eine Vergrösserung, jede Eiweissbildung eine Verkleinerung der Turgorkraft der Zelle, in welcher sich diese Processe abspielen, zur Folge haben muss. Folgen diese Eiweissspaltung und Eiweissbildung in rythmischer Periodicität nach einander, so ist schon damit die Ursache der periodisch wiederkehrenden Veränderungen der osmotischen Kraft in der Zelle gegeben. Nehmen wir solche periodischen Spaltungen und Rückbildungen gewisser Verbindungen in den Wurzelparenchymzellen, welche den Blutungsdruck entwickeln, an, so ist es klar, dass nach jeder Spaltung der complicirteren Verbindungen in einfachere das Wasser aus dem Boden in die Zelle aufgesogen, nach jeder Rückbildung der complicirteren Verbindungen das Wasser durch die vorher entstandene Turgorspannung aus der Zelle in das tracheale Element ausgeschieden wird.

Auf diese Weise ist es leicht verständlich, wie, im Unterschied mit dem Zellsafte der Parenchymzellen, der Saft, welcher aus den Stümpfen abgeschnittener Pflanzen abfliesst, eine so geringe Concentration haben kann und wie die Wurzel einen so namhaften Blutungsdruck zu entwickeln im Stande ist. Auf diese Weise ist es auch verständlich, dass der Wurzeldruck durch den Holzkörper der älteren Wurzeltheile gesteigert werden kann. Wir können uns nämlich leicht vorstellen, dass aus den Gefässen und Tracheiden des leitenden Wurzelholzes der Saft von den Markstrahl- und Holzparenchymzellen osmotisch aufgenommen wird, und nachdem er dann bei der Verminderung der osmotischen Kraft dieser Zellen aus denselben mit einer gewissen Kraft wieder in die trachealen Elemente hineingepresst wird, vermehrt sich dadurch die Kraft, mit welcher der Saft in diesen Elementen aufwärts getrieben wird. Trifft der Saft auf seinem Wege zahlreiche solche parenchymatischen Zellen, so kann es nicht Wunder nehmen, dass sich dann ein bedeutender Blutungsdruck in der Wurzel entwickelt; sind in dem Holzkörper der Wurzel nur wenige solcher Zellen vorhanden, so wird von ihnen den wassertreibenden Kräften wenig abgeholfen, und indem diese Kräfte, die Arbeit der Wasserhebung leistend, sich immer mehr verbrauchen, wird der Blutungsdruck nach oben immer schwächer, so dass

das Wasser aus dem Stumpfe der abgeschnittenen Pflanzen entweder sehr sparsam oder gar nicht ausfliesst. Durch diese Verhältnisse können also die Blutungsdruckunterschiede zwischen verschiedenen Pflanzen hinreichend erklärt werden.

Nach dem Gesagten sehen wir, dass wir sämmtliche Blutungsdruckerscheinungen unter zwei Voraussetzungen erklären können:

1. Dass in den Zellen, welche Blutungsdruck entwickeln, periodisch wiederkehrende Spaltungen und Regenerationen gewisser chemischer Verbindungen in gewissen Zeiträumen nach einander folgen.
2. Dass zur Zeit, wo das Wasser in Folge der Verminderung der osmotischen Anziehung des Zellsaftes aus der Zelle durch Turgorspannung ausgestossen wird, das Protoplasma an der Stelle den geringsten Filtrationswiderstand darbietet, wo die Zelle an ein tracheales Element angrenzt.

Da die unter diesen beiden Voraussetzungen entwickelte Blutungstheorie die einfachste und zur Zeit die wahrscheinlichste zu sein scheint, so werden wir sie auch unseren weiteren Betrachtungen über die Wasserbewegung im Stamme zu Grunde legen.

Auf Grund der eben dargestellten Theorie des Wurzeldruckes wollen wir die Wasserbewegung im Holzkörper des Stammes etwas näher zu beleuchten versuchen, und dazu wählen wir das einfachste Beispiel, nämlich die Wasserbewegung im Holzkörper der Abietineen.

Der Bau des secundären Holzes der Abietineen ist Dank den gründlichen Untersuchungen von Sanio[1] und von Russow[2] sehr genau bekannt. Indem wir diese Arbeiten als den Lesern bekannt voraussetzen, wollen wir sofort zur Darstellung unserer Anschauungen über die Wasserbewegung im Abietineenholze schreiten.

Wie schon oben angedeutet wurde, betrachten wir die Tracheiden nur als eine Art von Leitröhren, in denen sich das Wasser bewegt, die bewegenden Kräfte werden aber unserer Meinung nach durch die Markstrahlzellen geliefert. Versuchen wir, uns in die Wirkung dieser Markstrahlzellen eine nähere Einsicht zu verschaffen.

[1] Sanio. »Anatomie der gemeinen Kiefer«. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX.

[2] Russow. »Zur Kenntniss des Holzes, insbesondere des Coniferenholzes«. Bot. Centralbl., Bd. XIII.

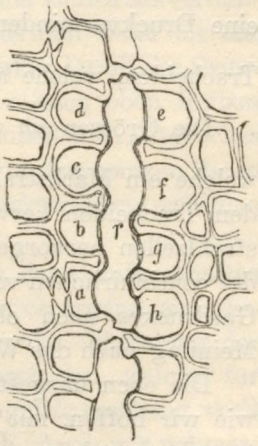
Denken wir uns eine Markstrahlzelle in natürlicher Lage, so grenzt dieselbe nach aussen, nach innen, nach oben und nach unten an ähnliche Markstrahlzellen, nach den Seiten an die Tracheiden an. Da jede Markstrahlzelle in der Richtung des Strahles stark verlängert ist, so grenzt sie auf jeder Seite nicht an eine, sondern an mehrere Tracheiden (3 bis 5) an. An den Seitenwänden, welche die Zelle von den Tracheiden trennen, sind grosse einseitige Hoftüpfel entwickelt, deren jeder fast die ganze Berührungsfläche der Markstrahlzelle und der Tracheide einnimmt. Unsere Figur (S. 531) stellt im Holzquerschnitt eine solche Markstrahlzelle *r* vor. Diese Zelle grenzt sowohl rechts als links an je vier Tracheiden an. Die Tracheiden sind bekanntlich theilweise mit Luft, zum grössten Theil aber mit Wasser gefüllt. Denken wir uns, dass die Zelle *r* durch die osmotische Anziehung seiner Inhaltsstoffe Wasser aus allen 8 Tracheiden aufsaugt, so muss offenbar der Turgor in ihr vergrössert werden. Da an den übrigen Stellen die Wände der Markstrahlzelle verholzt und verdickt sind, so werden durch diese Turgorvergrösserung hauptsächlich die Schliesshäute der oben erwähnten einseitigen Hoftüpfel gedehnt und gespannt. In Folge dieser Dehnung werden sich diese Schliesshäute stark in die Lumina der Tracheiden hineinwölben, wobei ihre Ränder an die Hofwände angedrückt werden. Durch die Aufnahme des Wassers aus den Tracheiden in die Zelle verändert sich der Luftdruck in den Tracheiden nicht, da die Verminderung dieses Druckes, welche durch Wasserentziehung aus der Tracheide bewirkt werde, durch Hineinwölbung der Schliesshaut in das Lumen der Tracheide ausgeglichen wird. Denken wir uns, dass, nachdem der Turgor der Zelle *r* eine gewisse Höhe erreicht hat, der Filtrationswiderstand des Protoplasmas, welches die Schliesshaut bei *b* auskleidet, sich vermindert, und dass gleichzeitig in Folge einer chemischen Umsetzung im Zellsafte die osmotische Kraft der Zelle eine Verminderung erfährt. Dann wird ein Theil des aus allen 8 Tracheiden osmotisch aufgenommenen Wassers durch die jetzt zu grosse Membranspannung aus der Zelle ausgestossen und in die Tracheide *b* hineingepresst. In Folge dieser Einpressung einer grösseren Wassermenge in die Tracheide *b* wird sich der Luftdruck in derselben vergrössern und ein Theil des Wassers wird aus dieser Tracheide in die benachbarte, in welcher ein kleinerer Luftdruck herrscht, durchgepresst. Wären

an den tangentialen Wänden der Tracheiden Tüpfel vorhanden, so würde das Wasser aus der Tracheide *b* in die Tracheide *a* oder *c*, welche mit ihr auf gleicher Höhe stehen, durchgepresst; da aber an diesen Wänden keine Tüpfel vorhanden sind, so kann diese Auspressung nur nach einer nächst höheren oder nächst unteren Tracheide erfolgen. Da nun, wie R. Hartig nachgewiesen hat, der Luftdruck in den Tracheiden nach oben sinkt, so liegt auf der Hand, dass bei der momentanen Vergrösserung des Luftdruckes in der Tracheide *b* das Wasser aus dieser Tracheide nicht nach einer nächst unteren, sondern nach einer nächst oberen Tracheide (da in dieser ein kleinerer Luftdruck herrscht) durchgepresst wird. Jetzt denken wir uns, dass in unserer Zelle wieder gewisse chemische Spaltungen eintreten. In Folge dieser Spaltungen steigert sich die osmotische Anziehung der Inhaltsstoffe der Zelle an Wasser, eine entsprechende Wassermenge wird wieder aus den Tracheiden in die Zelle aufgenommen, wodurch natürlich der Turgor der Zelle abermals gesteigert wird. Nach einiger Zeit erfolgen neue chemische Umsetzungen, die osmotische Kraft der Zelle vermindert sich wieder und das vor Kurzem (aus allen 8 Tracheiden) aufgenommene Wasser wird wieder aus der Zelle ausgestossen. Wir setzen nun voraus, dass unterdessen die Stelle des kleinsten Filtrationswiderstandes von *b* nach *c* sich gerückt hat, in Folge dessen wird bei dieser zweiten Wasserausscheidung das aus allen 8 Tracheiden aufgenommene Wasser nicht mehr in die Tracheide *b*, sondern in *c* hineingepresst werden. Der Luftdruck wird sich also jetzt in der Tracheide *c* steigern, und er wird einen Theil des Wassers dieser Tracheide in die höher liegende Tracheide durchpressen. Dann erfolgt in unserer Zelle *r* wieder eine Wasseraufnahme aus den Tracheiden und eine Auspressung desselben in die Tracheide *d*, dann eine Wasseraufnahme und Auspressung in die Tracheide *e*, dann in die Tracheide *f*, *g*, *h*, *a*, wieder in die Tracheide *b* u. s. w. Wir nehmen also an, dass das aus allen neben einer Markstrahlzelle liegenden Tracheiden aufgenommene Wasser aus dieser Zelle jedesmal nur in eine einzige Tracheide hineingepresst wird, aber nicht gerade immer in dieselbe, sondern vielleicht bei jeder Ausstossung in eine andere.

Die Wirkung einer Markstrahlzelle auf die Bewegung des Wassers in den Tracheiden ist aber nicht nur eine drückende, sondern

auch eine saugende. In dem Moment, wo das Wasser aus der Markstrahlzelle in eine der sie angrenzenden Tracheiden ausgestossen wird, vermindert sich der Turgor der Zelle und zugleich damit die Convexität der Schliesshäute gegen die Lumina der Tracheiden.

Eine unmittelbare Folge dieser Convexitätverminderung der Schliesshäute muss eine Verminderung des Luftdruckes in den entsprechenden Tracheiden sein. Auf unserer Figur grenzt die Markstrahlzelle r an 8 Tracheiden an; nehmen wir also an, dass während der Turgorsteigerung ausschliesslich die Schliesshäute, welche die Zelle von den Tracheiden trennen, gedehnt werden, und dass alle 8 Tracheiden gleich grosse Luftmengen enthalten, so ist es klar, dass, wenn wir die Luftdruckvergrösserung in der Tracheide b, welche durch Wasserauspressung aus der Zelle in diese Tracheide bewirkt wird, p nennen, so wird sich gleichzeitig in jeder anderen Tracheide z. B. in der Tracheide g, der Luftdruck um $\frac{p}{8}$ vermindern.



Ist dieser Werth $\frac{p}{8}$ gross genug, um den Filtrationswiderstand der Tüpfelmembranen zu überwinden, so wird das Wasser aus den benachbarten Tracheiden in die Tracheide g aufgesogen. Da die Tüpfel nur an radialen Wänden der Tracheiden vorhanden sind, und da, wie aus R. Hartig's Experimenten zu schliessen ist, ein höherer Druck nicht in weiter nach oben, sondern in den weiter nach unten liegenden Tracheiden obwaltet, so muss die Druckverminderung in der Tracheide g eine Wasseraufsaugung aus den nächst unteren Tracheiden bewirken.

Auf diese Weise übt, unserer Theorie zufolge, eine jede Markstrahlzelle auf die Bewegung des Wassers in den Tracheiden eine saugende und drückende Wirkung zugleich aus. Drückend treibt die Markstrahlzelle das Wasser in diese Tracheide, in welche sie das zuvor aufgenommene Wasser ergiesst, saugend wirkt sie auf die Bewegung des Wassers in allen anderen Tracheiden, welche sie berührt.

Ein jeder Markstrahl besteht aber bekanntlich aus mehreren, z. B. aus n Zellreihen, jede Tracheide also, welche einen Markstrahl berührt, steht nicht mit einer einzigen, sondern mit n Markstrahlzellen in Berührung; bewirkt also eine Markstrahlzelle, indem sie das Wasser in die Tracheide b hineinpresst, eine Druckvergrösserung p in dieser Tracheide, so werden n Markstrahlzellen, wenn sie gleichzeitig wirken, in ihr eine Druckvergrösserung np und in jeder der anderen Tracheiden, welche sie berühren, eine Druckverminderung $\frac{np}{m}$ bewirken; m bezeichnet die Zahl der Tracheiden, welche an eine Markstrahlzelle angrenzen.

Die Grössen np und $-\frac{np}{m}$ bezeichnen also die Veränderungen, welche ein Markstrahl in dem Gasdruck der an ihm angrenzenden Tracheiden hervorruft. Diese durch die Wirkung der Markstrahlzellen hervorgerufenen Veränderungen des Gasdruckes, mit der continuirlichen von Hartig nachgewiesenen Abnahme dieses Gasdruckes nach oben zusammengenommen, bedingen unserer Meinung nach das Wassersteigen bis zu den höchsten Baumgipfeln.

Die eben dargestellte Theorie des Saftsteigens erklärt, ohne, wie wir hoffen, mit den physikalischen Grundgesetzen in Widerspruch zu gelangen, sowohl die Ergebnisse der experimentellen Forschung als auch die Einzelheiten des anatomischen Baues des Coniferenholzes.

So ist für unsere Theorie ganz klar, dass die von Hartig nachgewiesenen Druckdifferenzen in Holzluft an verschiedenen Höhen des Baumes eine nothwendige Bedingung des Saftsteigens im Holze ausmachen. Wie wir gesehen haben, hat Hartig constatirt, dass das Durchschneiden des Splintes bei der Fichte ein Welken seiner jungen Triebe schon zur Zeit bewirkt, wo die Tracheiden noch mehr als 60 pCt. ihres inneren Volumens an Wasser enthalten, und dass die Ursache dieses Welkens in der Ausgleichung des Luftdruckes in dem ganzen über dem Einschnitte liegenden Theil des Baumes zu suchen ist. Das Ergebniss dieses Versuches wird durch unsere Theorie sehr leicht erklärt. Steht die Luft der höher und tiefer liegenden Tracheiden unter gleichem Druck, so ist kein Grund vorhanden, dass bei einer momentanen, durch die Wirkung einer Markstrahlzelle in irgend einer Tracheide hervorgerufenen Luftdruckvermehrung das Wasser

aus dieser Tracheide eher in die höher als in die tiefer liegenden Nachbartracheiden gepresst werde; im Gegentheil, ist der Luftdruck in den höheren und tieferen Tracheiden gleich, so ist anschaulich, dass das aus einer mittleren Tracheide ausgepresste Wasser eher, seiner eigenen Schwere zufolge, nach unten sinken als nach oben steigen wird.

Auch ist, den gleichen Luftdruck in den Tracheiden vorausgesetzt, kein Grund vorhanden, dass von einer Tracheide, in welcher durch die Wirkung der Markstrahlen eine Luftdruckverminderung eingetreten ist, das Wasser eher aus den tiefer als aus den höher liegenden Tracheiden gesogen werde. Damit die Saug-Druckwirkung der Markstrahlen das Wasser nach oben treiben könnte, muss im Holze ein continuirliches Sinken des Luftdruckes vorausgesetzt werden: wird dieser Luftdruck in dem ganzen Baum ausgeglichen, so muss die Arbeit der Markstrahlen erfolglos bleiben.

Die Einzelheiten des anatomischen Baues des Coniferenholzes werden durch unsere Theorie besser als durch irgend eine andere erklärt: denn nicht nur der Bau und die Tüpfelung der Tracheiden, sondern auch der Bau der Markstrahlen, welcher für die Böhm-Hartig'sche Theorie ganz gleichgültig erscheint, wird im Lichte unserer Theorie leicht verständlich. Auch wir nehmen, wie oben auseinandergesetzt wurde, an, dass der Durchgang des Wassers aus einer tiefer liegenden Tracheide in eine nächst höhere eine Folge der Gasdruckdifferenzen in beiden Tracheiden ist; doch ist für uns diese Druckdifferenz keine constante, von der Transpiration allein abhängende, sondern sie ist eine nur momentane, zur Zeit, wo das Wasser aus den Markstrahlzellen ausgestossen wird, entstehende. Die allmälige Abnahme des Holzluftdruckes nach oben, wie sie Hartig nachgewiesen hat, bestimmt, unserer Theorie nach, die Richtung der Wasserbewegung im Holze, indem sie das von den Markstrahlzellen ausgepresste Wasser nicht nach unten sinken lässt, und indem sie den tiefer liegenden Tracheiden bei einer momentanen Luftdruckverminderung in denselben das Wasser aus den höher liegenden Tracheiden nicht aufzusaugen gestattet: für sich aber wäre diese Druckabnahme nicht im Stande, das Wassersteigen im Holze der Bäume zu bewirken. Bei einer solchen Auffassung der Ursachen der Wasserbewegung im Holze tritt die Bedeutung der Hoftüpfel und

deren Schliesshäute eben so klar hervor, als wie bei den Theorien von Böhm und Robert Hartig.

Pressen die Markstrahlzellen auf einmal in eine der an sie angrenzenden Tracheiden eine grössere Wassermenge hinein, so stösst die Wasserwelle mit einer gewissen Kraft die dünnen Schliesshäute, welche für den Durchgang des Wassers aus einer Tracheide in die andere bestimmt sind, an. Um dabei nicht zerrissen zu werden, brauchen diese Membranen einen gewissen Schutz. Dieser Schutz wird ihnen durch die eigenthümlich trichterförmigen Hofwände, welche an beiden Seiten einer jeden solchen Membran entwickelt sind, gewährt. Da die Schliesshaut im Hofraum des leitenden Holzes schlaff befestigt ist, so wird sie, sobald auf einer Seite ein höherer Druck als auf der anderen obwaltet, an die Hofwand wie ein Filter an einen Trichter angepresst und dadurch gegen Zerreissung geschützt. Dabei ragt aber die Mitte der Schliesshaut über den Canalrand des Tüpfels hervor, hier verlangt sie also, um durch den Druck nicht zerrissen zu werden, noch einen besonderen Schutz. Dieser Schutz wird der Schliesshaut dadurch gewährt, dass sie nicht in seiner ganzen Fläche, sondern nur am Rande (Margo) dünn und filtrationsfähig ist; in der Mitte aber ist sie ziemlich stark verdickt und bildet hier den sog. Torus. Dieser Torus hat unserer Meinung nach eine ähnliche Bedeutung, wie der Platinconus, welchen die Chemiker in den Trichter unter dem Filter hineinlegen, wenn sie mit Hilfe einer Luftpumpe schnell filtriren wollen. Wie dieser Platinconus den Filter schützt, so schützt der Torus die Schliesshaut gegen das Zerreissen durch den Druck. Die leichte Einkrümmung des Hofwandrandes, wie sie Russow beobachtet und abgebildet[1] hat, sichert noch besser diesen Schutz. Den zur Filtration des Wassers bestimmten Theil der Schliesshaut bietet der dünne Rand derselben, der sog. Margo dar. Dieser Margo ist mit einer radialen Streifung ausgestattet. Diese Streifung, welche zunächst von Russow genau beschrieben und abgebildet wurde[2], erstreckt sich auch auf den Rand des Torus. Obgleich Russow diese Streifung auf eine Differenzirung in Streifen von verschiedener Dichtigkeit zurückführt, so ist doch namentlich nach dem, was wir durch Strasburger's Untersuchungen über die Streifung

[1] Russow, l. c. Fig. 16, 17, 18.

[2] l. c. Fig. 35—41.

der Zellhaut[1] wissen, kaum zu zweifeln, dass diese Streifung einen Ausdruck feiner Verdickungen oder vielleicht Faltungen der Schliesshaut bildet. Ueber den Rand des Torus giebt Russow ausdrücklich an, dass er im optischen Querschnitt deutlich gekerbt erscheint, und Russow selbst sagt: »Wahrscheinlich ragen auch in der Ausdehnung des Margo die Streifen über die Areolen hervor«.

Diese Struktur des Margo der Schliesshaut steht unzweifelhaft mit der Funktion derselben in innigster Beziehung zusammen. Wäre der Margo ganz glatt und vollkommen gleichmässig dünn, der Rand des Torus nicht gekerbt, so könnte das Wasser durch Druck aus einer Tracheide in die andere nicht durchgepresst werden; denn der Margo würde dann durch den Druck an die Hofwand so fest angepresst und der Torus würde den Tüpfelcanal so dicht schliessen, dass die Filtration des Wassers durch die Schliesshaut unmöglich wäre. Aber wegen des Vorhandenseins der Einkerbungen am Torusrande kann der Tüpfelcanal durch den Torus nicht wasserdicht geschlossen werden; ihrerseits gestatten wieder die Streifen des Margo kein zu festes Anpressen desselben an die Hofwand, so dass an den Areolen zwischen der Schliesshaut und der Hofwand ein für die Filtration des Wassers hinreichender Raum übrig bleibt, und auf diese Weise kann bei dieser Einrichtung das Wasser durch einen Druckunterschied aus einer Tracheide in die andere durchgepresst werden. Haben wir den Torus mit dem Platinconus beim Schnellfiltrirapparate verglichen, so können wir den Margo der Schliesshaut einem gefalteten Filter vortrefflich zur Seite stellen. Die dichteren Streifen des Margo können hier als die den Trichter berührenden Falten des Filters, die Areolen als von dem Trichter abstehende Theile des Filters gelten.

Ein aufmerksamer Leser der verdienstvollen Arbeit Russow's wird wohl bemerkt haben, dass unsere Auffassung der Bedeutung des Hoftüpfels und seiner Schliesshaut bei der Wasserbewegung eine wesentlich andere als die, welche sich Russow darüber gebildet hat, ist. Nach Russow ist der Tüpfel »ein mechanischer Apparat, der seiner Construction gemäss als ein eigen-

[1] Strasburger. »Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute«. Jena 1882, S. 64—75.

thümliches Klappenventil gedeutet werden kann, das von einem Klappenventil unserer Pumpen sich dadurch unterscheidet, dass es nicht nur nach einer Seite, sondern nach zwei Seiten hin schliesst«[1]. Die Schliesshaut des Tüpfels stellt nach Russow die Klappe dieses Ventils dar. Für uns bildet der Hoftüpfel einen doppelten Trichter, welcher mit einem einzigen Filter und einer Einrichtung zum Schutz desselben (Torus) versehen ist. Dieser Filter kann je nachdem, an welcher Seite ein stärkerer Druck obwaltet, sich bald auf einen, bald auf den anderen Trichter legen, um das Wasser aus einer Tracheide in die andere filtriren zu lassen. Diese Auffassung der Bedeutung der Hoftüpfel scheint mir die allein mögliche und sowohl dem Zweck der Wasserbewegung als auch dem Bau der Tüpfel allein entsprechende zu sein.

Ich vermag nicht einzusehen, und aus der Darstellung Russow's ist mir nicht klar geworden, wie der Umstand, dass bei einem grösseren Druckunterschied in den benachbarten Tracheiden die Tüpfelcanäle durch Tori geschlossen werden sollen, die Wasserbewegung erleichtern kann. Meiner Meinung nach könnte das Geschlossenwerden der Tüpfelcanäle unter diesen Umständen nicht nur die Wasserbewegung nicht erleichtern, sondern es müsste sie sogar zum Stillstand bringen, da ja die Wasserbewegung auch nach Russow durch Druckunterschiede in den Tracheiden bewirkt wird. Wenn Russow hofft, dass bei einem geringen Druck mehr Wasser durch ein intercellularfreies Tannenholz filtrirt wird, als bei einem starken Druck, so theile ich diese seine Hoffnung durchaus nicht und bin überzeugt, dass, je stärker der Druck, desto schneller die Filtration des Wassers wird[2]. Uebrigens entspricht der von Russow so genau beschriebene Bau der Schliesshaut keineswegs der Funktion, welche ihr der genannte Forscher anweist. Russow giebt ja, wie wir gesehen haben, ausdrücklich an, dass der Rand des Torus nicht glechmässig dick ist, sondern dass er deutlich gekerbt erscheint. Sind am Rande der Hofwand keine entsprechende Einkerbungen vorhanden (und solche hat ja Russow nicht beobachtet), so kann der mit gekerbtem Rande ausgestattete Torus auch bei noch so starker Anpressung an die

[1] Russow, l. c. S. 105.

[2] Leider bin ich auch aus Mangel an Material nicht im Stande gewesen, den Versuch auszuführen.

Hofwand den Tüpfelcanal keineswegs wasserdicht schliessen, da das durch den Margo filtrirende Wasser immer noch an den Einkerbungsstellen des Torus seinen Weg finden wird. Demnach sind die Hoftüpfel keine Klappenventile, sondern vielmehr unserer Theorie gemäss eigentümliche Filtrationsapparate.

Unsere Theorie erklärt auch, warum an den tangentialen Wänden der Tracheiden keine Tüpfel vorhanden sind und die Tüpfelung nur auf die radialen Wände beschränkt ist. Bekanntlich stehen die Tracheiden einer radialen Reihe nahezu auf gleicher Höhe, dagegen die Tracheiden einer tangentialen Reihe auf ungleichen Höhen. Wären auch an den tangentialen Reihen Tüpfel vorhanden, so würde das von einer Markstrahlzelle in eine der sie angrenzenden Tracheiden ausgeschiedene Wasser anstatt in die höher liegenden Tracheiden der tangentialen Reihe gepresst zu werden, zu den auf gleicher Höhe stehenden Tracheiden der radialen Reihe, aus welchen es eben von der Markstrahlzelle geschöpt wurde, zurückkehren. Unter diesen Bedingungen vermöchte also das Wasser nicht zu steigen.

Die Anwesenheit der Tüpfel an den Tangentialwänden der letzten Herbstholzschicht können wir mit Hartig dadurch erklären, dass diese Tüpfel zur Versorgung des Cambiums mit Wasser im Frühling dienen.

Der Bau der Markstrahlzellen wird auch leicht verständlich im Lichte unserer Theorie. Die Verlängerung der Zellen in der Richtung des Markstrahls wird dadurch erklärt, dass es nöthig ist, dass die Zelle mehrere Tracheiden berühre; denn nur dadurch, dass das aus mehreren die Zelle berührenden Tracheiden aufgenommene Wasser in eine einzige Tracheide hineingepresst wird, ist die Entstehung eines namhafteren zur Wasserbewegung erforderlichen Druckunterschiedes in den Tracheiden möglich.

Damit für die Athmung der Markstrahlzellen, durch welche eben die zur Wasserbewegung erforderlichen Kräfte frei werden, die nöthige Luft zugeführt werden könne, laufen zwischen diesen Zellen und den Tracheiden feine Luftcanäle, die sich in die Rindenstrahlintercellularen fortsetzen, um dann durch die Lenticellen mit der Atmosphäre zu communiciren[1]. An den Stellen, wo die Wand der Markstrahlzelle an die Intercellulargänge grenzt,

[1] Russow, l. c. S. 136.

ist sie von Tüpfelcanälen durchsetzt, welche offenbar wenigstens theilweise den Gaswechsel zu besorgen bestimmt sind.

Aehnliche einfache Tüpfel oder Tüpfelcanäle sind auch an den Wänden, welche Markstrahlzellen von einander trennen, vorhanden; hier besorgen sie ohne Zweifel den Stoffaustausch.

Ganz andere Tüpfel sind bekanntlich an den Seitenwänden, welche die Markstrahlzellen von den Tracheiden trennen, vorhanden. Hier handelt es sich, unserer Theorie zufolge, um einen raschen osmotischen Wasseraustausch: da aber die Geschwindigkeit der osmotischen Wasseraufnahme der wirksamen Membranfläche proportional ist und die Schliesshäute der Tüpfel als allein wirksam betrachtet werden können, so ist hier eine möglichst grosse Schliesshautfläche erforderlich. Kleine einfache Tüpfel, wie sie an den die Markstrahlzellen von einander trennenden Wänden vorhanden sind, würden hier nicht ausreichend sein, und deswegen sehen wir an den Seitenwänden der Markstrahlzellen sehr grosse einseitige Hoftüpfel ausgebildet. Diese Tüpfel sind bekanntlich so gross, dass die Schliesshaut eines jeden solchen Tüpfels fast die ganze Berührungsfläche zwischen der Markstrahlzelle mit der Tracheide ausmacht. Bei einer starken Turgorspannung ist nach der Tracheidenseite eine gewisse Stütze für diese Schliesshaut erforderlich, eine solche Stütze ist aber vollkommen entbehrlich nach der Seite der Zelle, und in der That sehen wir eine Hofwand nur nach der Seite der Tracheide, nicht aber nach der Seite der Zelle ausgebildet.

Aus dem Dargestellten ist zu ersehen, dass unsere Theorie sehr gut die Einzelheiten des anatomischen Baues des Abietineenholzes zu erklären vermag. Wir haben nur für die Abietineen diese Theorie ausführlicher entwickelt, weil der Bau dieses Holzes sehr einfach und genau erforscht ist; doch zweifeln wir kaum, dass auch der Bau des Holzes anderer Bäume im Lichte unserer Theorie verständlich gemacht werden könnte.

Bei den Cupressineen enthält das Holz ausser den Markstrahlen auch Holzparenchym, und da die Wände dieser Zellen ganz ähnlich getüpfelt sind wie die der Markstrahlen, so ist nicht zu zweifeln, dass auch diese Zellen bei der Wasserbewegung eine ähnliche Rolle spielen wie die Markstrahlzellen.

Das Holz der Laubbäume enthält bekanntlich neben den Tracheiden auch noch Gefässe und Libriformfasern. In den Gefässen

sind in den meisten Fällen keine continuirlichen Wassersäulen vorhanden, sondern die Wassertropfen alterniren hier mit Luftblasen, wodurch eine sog. Jamin'sche Kette entsteht. In Folge gewisser Veränderungen, welche das Wasser an den Menisken erleidet[1] und welche hier seine Beweglichkeit stark herabsetzen, muss man bekanntlich einen sehr bedeutenden Druck anzuwenden, um eine solche Kette zu bewegen; deswegen kann sich das Wasser in solchen Ketten auf sehr grosse Höhen halten, ohne nach unten herabzufliessen. Ein Gefäss mit Jamin'scher Kette können wir also als eine Reihe übereinander liegender Tracheiden, deren jede neben Wasser eine Luftblase enthält, betrachten. Von einer Reihe wirklicher Tracheiden wird sich ein solches Gefäss nur dadurch unterscheiden, dass die Zahl und die Lage der Luftblasen durch Auftreten neuer Blasen, durch Vereinigung kleinerer Blasen in grössere etc. sich ändern kann, was bei den eigentlichen Tracheiden, welche durch wirkliche Wände von einander getrennt sind, nicht möglich ist. Die Tüpfel der Wände an den Gefässen und Tracheiden der Laubhölzer sind ganz ähnlich gebaut wie bei dem Coniferenholze. Wo die trachealen Elemente an einander grenzen, sind auch hier zweiseitige Hoftüpfel vorhanden, nur sind diese Tüpfel kleiner und dichter neber einander gelegt als bei den Coniferentracheiden. Auch sind die Tüpfel ziemlich oft spaltartig ausgezogen. Dessenungeachtet unterscheiden sich die Tüpfel und ihre Schliesshäute, was ihren Bau anbetrifft, kaum wesentlich von den Tüpfeln des Coniferenholzes; demnach sind wir berechtigt anzunehmen, dass auch ihre Thätigkeit eine ähnliche wie bei dem Coniferenholze sein muss.

Sehr wichtig für unsere Theorie ist die Thatsache, welche Russow betont, dass bei den von ihm untersuchten Laubhölzern überall, wo die trachealen Elemente an Markstrahlen oder an Parenchymzellen grenzen, die Tüpfel viel grösser und mit nur nach der Seite des trachealen Elementes ausgebildeten Höfen versehen sind; nach der Seite der Parenchymzellen sind an den Tüpfeln keine Höfe ausgebildet. Es walten hier ganz ähnliche Verhältnisse ob wie bei dem Coniferenholze, wo wir ja auch an den Berührungswänden der Markstrahlzellen mit den Tracheiden nur einseitig ausgebildete Hoftüpfel antreffen.

[1] Zimmermann. »Ueber die Jamin'sche Kette«. Berichte der deutschen bot. Gesellsch. 1883, S. 384.

Aus diesen anatomischen Verhältnissen können wir in Uebereinstimmung mit unserer Theorie schliessen, dass auch bei den Laubhölzern ein lebhafter Wasseraustausch zwischen den Markstrahl- und Parenchymzellen einerseits und den trachealen Elementen andererseits unterhalten wird. Einen solchen Wasseraustausch anzunehmen, sind wir um so mehr berechtigt, als wir das Holzparenchym bei den Laubhölzern ganz besonders die Gefässe begleiten sehen.

Also auch bei den Laubhölzern müssen wir uns die Wasserbewegung im Holze so vorstellen, dass die Markstrahl- und Holzparenchymzellen das Wasser aus den trachealen Elementen osmotisch aufsaugen, und indem sie es wieder in die Gefässe und Tracheiden hineinpressen, treiben sie in der Richtung des kleineren Luftdruckes, also nach oben weiter; dort wird das Wasser von höher liegenden Markstrahlen wieder aufgesogen und weiter getrieben u. s. w. bis zu der Baumkrone. Um sich von der Art und Weise, wie die Wasserbewegung vor sich geht, eine genaue Rechenschaft zu verschaffen, sollte man in der Weise, wie wir es für das Abietineenholz gethan haben, in jedem beliebigen Fall die anatomischen Verhältnisse, wie die Gestalt, den Bau, die Tüpfelung der Markstrahlzellen und des Holzparenchyms, ihre Lage in Bezug auf die trachealen Elemente, den Bau dieser letzteren etc. ganz genau betrachten und untersuchen, wie diese Einzelheiten des anatomischen Baues mit der Wasserbewegung zusammenhängen. Zur Zeit begnügen wir uns, diese Verhältnisse nur bei dem Coniferenholze näher auseinandergesetzt zu haben.

Ob auch bei den Krautpflanzen die osmotischen Wirkungen in den oberirdischen Pflanzentheilen bei der Wasserbewegung mitwirken, mag dahingestellt werden: so viel will ich nur bemerken, dass diese Mitwirkung keine logische Nothwendigkeit hier ist. Die durch Transpiration in den Gefässen hervorgerufene Saugung mit der Wurzelkraft zusammengenommen können hier vollständig hinreichen, um die Pflanzen mit Wasser zu versorgen und den Transpirationsstrom zu unterhalten Trotzdem weisen manche Beobachtungen, wie z. B. der oben citirte Sachs'sche Versuch mit Halmstücken, darauf hin, dass auch bei den Krautpflanzen die Mitwirkung des osmotischen Druckes in den oberirdischen Pflanzen nicht ausgeschlossen ist.

Auch bei den Sträuchern von geringerer Höhe wäre das Saft-

steigen ohne Mitwirkung der osmotischen Kräfte in den leitenden Geweben des Stengels denkbar; doch schon der Umstand, dass das Holz der Sträucher ganz übereinstimmend mit dem Holze der hohen Bäume gebaut ist, lässt auch hier auf die Mitwirkung der Markstrahlen und des Holzparenchyms bei der Wasserbewegung schliessen.

Ich will jetzt noch ein paar Worte über den Wahrscheinlichkeitsgrad unserer Theorie sagen.

Der Grundgedanke unserer Theorie, dass bei der Wasserbewegung in den Bäumen die durch Athmung der Markstrahlzellen und der Holzparenchymzellen frei werdenden Kräfte mitwirken, ist, wie wir gezeigt haben, eine nothwendige Folge des Gesetzes der Erhaltung der Energie; und als solche darf sie als sicher festgestellt betrachtet werden.

Anders mit den Einzelheiten der Theorie. Denselben, wie wir sie für das Saftsteigen im Coniferenholze entwickelt haben, liegen gewisse Hypothesen zu Grunde; ihr Wahrscheinlichkeitsgrad wird also theils durch die Genauigkeit, mit welcher sie die anatomischen Verhältnisse erklären, theils durch den Wahrscheinlichkeitsgrad der ihnen zu Grunde liegenden Hypothesen bedingt.

Dass die Art und Weise, wie wir uns die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung denken, den anatomischen Bau des Holzes besser als irgend eine andere Theorie des Wassersteigens zu erklären vermag, wurde hinlänglich gezeigt.

Die von uns gemachten Hypothesen sind hauptsächlich zwei:

1. Dass an besonderen Stellen der wirkenden Parenchymzellen der Filtrationswiderstand des Protoplasmas in gewissen Perioden kleiner als an den übrigen Stellen der Zelle ist.
2. Dass unter Mitwirkung der bei der Athmung frei werdenden Kräfte der Turgor der bei der Wasserbewegung wirksamen Zellen periodischen Schwankungen unterliegt.

Um auf die grosse Wahrscheinlichkeit dieser Hypothesen hinzuweisen, will ich hervorheben, dass sie beide schon für die Erklärung des Wurzeldruckes unerlässlich erscheinen.

Die erste dieser Hypothesen muss von einer jeden Theorie des Wurzeldruckes angenommen werden, um zu erklären, warum das aus dem Boden in die Wurzelparenchymzellen aufgenommene Wasser aus diesen Zellen nicht wieder nach dem Boden, sondern nach den Gefässen der Wurzeln ausgeschieden wird.

Die zweite Hypothese kann auch nicht umgangen werden, wenn wir erklären wollen, wie der im Holze strömende Saft eine vom Zellsafte lebendiger Zellen so beträchtlich geringere Concentration haben kann, denn wir haben gesehen, dass die Ausscheidung einer so verdünnten Lösung, wie wir sie in den Holzelementen finden, ohne Turgorverminderung der ausscheidenden Zellen nicht denkbar ist. Uebrigens setzen wir durch diese Hypothesen nichts solches, was keine analogen Erscheinungen in der Pflanzenphysiologie hätte, voraus. Um ein Beispiel der periodischen in kurzen Zeiträumen wiederkehrenden Turgorschwankung zu nennen, brauchen wir uns nur auf die bekannten Erscheinungen an Seitenblättchen von Hedysarum gyrans zu berufen. Dass das aufgenommene Wasser oft mit einer gewissen Kraft plötzlich aus den Zellen ausgestossen wird, beweisen die so genau erforschten Erscheinungen der Reizbarkeit von Mimosa pudica.

Dessenungeachtet wollen wir nicht bestreiten, dass unsere Theorie, was die Einzelheiten anbetrifft, einen hypothetischen Charakter an sich trägt; nur glauben wir, dass ihr Grundgedanke auf ganz sicherem Boden steht.

III.

Das polnische Manuscript der vorliegenden Arbeit war bereits in den Händen der Krakauer Akademie der Wissenschaften, als ich die Arbeit von Westermaier[1], welche den nämlichen Gegenstand betrifft, kennen gelernt habe.

Bei der deutschen Bearbeitung habe ich die Besprechung dieser Abhandlung absichtlich nicht in den ersten Theil dieser Arbeit hineingezogen, um den Gedankengang, welcher mich auf meine Theorie ganz unabhängig von der Westermaier'schen Arbeit geführt hat, bequemer darstellen zu können. Nun will ich aber mit einigen Worten die Westermaier'sche Arbeit besprechen, um seine Vorstellungen über die Ursachen der Wasserbewegung mit den meinigen zu vergleichen.

Von der Unzulänglichkeit der bisherigen Theorien durchdrungen, nimmt auch Westermaier an, dass man bei der Wasser-

[1] M. Westermaier. »Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchyms«. Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, 1883, Heft 8.

bewegung die Mitwirkung des Hadroms, d. h. der Markstrahlen und des Holzparenchyms, annehmen muss.

Da die Westermaier'sche Abhandlung bereits am 6. October 1883 der Redaction der »Berichte« eingelaufen ist, so sehe ich mich verpflichtet, ausdrücklich zu constatiren, dass die Priorität dieses Grundgedankens einer jeden, wie ich glaube, künftigen Theorie des Saftsteigens nicht mir, sondern Westermaier gehört.

Dies constatirt, muss ich aber hervorheben, dass die Uebereinstimmung zwischen der Westermaier'schen und der meinigen Theorie nur in der Annahme, dass bei der Wasserbewegung im Holze die Markstrahlen und das Holzparenchym betheiligt sind, besteht; die Art und Weise, wie sich Westermaier diese Betheiligung denkt, ist von der meinigen grundverschieden.

Der Unterschied zwischen meiner und der Westermaier'schen Theorie besteht nämlich darin, dass, während nach mir die Hadromzellen im Holze nur als Stempel der Saugdruckpumpen, durch welche das Wasser aufwärts getrieben wird, wirken, die Gefässe und Tracheiden aber, die Röhren dieser Pumpen, in welchen sich das Wasser fortbewegt, darstellen, bilden nach Westermaier die Hadromzellen die Strombahn des Wassers selbst, und die Gefässe und Tracheiden dienen nur, wenn ich Westermaier recht verstanden habe, so zu sagen als Reservoire, in welche das Wasser aus den Hadromzellen ausgegossen und durch deren Capillarität so lange gehalten wird, bis es wieder durch und in den Hadromzellen weiter gehoben wird.

Als Ausgangspunkt seiner Betrachtungen nimmt Westermaier keinen concreten Fall des anatomischen Baues einer bestimmten Pflanze, sondern ein willkürliches allgemeines Schema an.

In diesem Schema stellt der Verfasser ein Gefäss, an welchem an verschiedenen Niveaus *A*, *B*, *C*, *D* Markstrahlen liegen, dar. Diese Markstrahlen sind durch schief verlaufende Holzparenchymcomplexe mit einander verbunden. Angenommen, dass in dem Niveau *A* Wasser in dem Gefässe enthalten ist, und dass es auf dieser Höhe »durch die endosmotisch wirksamen, Wasser ausscheidenden Parenchymzellen im Wurzelsystem und in dem unter *A* liegenden Stammtheil gehalten wird«, stellt sich Westermaier das Weitersteigen des Wassers in diesem Schema folgenderweise vor:

»In *B* und oberhalb *B* seien die Parenchymzellen etwas was-

serarm geworden« (wodurch?). »Sie wirken saugend auf unterliegende wasserreichere Parenchymzellen des Holzes. Auf eine gewisse Entfernung wirkt, wie wir oben sahen, diese saugende Kraft; der Abstand zwischen *A* und *B* repräsentire diese Strecke. Durch diese Saugung innerhalb des Parenchyms können also auch Zellen im Niveau *B* allmälig zu höherem Wassergehalt und schliesslich in jenen Zustand gelangen, in welchem aus ihnen Wasser in das mit verdünnter Luft gefüllte Gefässsystem hineinfiltrirt. Die ausgeschiedenen Wassertropfen lassen wir zu einer kleinen Wassersäule sich sammeln; die Wassersäule wächst nun nach beiden Richtungen hin, nach unten und nach oben; wichtig ist, dass sie sich bis zu einer gewissen Länge selbst trägt, bis dahin also nicht den Wasserstand im Gefässsystem bei *A* durch ihr Gewicht herabdrückt. Bevor aber die maximale Länge erreicht wird, ist es schon sicher ein höheres Niveau, nämlich *C*, bis zu welchem ein höherer Turgor der Parenchymzellen durch Schöpfen aus den Gefässen sich entwickelt. Jetzt kann sich wiederum die saugende Kraft des Parenchyms geltend machen. Wie vorhin abwärts von *B* nach *A* die endosmotische Saugung wirkte, so wird sie nun von *D* nach *C* sich erstrecken und zwar mit dem schliesslichen Erfolge eines höheren Wassergehaltes in *D*. Nachdem nun in *D* der hydrostatische Druck innerhalb der Parenchymzellen so hoch gestiegen ist, dass der Filtrationswiderstand der Membranen, welche Parenchym und Gefässe scheiden, überwunden wird, dann erfolgt in *D* wie vorhin in *B* Filtration in die mit verdünnter Luft gefüllten Gefässe hinein«.

»Wiederum betone ich, dass die entstehende und heranwachsende Wassersäule sich bis zu einer gewissen Länge selbst trägt. In dieser Weise gehe das Spiel fort«.

»Frägt man nun nach den wirklichen Abständen der Punkte *A*, *B*, *C*, *D*, so kann man die Distanzen *A*—*B* und *C*—*D* nach unseren obigen Erfahrungen auf 80 cm und wohl auch auf mehr veranschlagen. Die Länge der Wassersäulen aber, die sich selbst tragen, d. h. also durch Capillarität gehalten werden, würde nach Obigem bei einem Gefässdurchmesser von 100 Mik. 5 cm, bei 25 Mik. Durchmesser 20 cm betragen«.

»Zwei Kräfte sind hiernach im Spiel: die endosmotische Kraft und die Capillarität; bewegend wirkt aber nur eine einzige, die endosmotische Kraft, und zwar theils durch Er-

zeugung eines hohen hydrostatischen Druckes, welcher eine Filtration in die Gefässe (Tracheiden) veranlasst, theils durch Saugung im Parenchym; die Capillarität wirkt blos haltend, nicht bewegend. So ist mit Zuhülfenahme der zwei genannten Kräfte, welche in den beiden Gewebesystemen thätig sind, das Steigen des Wassers auf beliebiger Höhe construirbar«.

Wir haben hier die Westermaier'sche Theorie mit den eigenen Worten des Verfassers wiedergegeben, und zunächst müssen wir bemerken, dass die Darstellungsweise eine nur skizzenhafte und sehr wenig erschöpfende ist. Wir wissen nicht, wie sich Westermaier die Ursachen der Wirkung der Hadromzellen denkt? Warum nehmen die einen Zellen das Wasser aus den trachealen Elementen auf, während die anderen Wasser in diese Elemente ausscheiden? Was ruft die zur Ursache der Wasserbewegung werdenden Unterschiede in dem Wassergehalt der Hadromzellen hervor? Das sind Fragen, auf welche wir in der Westermaier'schen Abhandlung die Antwort vermissen; es sind Lücken, welche der Verfasser ausfüllen sollte, um seine Theorie einer eingehenderen Discussion zugänglich zu machen. Doch schon jetzt lassen sich gegen die Westermaier'sche Theorie einige Bedenken anführen, die wichtig genug sind, um der ganzen Theorie einen nur sehr geringen Wahrscheinlichkeitsgrad zuzuschreiben. Diese Bedenken sind folgende:

1. Das Westermaier'sche Schema passt auf die Abiesarten, wo das die Markstrahlen untereinander verbindende Holzparenchym fehlt und wo das ganze secundäre Holz aus lauter Tracheiden und Markstrahlen besteht, nicht. Demnach ist die Westermaier'sche Theorie auf die Erklärung der Wasserbewegung im Abietineenholze nicht anzuwenden.
2. Es ist höchst unwahrscheinlich, dass die Wasserbewegung vorwiegend in den Parenchymzellen des Holzes von Zelle zu Zelle stattfinde; denn:
   a) Die endosmotisch wirksamen Flächen sind zwischen den Holzparenchymzellen sehr klein, da die übereinanderliegenden Zellen durch enge, stark verdickte und nur mit kleinen Tüpfeln versehene Zellwände von einander getrennt sind.
   b) Es ist längst bekannt, dass die osmotische Wasserbewegung auch dann, wenn die Bedingungen derselben viel

günstiger, als im Holzparenchym sind, eine nur sehr langsame ist. Westermaier selbst hat in seiner Arbeit constatirt, dass in dem Mark von Helianthus das Wasser 36 bis 48 Stunden brauchte, um eine Strecke von 80 cm durchzumachen; dagegen zeigte ja Sachs[1], dass die Geschwindigkeit des Transpirationsstroms in der Pflanze auf circa 1 Meter pro Stunde angegeben werden kann. Diese Geschwindigkeit ist also ungefähr 50-mal grösser, als dies aus dem Westermaier'schen Experimente zu schliessen wäre.

3. Die Westermaier'sche Theorie lässt den Einfluss, welchen die durch Transpiration in den Gefässen und Tracheiden hervorgerufene Saugung an der Wasserbewegung ausübt, unberücksichtigt. Wie sollten dann aber die Resultate der Hartig'schen Einsaugungsversuche, welche die Nothwendigkeit der Luftdruckdifferenzen in verschieden hoch liegenden Tracheiden für die Wasserbewegung nachgewiesen haben, erklärt werden?

Das sind die Bedenken, welche mir gegen die Westermaier'sche »Klettertheorie« zu sprechen scheinen und welche mir die Ueberzeugung gewähren, dass meine oben dargestellte Anschauungsweise auf die Bedeutung der Hadromzellen bei der Wasserbewegung der Wahrheit näher liegen, als die Westermaier'sche Theorie.

Zum Schluss möge noch eine eben erschienene vorläufige Mittheilung von Dr. Max Scheit[2] erwähnt werden.

Diese Arbeit hat wohl recht wenig zur Aufklärung der Frage über die Ursachen des Saftsteigens beigetragen. Als das einzige positive Resultat dieser Arbeit kann nur der Nachweis, dass durch ein geknicktes Sprossstück Wasser durchgepresst werden kann, dass also der Sachs-Dufour'sche Knickungsversuch als Beweis für die Richtigkeit der Imbibitionstheorie nicht stichhaltig ist, gelten. In dem theoretischen Theil seiner Arbeit hat Scheit sämmtliche Fehler, welche R. Hartig in der Erklärung der

[1] Sachs. »Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstroms in transpirirenden Pflanzen«. Arbeiten d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. II, S. 182.

[2] Dr. Max Scheit. »Die Wasserbewegung im Holze«. Bot. Zeit. 1884, No. 12, 13.

Wasserbewegung begangen hat, angenommen, ohne aber das Richtige der Hartig'schen Arbeit angenommen zu haben.

Scheit bestreitet das Bestehen der Jamin'schen Ketten in den Gefässen des Holzes, indem er nachzuweisen sucht, dass sämmtliche wasserleitende Gefässe und Tracheiden nur Wasser und Wasserdampf, aber keine Luft enthalten.

Es ist ganz eigenthümlich, dass, nachdem man eine so lange Zeit hindurch die Tracheiden und Gefässe lauter Luft enthalten liess, man jetzt behaupten will, dass in diesen Elementen überhaupt gar keine Luft vorhanden ist. Aber die ganze Beweisführung, welche Scheit für diese seine Behauptung durchzuführen sucht, müssen wir als vollständig verfehlt bezeichnen.

Scheit sucht nämlich durch Versuche festzustellen, dass die Wände der Tracheiden und der Gefässe, die Schliesshäute der Tüpfel mitbegriffen, für die Luft impermeabel sind, da auch bei der Anwendung eines hohen Druckes Luft durch das gefässfreie Holz der Coniferen und Farne sich nicht durchpressen lässt. Dass in diesem Sinne die Schliesshäute der Tüpfel für Luft impermeabel sind, zweifelt wohl Niemand, seit es bekannt ist, dass die Luft innerhalb der Gefässe eine geringere Tension als in der Atmosphäre hat; über das Vermögen der Schliesshäute aber, Luft durch eine äusserst langsame Diffusion, oder besser gesagt, Dialyse durchzulassen, sagen derartige Versuche gar nichts aus. Mögen aber die Schliesshäute der Tüpfel auch vollständig für Luft impermeabel sein, so wäre doch damit die Möglichkeit des Gelangens der Luft in die Lumina der trachealen Holzelemente nicht ausgeschlossen. Es ist nämlich höchst wahrscheinlich, dass die Luft in die Tracheiden und Gefässe im gelösten Zustande mit Wasser durch die Wurzeln gelangt. Der Umstand, dass, wie aus Hartig's Arbeit mit Sicherheit zu schliessen ist, die Tracheiden des unteren Stammtheiles mehr Luft enthalten als die Tracheiden der Baumkrone, spricht sehr für diese Anschauung. Wenn Scheit meint, dass es unwahrscheinlich ist, »dass absorbirte Luft durch die protoplasmareichen noch im Wachsthum begriffenen Zellen des wasseraufnehmenden Wurzelparenchyms gelangt, ohne für den Lebensprocess Verwendung gefunden za haben«, so ist zu bemerken, dass ja der Stickstoff, welcher sich auch im Wasser löst, keine Verwendung in Lebensprocessen findet, und dass der verbrauchte Sauerstoff durch gleiche Mengen

Kohlensäure ersetzt wird; dass also diese Gase leicht mit Wasser in die trachealen Elemente gelangen können. Nebenbei mag bemerkt werden, dass die wasseraufnehmenden Wurzelparenchymzellen meistens nicht mehr im Wachsthum begriffen sind, da ja bekanntlich die Wurzeln nur an der Spitze wachsen, während die Wasseraufnahme auf dem ganzen Wurzelhaare tragenden Theil erfolgt.

Wenn Scheit weiter sagt, dass uns keine Bedingungen bekannt sind, welche ein Freiwerden und Ansammeln von Luftblasen bedingten, so beweist er nur damit, wie wenig ihm gelungen ist, mit den elementaren Begriffen über die Gesetze der Absorption der Gase durch Flüssigkeiten ins Klare zu kommen. Wer so verwickelte physiologische Fragen, wie die über das Saftsteigen mit Erfolg bearbeiten will, dürfte ja wissen, dass, sobald eine Flüssigkeit, die gewisse Gase in Lösung enthält, mit einem luftleeren Raum in Berührung kommt, die gelösten Gase nothwendig aus der Flüssigkeit in diesen leeren Raum entweichen müssen. Scheit nimmt aber das Vorhandensein der luftleeren Räume in den Tracheiden und Gefässen an, und doch glaubt er behaupten zu müssen, dass in den trachealen Elementen die Bedingungen zum Freiwerden der gelösten Gase fehlen.

Uebrigens auch angenommen, dass wir, was durchaus nicht der Fall ist, das Gelangen der Luft in die Lumina der Tracheiden zu erklären nicht im Stande wären, würden wir nicht berechtigt sein, mit Scheit anzunehmen, dass in diesen Lumina überhaupt keine Luft vorhanden ist. Hätte Scheit die von ihm citirten verdienstvollen Arbeiten von R. Hartig aufmerksamer gelesen, so würde er in denselben mehrere Beweise gefunden haben, dass die Tracheidenlumina neben Wasser auch Luft enthalten. Glaubt denn Scheit, dass alles das, was Hartig in seinen Tabellen als Luftraum aufführt, thatsächlich einen nur Wasserdampf enthaltenden luftleeren Raum darstellt? Wenn so, wie denkt er sich dann den Umstand, dass diese luftleeren Räume in den unteren Baumtheilen grösser als in der Baumkrone sind? Aber auch in den älteren Arbeiten, wie in den von Faivre und Dupré: »Recherches sur les gaz du mûrier et de la vigne«[1], von Böhm: »Ueber die Zusammensetzung der in den Zellen und

[1] Annales des sciences naturelles, 1866, S. 361.

Gefässen enthaltenen Luft«[1] und endlich auch in dem Lehrbuche von Sachs[2] wird der Verfasser die nöthige Belehrung finden, welche ihn überzeugen dürfte, dass in den Holzelementen Luft, wenn auch in stark verdünntem Zustande, unzweifelhaft vorhanden ist.

Dublany bei Lemberg, 10. April 1884.

[1] Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen, Bd. XXI, S. 373.
[2] Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 382—388.

Einige Bemerkungen zur Auffassung der Reizerscheinungen an den wachsenden Pflanzentheilen.

(Botanisches Centralblatt, Bd. XXXIV, 1888, No. 15—20).

In No. 48 bis 51 der Botanischen Zeitung vom vorigen Jahre publicirte Wortmann eine hochinteressante Arbeit »Zur Kenntniss der Reizbewegungen«, in welcher er sämmtliche, durch die Wirkung äusserer Einflüsse hervorgerufene Krümmungen wachsender Organe auf Plasmaumlagerungen in den wachsenden Zellen und Zellencomplexen zurückführt. Auf Grund seiner eigenen und Kohl's Versuche wies nämlich Wortmann nach, dass der äussere Reiz, sei es Licht oder Schwerkraft oder Contact mit einem fremden Körper, zunächst in dem wachsenden Organ gewisse Plasmaumlagerungen hervorruft, die erst die bekannten Krümmungserscheinungen zur Folge haben: indem nämlich das Plasma entweder der Reizrichtung zu oder von ihr ab sich zu bewegen strebt, sammelt es sich auf einer Seite des Organs mehr als auf der anderen. Durch diese Plasmaansammlung wird auf der entsprechenden Seite des Organs eine grössere Menge von Zellstoffmolecülen gebildet, die Zellwände werden in Folge dessen dicker und also auch weniger dehnbar als auf der gegenüberliegenden Seite. Dieses Ungleichwerden der Dehnbarkeit der Zellhäute an den beiden Seiten des Organs, muss nun bei gleichbleibendem hydrostatischem Drucke eine Krümmung zur Folge haben, bei welcher die weniger dehnbare Seite zur concaven, die mehr dehnbare zur convexen wird. Auf diese Weise, wenn sich das Protoplasma nach der Reizrichtung hin bewegt, erfolgt eine positive, im umgekehrten Falle eine negative Krümmung des wachsenden Organs.

Ich bin beinahe vor vier Jahren auf Grund der schon damals bekannten Thatsachen zu einer ganz ähnlichen Auffassung der

Reizkrümmungen gekommen und habe dieselbe seitdem jährlich meinen Schülern bei den Vorlesungen vorgetragen, doch habe ich diese Ansichten nicht publicirt, da ich wegen des schlechten Zustandes meiner Gesundheit nicht im Stande war, die Sache experimental zu bearbeiten und durch entsprechende Versuchsresultate meine Anschauungen zu stützen. Wenn ich nun diese kleine Mittheilung der Oeffentlichkeit übergebe, so geschieht dies nicht im mindesten, um irgend welchen Anspruch auf Prioritätsrechte zu machen, sondern ausschliesslich deshalb, weil eben diese Erscheinungen, durch welche ich auf die von Wortmann eben publicirten Ansichten gebracht wurde, und welche mit dem von ihm bearbeiteten Thema auf das Innigste zusammenhängen, von Wortmann selbst mit keinem Worte erwähnt wurden. Es wird also vielleicht diese Mittheilung etwas zur Ergänzung und Erweiterung der Wortmann'schen Ansichten beizubringen geeignet sein.

Die erwähnten Erscheinungen, deren Zusammenhang mit seinem Thema Wortmann übersehen hat, sind nämlich die Regenerationserscheinungen der Pflanzenorgane und deren Abhängigkeit von äusseren Einflüssen. In den so überaus wichtigen Arbeiten Sachs's »Ueber Stoff und Form der Pflanzenorgane«[1] hat bekanntlich dieser berühmte Forscher die Behauptung aufgestellt, dass man ebensoviele specifische Bildungsstoffe annehmen muss, als verschiedene Organformen an einer Pflanze zu unterscheiden sind. Diesen fruchtbaren Grundgedanken hat dann Sachs an den Beispielen von spross- und wurzelbildenden Stoffen weiter zu entwickeln gesucht. Auf Grund seiner eigenen, sowie auch Vöchting's Versuche, leitet Sachs den Satz ab: »dass die räumliche Vertheilung von Wurzeln und Knospen, welche an einem regenerationsfähigen Stück entstehen, ganz vorwiegend davon abhängt, welches Ende des betreffenden Organstückes während seines normalen Wachsthums aufwärts und welches abwärts gekehrt war, so dass die räumliche Vertheilung selbst, als eine Wirkung der Schwere vielleicht unter Mitwirkung des Lichtes aufzufassen ist«[2]. Gleich darauf betont Sachs die Richtigkeit der alten Duhamel'schen Bemerkung »dass es scheine, als ob die zur Bildung der Sprosse geeignete Substanz

[1] Sachs in Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg. Bd. II.
[2] Sachs, l. c. p. 485.

eine Tendenz habe, aufwärts zu steigen, die zur Wurzelbildung geeignete aber nach unten hin strebe«. Wir brauchen nur diesen Satz auf horizontal gelegene und sich geotropisch aufwärts oder abwärts krümmende Sprosse oder Wurzeln anzuwenden und wir haben die Erscheinungen, welche Wortmann wirklich beobachtete und welche er seiner Erklärung der geotropischen Reizkrümmungen zu Grunde legt. In der That beobachtete Wortmann (bei den Wurzeln schon früher Ciesielski), dass bei geotropischer Aufwärtskrümmung des Sprosses eine Ansammlung des Plasmas an der Oberseite, bei der Abwärtskrümmung der Wurzel eine Ansammlung desselben an der Unterseite des Organs zu Stande kommt, dass also unter der Wirkung der Schwerkraft das Sprossplasma aufwärts, das Wurzelplasma abwärts sich zu bewegen strebt.

Auch bezüglich der Lichtwirkung auf die Organbildung nimmt Sachs einen Gegensatz zwischen spross- und wurzelbildenden Substanzen an, indem er sagt: »die Einwirkung des Lichtes auf die Bewegung organbildender Stoffe sei eine doppelte wie die Schwere: die wurzelbildende Substanz werde in der Richtung des Strahles von der Lichtquelle hinweg, die sprossbildende dagegen zur Lichtquelle hingetrieben«. Bei dieser Annahme beruft sich Sachs[1]: 1. auf die allgemein bekannte Thatsache, dass die Wurzelanlagen an oberirdischen Stengeltheilen nicht auszuwachsen vermögen, solange sie vom Licht getroffen sind, dass sie aber bald auswachsen, wenn sie verdunkelt werden; 2. auf die von Pfeffer nachgewiesene Thatsache, dass die Wurzelanlagen auf Marchantiathallus nur auf der Schattenseite entstehen; 3. auf seine eigenen Beobachtungen, dass an Epheustengeln Luftwurzeln an jeder der beiden Hauptseiten entstehen können, je nachdem die eine oder die andere beschattet wird; 4. auf die Beobachtungen von Prantl und Leitgeb, dass die Haarwurzeln und Geschlechtsorgane an Farnprothallien, je nach der Beleuchtung an der einen oder anderen Seite des Thallus entstehen können, indem sie immer an der Schattenseite sich bilden.

Dieser von Sachs hervorgehobene Gegensatz in dem Verhalten der spross- und wurzelbildenden Substanz gegen die Lichtwirkung stimmt nun wieder ganz und gar mit dem von Kohl und Wortmann beschriebenen Verhalten des Plasmas in den

[1] Sachs, l. c. p. 486.

wachsenden heliotropisch sich krümmenden Pflanzenorganen und ist wohl geeignet, uns zu erklären, warum die Sprosse in der Regel positiv, die Wurzeln aber negativ heliotropisch sind.

Auch in Bezug auf die Feuchtigkeitswirkung auf die Organbildung ist es leicht genug, Thatsachen aufzufinden, welche darauf hindeuten, dass auch hier, ebenso wie bei Licht- und Schwerkraftwirkung, ein ähnlicher Gegensatz zwischen spross- und wurzelbildenden Stoffen besteht: dass nämlich die letzten nach dem Orte der stärksten Feuchtigkeit hingetrieben werden, die ersten aber nicht. Es ist z. B. bekannt genug, dass man Wurzelbildung an den verschiedensten Orten sehr vieler Pflanzen künstlich hervorrufen kann, indem man die entsprechenden Pflanzentheile mit feuchten Gegenständen umgibt und im Dunkeln hält, dass dieses Feuchthalten eine nothwendige Bedingung der Neubildung und Weiterentwicklung der Wurzeln ist, dass dagegen die Knospen, seien es normale oder adventive, auch in relativ trockener Luft entstehen und auswachsen können. Diese Thatsachen haben ersichtlich mit den hydrotropischen Krümmungen der Pflanzenorgane eine gemeinsame Ursache.

Nach alledem sehen wir, dass, wie es schon hinreichend von Sachs betont wurde, die spross- und wurzelbildenden Stoffe, oder mit anderen Worten, das specifische Spross- und Wurzelplasma sich vielen Einflüssen gegenüber gerade entgegengesetzt verhalten; dass nämlich das specifische Wurzelplasma nach der Richtung der Schwerkraft und der grössten Feuchtigkeit hin, und in der Richtung des Lichtes, aber von der Lichtquelle hinweg, sich zu bewegen strebt, während das specifische Sprossplasma ein gerade entgegengesetztes Verhalten zeigt. Mit anderen Worten können wir sagen, dass das specifische Wurzelplasma positiv geotropisch und hydrotropisch, aber negativ heliotropisch, dagegen das specifische Sprossplasma positiv heliotropisch aber negativ geotropisch und hydrotropisch ist[1].

[1] Unter specifischem Spross- und Wurzelplasma verstehen wir nicht das gesammte Plasma dieser Organe, sondern nur diejenigen Plasmastoffe, welche als Träger der specifischen Eigenschaften dieser Organe zu betrachten sind; denn es ist anzunehmen, dass die wurzelbildenden Stoffe auch im Sprosse, die sprossbildenden auch in der Wurzel vorhanden sind, wie das aus den Neubildungen von Wurzeln auf Sprossen und vice-versa zu folgern ist, nur ist anzunehmen, dass der grösste Theil des Sprossplasmas aus

Die bekannten Reizkrümmungen bilden nur eine specielle Gruppe der Erscheinungen, welche durch diese Reizeigenschaften beider Plasmamodificationen bedingt werden.

Auf Grund des Gesagten können wir verschiedene Reizerscheinungen, welche durch Schwerkraft, Licht und Feuchtigkeit bewirkt werden, nach den entsprechenden Reizeigenschaften des specifischen Spross- und Wurzelplasmas folgendermaassen anordnen:

1. Erscheinungen, welche als Folgen des positiven Geotropismus des specifischen Wurzelplasmas aufzufassen sind:

a. Geotropische Abwärtskrümmung wachsender, aus ihrer normalen Lage abgelenkter Wurzeln.

b. Thatsache, dass an einem horizontal in feuchtem Raume aufgehängten Sprossstücke die Adventivwurzeln sich nur auf der unteren Seite bilden.

c. Thatsache, dass an einem abgeschnittenen und in natürlicher Lage senkrecht aufgehängten Sprossstücke die Adventivwurzeln sich nur am basiskopen Ende bilden (unmittelbare geotropische Wirkung + geotropische Nachwirkung + innere Disposition im Sinne Vöchting's).

sprossbildenden, der grösste Theil des Wurzelplasmas aus wurzelbildenden Stoffen besteht, und dass eben durch dieses Uebergewicht der einen oder der anderen Stoffe der Charakter des Organs und das Verhalten desselben gegen äussere Einflüsse bedingt werden. Da die Bildung von Adventivwurzeln und Knospen bei vielen Pflanzen sogar an den Blättern erfolgen kann, so ist anzunehmen, dass auch schon in den Blättern beide Arten der Bildungsstoffe, d. h. spross- und wurzelbildende Stoffe, oder mit anderen Worten beide Plasmamodificationen, d. h. dass specifische Spross- und Wurzelplasma gebildet werden, dass dieselben sich von hieraus über die ganze Pflanze verbreiten, aber so, dass theils aus inneren Ursachen, theils den verschiedenen Reizeigenschaften beider Plasmamodificationen zufolge, das specifische Sprossplasma vorwiegend nach oben zu den akroskopen Sprosstheilen, das specifische Wurzelplasma nach unten zu den basiskopen Sprosstheilen und weiter zu den Wurzeln wandert. In Folge dieser Art der Stoffwanderung enthält ein jedes Sprossstück um so mehr von specifischem Wurzelplasma, je weiter es von der Sprossspitze, ein jedes Wurzelstück um so mehr von Sprossplasma, je weiter es von der Wurzelspitze entfernt ist. Das reinste Sprossplasma ist also in der Nähe der Sprossspitze, das reinste Wurzelplasma in der Nähe der Wurzelspitze vorhanden.

d. Thatsache, dass am basiskopen Theile eines Sprosses überhaupt die Wurzelbildung leichter hervorzurufen ist als am akroskopen (geotropische Nachwirkung + innere Disposition im Sinne Vöchting's).

e. Thatsache, dass an den Brutknospen der Marchantieen die Haarwurzeln nur aus der unteren Fläche auswachsen etc.

2. Erscheinungen, welche als Folgen des negativen Heliotropismus des specifischen Wurzelplasmas aufzufassen sind:

a. Negativ-heliotropische Krümmungen vieler Wurzeln und Wurzelhaare bei einseitig stärkerer Beleuchtung.

b. Hemmende Wirkung des Lichtes auf die Neubildung und Weiterentwicklung der Wurzelanlagen.

c. Bildung der Adventivwurzeln ausschliesslich auf der Schattenseite eines einseitig beleuchteten Organs, z. B. Hedera- oder Lepisimumssprosse, Farnprothallien.

3. Erscheinungen, welche als Folgen des positiven Hydrotropismus des specifischen Wurzelplasmas aufzufassen sind:

a. Krümmung der Wurzeln nach der Richtung der grösseren Feuchtigkeit (Sachs' Experiment mit schräghängendem Sieb als Keimboden [1]).

b. Begünstigung der Neubildung und Weiterentwicklung der Wurzelanlagen durch feuchte Umgebung.

c. Thatsache, dass die Wurzeln der Pflänzchen, welche sich auf einem am Klinostaten rotirenden Torfwürfel entwickelten, sich diesem Torfe dicht anschmiegten oder sogar in denselben hineinwuchsen [2] etc.

4. Erscheinungen, welche als Folgen des negativen Geotropismus des Sprossplasmas zu betrachten sind:

a. Geotropische Aufwärtskrümmung wachsender, von ihrer normalen Lage abgelenkter Sprosse.

b. Thatsache, dass an einem aufwärts gerichteten Sprosse die höher liegenden Seitenknospen in der Regel vor den tiefer liegenden in der Entwicklung bevorzugt werden.

c. Thatsache, dass an einem horizontalliegenden Sprosse, möge

[1] Sachs, Arbeiten des botan. Inst. Würzburg. Bd. I. p. 212.

[2] Sachs, l. c. Bd. II. p. 219.

derselbe intact und mit der Mutterpflanze verbunden bleiben, oder abgeschnitten und in feuchten Raum gestellt werden, die nach oben gekehrten Knospen sich bei weitem schneller und besser entwickeln als die nach unten schauenden, welche letzteren sogar oft ganz schlafend bleiben.

d. Thatsache, dass bei den Versuchen von Sachs mit Opuntia crassa an der umgekehrten Pflanze sich neue Sprosse an dem ältesten Sprossgliede bildeten, also an einem Orte, an welchem sie sich nicht bilden würden, wenn die Pflanzen in ihrer natürlichen Stellung blieben [1].

e. Thatsachen, welche Sachs bei ähnlichen Versuchen mit einigen Yucca- und Cordylina-Arten beobachtet hat [2].

f. Thatsache, dass an abgeschnittenen und in feuchtem Raume gehaltenen Spross- und Wurzelstücken die Regeneration der Knospen an dem akroskopen Ende des Sprossstückes und am basiskopen Ende des Wurzelstückes erfolgt. (Geotropische Nachwirkung + innere Disposition im Sinne Vöchting's).

5. Erscheinungen, welche als Folgen des positiven Heliotropismus des specifischen Sprossplasmas aufzufassen sind:

a. Positiv-heliotropische Krümmungen wachsender Sprosse.

b. Thatsache, dass Keimpflänzchen, welche sich im Lichte, auf einem am Klinostate rotirenden Torfwürfel entwickeln, ihre hypokotylen Glieder senkrecht zur Torffläche stellen [3].

6. Erscheinungen, welche als Folgen des negativen Hydrotropismus des specifischen Sprossplasmas aufzufassen sind:

a. Negativ-hydrotropische Krümmungen der Fruchtträger von Phycomyces nitens [4].

7. Erscheinungen, welche als Folgen der Combination verschiedener Einflüsse zu betrachten sind:

Solche Erscheinungen sind selbstverständlich sehr zahlreich,

[1] Sachs, l. c. Bd. II. p. 701.

[2] Sachs, l. c. p. 479.

[3] Dietz, »Beiträge zur Kenntniss der Substratrichtung der Pflanzen«. Untersuchungen aus dem botanischen Institut zu Tübingen. Bd. II. 1888. Heft 3.

[4] Wortmann in Botan. Zeitg. 1881. p. 370.

da ja überhaupt sämmtliche Erscheinungen unter der Mitwirkung aller oben hervorgehobenen und noch vieler anderer Einflüsse zu Stande kommen und das Endresultat wird durch Uebergewicht des einen oder des anderen Einflusses bedingt. Es gibt aber Erscheinungen, welche überhaupt nur unter gleichzeitiger Zusammenwirkung mehrerer Einflüsse zu Stande kommen können, welche also von vornherein als Folgen der Combination mehrerer Einflüsse aufzufassen sind. Wenn sich z. B. Stecklinge in feuchter Erde bewurzeln, so erfolgt das unter dem combinirten Einflusse des positiven Hydrotropismus und Geotropismus und des negativen Heliotropismus des specifischen Wurzelplasmas, indem dasselbe anfangs im ganzen Stecklinge zerstreut, nach und nach sich an der feuchtesten, untersten und dunkelsten Stelle desselben ansammelt und hier die Neubildung und Weiterentwicklung der Wurzeln bewirkt.

Es könnte vielleicht Jemandem etwas befremdend erscheinen, dass die unter der Wirkung äusserer Einflüsse stattfindende Plasmaansammlung an irgend einem Orte der Pflanze einmal die Entwicklung des entsprechenden Organs beschleunigen, ein andermal aber dieselbe retardiren soll: dass z. B. die Ansammlung des Plasmas an der oberen Seite eines wagerecht liegenden Sprosses eine stärkere Entwicklung der hier liegenden Knospen, aber eine Verzögerung des Längenwachsthums des Sprosses selbst an dieser Seite und dadurch die Aufwärtskrümmung desselben zur Folge haben soll. Der scheinbare Widerspruch zwischen beiden Erscheinungen löst sich aber sehr leicht, wenn wir uns mit Sachs die verschiedenen Wachsthumsphasen eines Pflanzentheiles vergegenwärtigen. Wie bekannt, unterscheidet Sachs drei Perioden in dem Wachsthum eines jeden Organs: 1. den Zustand des embryonalen Wachsthums, 2. den Zustand der Streckung und endlich 3. den Zustand der inneren Differenzierung des Organs. »Während das äusserst langsame Wachsthum des embryonalen Gewebes durch eine entsprechende Zufuhr von Eiweisssubstanzen und Nucleïn stattfindet, besteht dagegen die Streckung in einer hauptsächlich durch Wasserzufuhr bewirkten Volumenzunahme der Zellen« [1]. Eine Neubildung oder Weiterentwicklung einer Knospe wird also um so leichter und rascher erfolgen, je mehr Eiweiss

[1] Sachs. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Leipzig 1882. p. 513.

und Nucleïn, also Plasma überhaupt an den Entstehungsort der Knospe zugeleitet wird; alle Einflüsse also, welche die Ansammlung des Plasmas an den Ort der Neubildung eines Organs oder an den Vegetationspunkt eines fertigen Organs befördern, befördern auch diese Neubildung, beziehentlich Weiterentwicklung des Organs. Ganz anders bei der zweiten Wachsthumsphase, d. h. bei der Phase der Streckung eines schon gebildeten Pflanzentheiles; hier beruht das Wachsthum der Hauptsache nach nur auf Wassereinlagerung, das Protoplasma der Zellen nimmt in dieser Phase nur sehr wenig oder vielleicht manchmal auch gar nicht an Masse zu, es ist also sehr leicht verständlich, dass jetzt ein stärkerer Zufluss des Plasmas zu den Zellen, durch Beförderung der Zellhautverdickung und Verminderung der Dehnbarkeit derselben, sehr leicht diese Wassereinlagerung, also auch das Längenwachsthum hemmen kann. Auf diese Weise ist es erklärlich, dass bei wagerechter Lage eines wachsenden Sprosses der negative Geotropismus des Sprossplasmas das Längenwachsthum der Oberseite des Sprosses hemmt, aber die Neubildung und Entwicklung der Knospen auf dieser Oberseite begünstigt, das es dagegen das Längenwachsthum der unteren Seite begünstigt, aber die Entwicklung der nach unten gekehrten Knospen unterdrückt.

Auf den etwaigen Einwand, dass der oben hervorgehobene Gegensatz des Spross- und Wurzelplasmas in ihrem Verhalten gegen äussere Einflüsse (Schwere, Licht, Feuchtigkeit) nicht in allen Organen verschiedener Pflanzen, welche wir morphologisch als Spross oder Wurzel auffassen, so ausgeprägt hervortritt, wie es an den typischen Sprossen und Wurzeln erster Ordnung der Fall ist, brauche ich nicht näher einzugehen, da dies schon von Sachs eingehend gemacht wurde[1]. Dass die Rhizome gegen Licht sich anders verhalten als oberirdische Sprosse, kann schon damit zusammenhängen, dass in ihnen wie in den reservestoffespeichernden Organen überhaupt, neben Sprossplasma auch sehr viel Wurzelplasma vorhanden sein muss. Auch ist es sehr wohl möglich, dass der bei den oberirdischen Sprossen einiger Pflanzen vorkommende negative Heliotropismus auf das Vorhandensein grösserer Menge des specifischen Wurzelplasmas in diesen Sprossen

[1] Sachs, Stoff und Form der Pflanzenorgane. (Arbeit. d. botan. Inst. z. Würzb. Bd. II. p. 696—698).

zurückzuführen ist. Ich möchte nur darauf hinweisen, dass an den, den negativen Heliotropismus so typisch zur Erscheinung bringenden Epheusprossen, die kleinen Würzelchen zahlreich an der Schattenseite derselben entstehen, was also deutlich auf einen grossen Gehalt an wurzelbildender Substanz in den Sprossen hindeutet. Ausserdem ist zu bemerken, dass der negative Heliotropismus dieser Sprosse erst in einer ziemlich grossen Entfernung von den Spitzen schon an der Stelle, an welcher sich auch die genannte Wurzelbildung zeigt, zum Vorschein kommt, dass dagegen das Ende der Sprossachse selbst, wo die kleinen Würzelchen sich noch nicht bilden, wo also offenbar noch sehr wenig wurzelbildende Substanz vorhanden ist, sich sogar manchmal positiv-heliotropisch krümmt.

Ich bin überzeugt, dass an der Hand der Annahme von specifischem Spross-und Wurzelplasma mit den ihnen eigenthümlichen Reactionseigenschaften gegen die äusseren Einflüsse sich auch mit der Zeit die ungemein complicirteren Wachsthumserscheinungen der plagiotropen Pflanzenorgane erklären lassen werden, obgleich es übrigens leicht möglich ist, dass hier neben den oben erörterten noch andere Momente mit ins Spiel kommen; soviel lässt sich aber schon jetzt mit Sicherheit sagen, wie das übrigens schon von Sachs hervorgehoben wurde, dass bei den plagiotropen Sprossen das specifische Sprossplasma sich mehr an der Rückenfläche, das specifische Wurzelplasma mehr an der Bauchfläche ansammelt, und dass diese Vertheilungsart der beiden Plasmaarten die Hauptursache des Plagiotropismus bildet.

Der von uns betonte Gegensatz von Spross- und Wurzelplasma in ihren Reactionen gegen äussere Einflüsse lässt sich ganz deutlich auch bei den Pilzen und sogar Myxomyceten beobachten: Die Sprosse sind hier durch die Fruchtträger, die Wurzeln durch Mycelien vertreten. Nun ist eine wohlbekannte Thatsache, dass z. B. die Fruchtträger vieler Mucorineen, ganz wie die Sprosse höherer Gewächse, einen deutlichen positiven Heliotropismus, einen negativen Geotropismus und einen negativen Hydrotropismus zeigen, ja die wichtigsten und entscheidendsten Versuche Wortmann's sind eben an diesen Objecten gemacht.

Bei den Myxomyceten können wir auch die Plasmodien, als mit den Charakteren des Wurzelplasmas, die Sporenbehälter, als mit den Charakteren des Sprossplasmas ausgerüstet, betrachten.

Bekanntlich sind die Plasmodien der Myxomyceten ganz ausgeprägt negativ-heliotropisch und positiv-hydrotropisch: sie suchen die dunkelste und feuchteste Stelle aus und eben deshalb treten sie nur selten an die Oberfläche der Substrate, welche sie bewohnen, hervor. Freilich werden die Bewegungen der Plasmodien nicht nur durch Licht und Feuchtigkeit, aber, wie das Stahl[1] eingehend gezeigt hat, durch viele andere Eingriffe, wie durch Richtung des strömenden Wassers, durch verschiedene chemische Substanzen etc. beeinflusst, doch spricht dieses Verhalten gegen ihre Aehnlichkeit mit dem Wurzelplasma höherer Gewächse nicht im mindesten; zumal wäre es zu untersuchen, ob auch bei den letzten ähnliche Einflüsse auf die Bewegung des Wurzelplasmas nicht mitwirken. Nur durch den Mangel des positiven Geotropismus weicht das Plasmodienplasma von dem Wurzelplasma höherer Gewächse deutlich ab.

Zur Zeit der Sporangienbildung werden die Eigenschaften des Myxomycetenplasmas insofern geändert und denen des specifischen Sprossplasmas höherer Gewächse genähert, als der positive Hydrotropismus sich jetzt in negativen umwandelt, wodurch, wie Stahl nachgewiesen hat, das Senkrechtstehen der Sporangien auf dem Substrate bedingt wird.

Wenn die Zusammengehörigkeit der Erscheinungen, welche wir bis jetzt betrachtet haben, als vollkommen klar und sichergestellt angesehen werden kann, so ist wenigstens wahrscheinlich, dass noch eine Reihe anderer Erscheinungen, zu welchen wir uns jetzt wenden wollen, auch hierher gehört.

In der Arbeit, welche uns zu dieser Notiz veranlasste, berichtet Wortmann über Versuche, bei welchen er Internodien einiger Sprosse geotropisch oder heliotropisch reizte, zugleich aber dafür sorgte, dass die Krümmung, welche durch diesen Reiz erfolgen sollte, verhindert werde. Nun beobachtete Wortmann, dass das Protoplasma sich an einer durch Richtung des Reizes bedingten Seite des Organs ansammelte, und dass an dieser Seite die Zellen stark kollenchymatisch verdickt wurden, viel stärker als an der gegenüberliegenden Seite. Ist dieser Reiz das Licht, so bewirkt eben dieses Licht, dass das Plasma nach der Richtung der einfallenden Strahlen hin wandert, dass es sich an

[1] Stahl Zur Biologie der Myxomyceten. (Botan. Zeitg. 1884).

der stärker beleuchteten Seite ansammelt, und dass es hier die kollenchymatische Wandverdickung verursacht. Nun liegt die Annahme sehr nahe, dass, wenn das wachsende Internodium an allen Seiten gleichmässig stark vom Lichte getroffen wird, sich in Folge dieser Lichtwirkung in den äusseren Rindenzellen mehr Plasma ansammelt als in den inneren, und dass eben aus diesem Grunde die kollenchymatische Ausbildung der äusseren Rindengewebe eines allseitig beleuchteten Internodiums zur Ausbildung kommt. Dass das Licht zur Ausbildung des Kollenchyms der Stengel nothwendig ist, ist längst bekannt; wir wissen ja, dass bei den etiolirten Pflanzen das Kollenchym kaum angedeutet wird, bisher wusste man aber nicht zu erklären, auf welche Weise das Licht hier mitwirkt; jetzt aber, auf Grund von Wortmann's Versuchen, können wir sagen, dass dieser Einfluss in der anziehenden Wirkung, welche das Licht auf das specifische Sprossplasma ausübt, begründet ist; und also, wenigstens mit grosser Wahrscheinlichkeit, können wir den Satz aussprechen: dass die Ausbildung des Kollenchyms unter der Epidermis der Stengel vieler Pflanzen eine Folge des positiven Heliotropismus des specifischen Sprossplasmas ist.

Auch ist nicht unwahrscheinlich, dass die stärkere Verdickung äusserer Zellwände der Epidermis selbst, welche bekanntlich auch vom Licht beeinflusst wird, in dieselbe Kategorie der Erscheinungen gehört. G. Haberlandt in seiner neuesten Arbeit[1], welche die Lage des Zellkernes zum Gegenstand hat, fand nicht nur, dass in den noch wachsenden Epidermiszellen der Zellkern den äusseren sich stärker verdickenden Zellwänden anliegt, sondern auch, dass an denselben immer eine grössere Plasmaansammlung als an den übrigen Wänden zu beobachten ist. Möge es nun mit der Betheiligung des Zellkerns bei dem Zellhautwachsthum sein wie ihm wolle, so viel ist sicher, dass diese Plasmaansammlung an den äusseren sich stärker verdickenden Zellwänden der Epidermis den, von Wortmann anderswo beobachteten, Thatsachen vollständig entspricht, und dass sie also als die unmittelbarste Ursache der stärkeren Verdickung dieser Wände angesehen werden darf. Wenn man anderseits berücksichtigt, dass die Ab-

[1] Haberlandt G., Ueber die Beziehung zwischen Function und Lage des Zellkernes in den Pflanzen. Jena 1887.

hängigkeit der Dicke der äusseren Epidermiszellwände vom Lichte vielfach beobachtet wurde, dass bei den etiolirten Pflanzen die Epidermiszellwände fast unverdickt bleiben, so wird wahrscheinlich, dass die Verdickung der äusseren Zellwände der Epidermiszellen auch als Folge der positiv-heliotropischen Eigenschaften des Epidermisplasmas zu betrachten ist.

Wenn aber die Verdickung der äusseren Epidermiswände und die kollenchymatische Ausbildung der äusseren Rindengewebe der Stengel als Folge des positiven Heliotropismus des specifischen Sprossplasmas aufgefasst werden kann, so muss auch das Zustandekommen der Gewebespannung in den wachsenden Internodien zu den Folgen dieses Heliotropismus mitgerechnet werden, da ja diese Gewebespannung auf der geringeren Dehnbarkeit der äusseren gegen die inneren Gewebeschichten beruht.

Ist die Pflanze der Lichtwirkung entzogen und etiolirt sie, so wird bekanntlich die Gewebespannung auf das Bedeutendste herabgedrückt und zwar deshalb, weil die Epidermiswände sämmtlich zart bleiben und das Kollenchym sich nicht ausbildet.

Diese Erwägungen geben uns aber auch den Schlüssel zum Verständniss der wahren Ursache der Ueberverlängerung der Stengel der meisten etiolirten Pflanzen. In den gewöhnlichen Verhältnissen, wenn die Pflanze der Lichtwirkung ausgesetzt ist, wandert das Plasma der wachsenden Internodien nach der Lichtrichtung hin und sammelt sich in Folge dessen in den äusseren Rindenzellen, bewirkt die kollenchymatische Wandverdickung derselben, vermindert dadurch ihre Dehnbarkeit immer mehr und steckt bald ihrem Längenwachsthum eine Grenze; ganz anders in der Dunkelheit: hier fehlt es an der Kraft, welche unter gewöhnlichen Umständen das Plasma nach den äusseren Gewebeschichten treibt, in Folge dessen die kollenchymatischen Zellwandverdickungen der äusseren Rindenzellen sowie die Ausbildung der Cuticula an Oberhautzellen unterbleiben; die äusseren Gewebeschichten bleiben sämmtlich zart und dehnbar, folgen der dehnenden Kraft des eigenen Turgors und der Gewebespannung leicht nach, und so steht dem Längenwachsthum durch Wassereinlagerung nichts im Wege, es geht rasch vor sich, dauert lange und bringt die bekannten Erscheinungen der Ueberverlängerung der Internodien mit dem so überaus grossen Wassergehalt derselben zu Tage.

Die unlängst von Kohl[1] aufgefundene Thatsache, dass die Kollenchymausbildung und die Entwicklung der Cuticula an der Epidermis einer in trockener Luft erzogenen Pflanze eine viel stärkere ist als bei einer ähnlichen Pflanze, welche unter sonst gleichen Verhältnissen, aber in feuchter Luft erzogen wurde, kann vielleicht auch auf die Reizeigenschaften des specifischen Sprossplasmas und zwar auf den negativen Hydrotropismus desselben zurückgeführt werden. Da nämlich das specifische Sprossplasma nicht nur positiv-heliotropisch sondern auch negativ-hydrotropisch ist, so ist anzunehmen, dass die grössere Plasmaansammlung in den äusseren Gewebeschichten, welche die grössere Zellwandverdickung dieser Zellen verursacht, nicht nur durch den positiven Heliotropismus, sondern auch durch den negativen Hydrotropismus dieses Plasmas bedingt wird. Wächst also eine Pflanze im Lichte in trockener Luft, so wird die Plasmaansammlung in den äusseren Zellen durch Licht und Trockenheit, wächst sie in feuchter Luft, so wird sie nur durch das Licht bewirkt; es ist also verständlich, dass im ersten Falle eine grössere Plasmaansammlung, folglich auch eine stärkere Kollenchymbildung zu Stande kommen wird als im zweiten.

Auch die morphologische Thatsache, dass die Knospen, d. h. die neuen Sprosse, als Ausstülpungen der äusseren Gewebe entstehen, während die Wurzeln immer endogenen Ursprunges sind, hängt höchst wahrscheinlich mit dem Gegensatz der Reizeigenschaften des specifischen Spross- und Wurzelplasmas zusammen. Dass die Knospen an den Stellen sich nur bilden können, an welchen sich das specifische Sprossplasma oder, nach Sachs' Worten, sprossbildende Stoffe ansammeln, liegt auf der Hand, ebenso, dass Wurzelanlagen nur an denjenigen Orten entstehen können, an welchen sich das specifische Wurzelplasma ansammelt. Da nun das specifische Sprossplasma in Folge seiner positiv-heliotropischen und negativ-hydrotropischen Eigenschaften die Tendenz hat sich nach den äusseren Zellschichten zu bewegen, das Wurzelplasma aber als heliotropisch-negativ, sich von den äusseren Zellschichten entzieht, so ist nicht wunderbar, dass sich die Verhältnisse so gestaltet haben, dass die Knospen wenigstens der

[1] Kohl, Die Transpiration der Pflanzen und ihre Einwirkung auf die Ausbildung pflanzlicher Gewebe. Braunschweig 1886.

Regel nach exogen, die Wurzeln immer endogen entstehen. Freilich entstehen die Nebenwurzeln an den Hauptwurzeln auch endogen, obgleich hier die Wirkung des Lichtes ausgeschlossen ist, da ja die Wurzeln in der Erde, also in Dunkelheit, leben, doch kann diese Thatsache wieder mit dem positiven Hydrotropismus des Wurzelplasmas zusammenhängen. In der That sehen wir, dass die Wurzelanlagen immer dicht neben den Gefässen, also neben den Gewebeelementen, welche mit Wasser gefüllt sind, entstehen.

Bei den obigen Betrachtungen haben wir nur die durch Schwerkraft, Licht und Feuchtigkeit bewirkten Reizerscheinungen berücksichtigt. Mit der Empfindlichkeit auf diese Reize werden aber bekanntlich die Reizeigenschaften des Protoplasmas noch nicht erschöpft. Reizerscheinungen, welche durch Contact mit fremden Körpern, durch Einfluss gewisser chemischer Substanzen etc. bewirkt werden, sind ja bekanntlich längst nachgewiesen worden. Es ist klar, dass, wenn irgend ein Reiz gewisse Plasmaumlagerungen in den Zellen eines wachsenden Organs verursacht, dass er auch damit einen Einfluss auf das Wachsthum und die Gestaltung dieses Organs ausüben kann. Ganz besonders sind es verschiedene chemische Reize, welche von grossem Einfluss auf die Gestaltung und innere Gewebedifferenzirung der Pflanzenorgane sein müssen. Durch die wichtigen Untersuchungen Pfeffer's[1] wissen wir, dass gewisse chemische Substanzen eine anziehende Wirkung auf einige frei bewegliche Pflanzenzellen ausüben, dass z. B. Aepfelsäure die Spermatozoiden der Farne, Rohrzucker Spermatozoiden von Laubmoosen, Fleischextract Zoosporen von Saprolegnien anlockt; warum sollte denn auch das Plasma gewisser Zellen in den wachsenden Organen durch gewisse chemische Substanzen nicht angezogen oder abgestossen werden? Wenn wir z. B. zwischen den dünnwandigen Zellen zuweilen ganze Nester stark verdickter Zellen antreffen, so ist höchst wahrscheinlich, dass in diesen Zellen gewisse chemische Substanzen bei dem Stoffwechsel erzeugt werden, welche auf das Protoplasma anziehend wirken, und dass auf diese Weise das zur Verdickung dieser Zellen nöthige Plasma denselben zugeleitet wird.

Bei unseren Betrachtungen haben wir nur den Gegensatz von

[1] Pfeffer, Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. (Unters. a. d. bot. Inst. Tübingen. Bd. I. Heft 3. 1884).

Reizeigenschaften des specifischen Spross- und Wurzelplasmas speciell berücksichtigt, es ist aber kaum nöthig hervorzuheben, dass wir damit nicht zu behaupten gedenken, dass überhaupt nur diese zwei Plasmaarten zu unterscheiden wären, vielmehr müssen wir mit Sachs ebensoviele Plasmamodificationen annehmen, als es verschiedene Formen der Pflanzenorgane gibt, auch die verschieden sich gestaltenden Zellen eines und desselben Organs müssen in Bezug auf die Stoffe, aus welchen ihr Plasma zusammengesetzt ist, von einander abweichen. Diesen verschiedenen Plasmamodificationen können wieder ganz verschiedene Reizeigenschaften zukommen, und es ist leicht begreiflich, dass diese Reizeigenschaften das Ihrige bei dem Wachsthum und der Gestaltung der entsprechenden Organe beitragen müssen.

Dublany bei Lemberg, 30. Januar 1888.

Über die tägliche Periodicität des Längenwachsthums.

Vorläufige Mittheilung.

(Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Krakau, 1889, Nr. 6. Juni).

Eine von Temperatur und Feuchtigkeitsschwankungen unabhängige tägliche Periodicität des Längenwachsthums ist mit Sicherheit zunächst durch Sachs nachgewiesen worden. Aus einer langen Reihe seiner Messungen folgert der genannte Forscher »dass die Wachsthumsgeschwindigkeit eines normalen gesunden Stengels am frühen Morgen nach Sonnenaufgang täglich ein Maximum erreicht, dass dann die stündliche Verlängerung im Laufe des Tages bis zum Abend hin abnimmt, um mit eintretender Dunkelheit oft schon vor Sonnenuntergang wieder an Geschwindigkeit zuzunehmen, und diese Zunahme des Wachsthums dauert bis nach Sonnenaufgang, wo wieder das Maximum erreicht wird«. Dieses Resultat von Sachs wurde bald durch die Untersuchungen Prantl's auch auf die Blätter ausgedehnt. Diese tägliche Wachsthumsperiode erklärt Sachs durch die das Wachsthum retardierende Lichtwirkung. Da sich dieselbe während des Tages immer mehr geltend macht, so verlangsamt sich das Wachsthum am Tage, bis es am Abend das Minimum erreicht; mit dem Eintritt der Dunkelheit dagegen verschwindet diese retardierende Lichtwirkung, das Wachsthum wird wieder beschleunigt und erreicht sein Maximum kurz vor der Zeit, in welcher die nach Sonnenaufgange wieder steigende Lichtintensität von Neuem ihre retardierende Wirkung geltend zu machen anfängt. Nun zeigte aber Baraniecki, dass auch in constanter Finsterniss, selbst bei den etiolierten Pflanzen, periodisch wiederkehrende Schwankungen in der Wachsthumsgeschwindigkeit vorkommen. Mit Berücksichtigung dieser Thatsache nimmt Sachs an, dass in den

wachsenden Pflanzentheilen gewisse Aenderungen ganz unabhängig von Temperatur- und Lichtschwankungen vorkommen, dass sie aber als schwächere Faktoren durch die wachsthumretardierende Lichtwirkung bei normalem Wechsel von Tag und Nacht derart beherrscht werden, dass die Wachsthumsmaxima in die Morgen-, die Wachsthumsminima in die Abendstunden verlegt werden.

Der Vortragende hat sich die Aufgabe gestellt, die nächsten Ursachen der täglichen Wachsthumsperiode zu erforschen, nämlich festzustellen, ob dieser Periodicität entsprechende Schwankungen in der Dehnbarkeit der Zellhäute, oder in der endosmotischen Wirkung des Zellsaftes zu Grunde liegen, oder ob vielleicht überhaupt nicht die Schwankungen in der Turgorausdehnung, sondern andere Ursachen, z. B. Schwankungen in den chemischen Processen der Zellhautbildung, die tägliche Wachsthumsperiode bedingen.

Als Untersuchungsmaterial wurden Epicotyle von Phaseolus multiflorus verwendet. Die Messungen wurden mit Baraniecki'schem Auxanometer ausgeführt. Bei der Ausführung der Versuche hat sich bald herausgestellt, dass das gewählte Object sich ganz entgegengesetzt den Pflanzen verhalte, mit welchen Sachs experimentierte. Am Tage war das Wachsthum von Phaseolusepicotylen bedeutend grösser als in der Nacht. Anstatt in den ersten Morgenstunden, war das Wachsthumsmaximum erst in späten Nachmittagsstunden, etwa um 6 oder 8 Uhr Abends erreicht; das Wachsthumsminimum fiel dagegen auf die letzten Nachtstunden, manchmal erst nach Sonnenaufgang. Diesen Gang der Wachsthumsperiode erläutert der Vortragende an mehreren graphisch dargestellten Curven, welche auch zugleich die Unabhängigkeit der Periode von den geringen Temperaturschwankungen deutlich zu Tage stellen.

Aus diesem Verlauf der täglichen Wachsthumsperiode bei Phaseolus folgert der Vortragende, dass die wachsthumretardierende Lichtwirkung nicht immer die Ursache der täglichen Periodicität des Längenwachsthums sein kann.

In constanter Finsterniss verhielten sich die etiolierten Phaseolusepicotyle verschiedenartig Die Pflanzen, welche der Vortragende aus den im Jahre 1887 geernteten Samen zog, zeigten immer eine sehr ausgeprägte Periodicität des Längenwachsthums,

nur waren die Perioden im Gegensatz zu den Lichtpflanzen von verschiedener und meist von immer kürzerer Dauer. Als sich der Vorrath der Samen von 1887 erschöpfte und zu weiteren Versuchen die Samen aus der Ernte von 1888 benutzt wurden, liess sich keine Periodicität mehr bei dem Wachsthum der etiolierten Pflanzen konstatieren. Wie diese Thatsache zu erklären ist, vermag der Vortragende nicht zu sagen.

Was die Ursachen der Periodicität anbetrifft, so konnte der Vortragende bei seinen bisherigen Versuchen nicht konstatieren, dass zur Zeit der Wachsthumsmaxima der täglichen Periode eine grössere Dehnbarkeit der Zellhäute, oder überhaupt eine grössere Turgorausdehnung der wachsenden Strecke als zur Zeit der täglichen Wachsthumsminima vorhanden wäre. Daraus ist zu folgern, dass weder periodische Schwankungen in der Turgorkraft noch periodische Aenderungen der Dehnbarkeit der Zellhäute die Ursache der täglichen Periode des Längenwachsthums sind: vielmehr ist anzunehmen, dass diese Periode durch eine gewisse Periodicität der chemischen Processe, welche bei der Zellhautbildung mitspielen, bedingt sein muss.

Der Vortragende berichtet weiter, dass die Ueberverlängerung der epicotylen Glieder bei den etiolierten Keimlingen keineswegs durch eine grössere Turgorkraft in der Dunkelheit bedingt ist. Im Gegentheil, bei Lichtpflanzen ist die Turgorkraft wachsender Zellen oft grösser als bei etiolierten. Die Hauptursache der Ueberverlängerung ist in einer länger dauernden Dehnbarkeit der Zellhäute etiolierter Pflanzen zu suchen.

In Bezug auf die grosse Wachsthumsperiode fand der Vortragende, dass das Wachsthum eines Internodiums (hier der epicotylen Glieder) früher erlischt als seine Turgorausdehnung. Zur Zeit, als das Internodium schon vollkommen zu wachsen aufgehört hat, betrug die Turgorausdehnung der höher liegenden Querzonen des Internodiums noch ungefähr 3% der ursprünglichen Länge, dagegen die weiter liegenden Querzonen zeigten schon keine Turgorausdehnung.

Ueber die biologische Bedeutung der Etiolierungserscheinungen.

(Biologisches Centralblatt, Bd. IX, 1889, pp. 481—489).

Wenn wir irgend eine Pflanze in konstanter Finsternis wachsen lassen, so wird bekanntlich der ganze Habitus derselben geändert: nicht nur unterbleibt das normale Ergrünen der Pflanze, so dass die Blätter gelb und die Internodien blendend weiss werden, sondern auch die ganze Gestalt der Pflanze erliegt einer Umänderung. Ist es eine dikotyle Pflanze, so verlängern sich die Internodien über das gewöhnliche Mass, die Blätter dagegen bleiben klein, breiten sich nicht flach aus, sondern bleiben gefaltet wie im Knospenzustande; ist es eine monokotyle Pflanze, z. B. irgend ein Gras, so erliegen auch die Blätter einer Ueberverlängerung, bleiben aber dafür enger und weniger ausgebreitet als am Lichte. Diese Veränderungen werden bekanntlich Etiolierungserscheinungen genannt.

Man hat sich vielfach bemüht die Ursachen der Etiolierungserscheinungen aufzuklären, d. h. zu untersuchen, auf welche Art und Weise dieselben durch Lichtmangel hervorgerufen werden, aber kein Forscher, so viel ich weiss, hat bis jetzt die Frage aufgeworfen, ob diese Etiolierungserscheinungen von irgend welcher Bedeutung für das Pflanzenleben sind, man hat sich einfach damit begnügt, sie als Krankheitszustand der Pflanze zu bezeichnen. Auch in den neuesten Lehrbüchern der Pflanzenphysiologie ist die Sache in diesem Sinne dargestellt.

So sagt z. B. Sachs in seinen bekannten Vorlesungen über Pflanzenphysiologie: »Daraus folgt nun offenbar, dass das Kleinbleiben etiolierter Blätter von Keimpflanzen andere Ursachen haben muss, die wir damit einfach bezeichnen, dass wir die etiolierten Blätter, was übrigens auch von den überlangen Sprossaxen gilt, als krank bezeichnen«.

Bei dieser Auffassung hat man aber vergessen, dass diese Krankheit von einer jeden Pflanze im Anfang ihrer Entwicklung durchgemacht werden muss, ja dass, wenn die Pflanze diese Krankheit durchzumachen nicht die Fähigkeit hätte, mit andern Worten wenn sie sich in der Dunkelheit gleich wie im Lichte verhielte, dass dann ihre Existenz kaum möglich wäre. Um das zu verstehen, wollen wir uns vergegenwärtigen, was mit einem etwas tiefer in feuchte Erde gestellten Samen geschieht, oder wie sich neue Sprosse aus einer Knolle oder aus einem Rhizom, wenn dasselbe mehrere Zentimeter tief unter der Erde steckt, entwickeln.

Der Embryo des Samens fängt an zu wachsen, d. h. sein Würzelchen verlängert sich, durchbricht die Samenschale und versenkt sich immer tiefer in die Erde. Auf der andern Seite streckt sich das hypokotyle oder das epikotyle Stengelglied aus, verlängert sich immer mehr, bis es endlich die Kotyledonen oder die ersten Laubblätter samt der ganzen Plumula über die Erde hinausschiebt. Ganz ähnlich entwickelt sich irgend ein Knollenauge oder irgend eine Knospe eines Rhizoms; nur werden hier oft mehrere Internodien gebildet und entwickelt, bevor die Sprossspitze über die Erde emporgehoben wird.

Sowohl die aus einem Samen sich entwickelnde Keimpflanze, wie auch ein aus einer Knolle oder einem Rhizom austreibender Spross wächst, so lange er sich unter der Erde befindet, in konstanter Finsternis und zeigt, wie man sich leicht durch Abgraben der Erde überzeugen kann, alle Eigenschaften einer etiolierten Pflanze. Die weisse Farbe der Stengel, die gelbe der Blätter, die Ueberverlängerung der ersteren, das Kleinbleiben der letzteren, kurz alles, was den Charakter der etiolierten Pflanzen ausmacht, ist hier auf das deutlichste zu beobachten. Je tiefer der Same, die Knolle oder das Rhizom unter der Erde liegt, desto länger dauert diese Entwicklung in der Dunkelheit, desto deutlicher ist auch der etiolierte Zustand der jungen Pflanze oder des jungen Sprosses zu konstatieren. Erst wenn der Spross die Oberfläche der Erde erreicht und der Lichtwirkung ausgesetzt wird, fangen seine weitern Teile, welche sich schon am Lichte entwickeln, an, gewöhnliche, normale Gestalten anzunehmen. Die jetzt sich bildenden Internodien werden kürzer und derber, die Blätter grösser und flach ausgebreitet, sämmtliche Teile ergrünen, kurz sowohl die

Blätter als die Stengel entwickeln sich erst jetzt in der Art und Weise, welche wir als normal zu bezeichnen gewohnt sind.

Dürfen wir denn aber diese erste noch unter der Erde durchgemachte Entwickelungsperiode als etwas krankhaftes bezeichnen? Ich glaube es nicht. Die Krankheit ist ja etwas, was dem Organismus schädlich, seine Existenz bedrohend ist, dem entgegen werden wir zeigen, dass die Etiolierung junger Sprosse, so lange dieselben unter der Erde verborgen bleiben, nicht nur nicht schädlich, sondern gradezu für die Pflanze sehr nützlich ist, dass es im Gegentheil schädlich wäre, wenn die Entwicklung in der Dunkelheit eine gleiche wie im Lichte wäre. Wir wollen das etwas näher beleuchten.

Zunächst was die dikotylen Pflanzen anbetrifft.

Wir wissen, dass sich das Etiolieren bei den dikotylen Pflanzen durch eine Ueberverlängerung der Stengel und durch Kleinbleiben der Blätter resp. Kotyledonen geltend macht. In einer Arbeit, welche ich vor 10 Jahren über Etiolierungserscheinungen publiziert habe[1], wies ich nach, dass der Ueberverlängerung der Stengel in der Dunkelheit eine doppelte Ursache zu Grunde liegt: 1) dass aus dem im Samen resp. in der Knolle oder im Rhizom aufgespeicherten Vorrat an Reservestoffen eine grössere Menge derselben als unter gewöhnlichen Umständen zum Wachstum der Internodien verwendet wird, und 2) dass diese zum Wachstum verwendeten plastischen Stoffe sich mit einer grössern Menge von Organisationswasser verbinden, als dann wenn das Wachstum im Lichte vor sich geht. Beide diese Ursachen haben zur Folge, dass die etiolierten Internodien bedeutend länger, aber dafür bedeutend weniger derb, dünnwandiger, überhaupt schwächer als bei Lichtpflanzen sind.

Inbezug auf das Kleinbleiben der Blätter und der Kotyledonen in der Dunkelheit zeigte ich wieder, dass es dadurch bedingt wird, dass 1) zum Wachstum der Blätter und Kotyledonen bei der etiolierten Pflanze viel weniger vom plastischen Material verwendet wird als bei Lichtpflanzen und 2) dass dieses plastische Material bei den etiolierten Pflanzen mit einer viel kleinern Menge von Organisationswasser verbunden wird als bei den grünen. So

[1] Botanische Zeitung. 1879.

z. B. von je 9 mg der organischen Trockensubstanz eines *Raphanus*-Samens wurden verwendet:

	bei etiolierter Pflanze	bei grüner Pflanze
zum Wachstum der hypokotylen Glieder	2,81	1,17
» » » Kotyledonen . . .	2,31	4,28

Auf je 1 mg der organischen Trockensubstanz wurde an Organisationswasser gefunden:

	bei etiolierter Pflanze	bei grüner Pflanze
im hypokotylen Gliede	65 mg	33,3 mg
in den Kotyledonen	10,4 »	19,2 »

Von gleichen Mengen der organischen Trockensubstanz eines *Phaseolus*-Samens wurden verwendet:

	bei etiolierter Pflanze	bei grüner Pflanze
zum Wachstum der Blätter	0,042 g	0,075 g
» » » Stengel	0,202 »	0,142 »

Auf je 1 mg der organischen Trockensubstanz wurde an Organisationswasser gefunden:

	bei etiolierter Pflanze	bei grüner Pflanze
in den Blättern	6,2 mg	17,8 mg
in dem Stengel	19,2 »	15,8 »

Jetzt überlegen wir uns, was die Pflanze dadurch gewinnen würde, wenn sie schon unter der Erde, also zur Zeit, wo sie noch gänzlich in der Dunkelheit verborgen ist, sich in gleicher Art und Weise entwickelte, als sie es später im Lichte thut.

So lange die Pflanze unter der Erde steckt, könnten die Blätter auch dann, wenn sie gross und flach ausgebreitet wären, wenn sie ganz normale und grüne Chloroplasten in den Mesophyllzellen besässen, nicht assimilieren, da ja Licht, welches zur Assimilation unentbehrlich ist, noch keinen Zutritt zu ihnen hat. Es wäre also eine unnützliche Verschwendung des plastischen Materials, wenn dasselbe schon zu dieser Zeit vorwiegend zum Wachstum der Blätter verwendet würde. Noch wichtiger ist, dass solche grosse und flach unter der Erde ausgebreitete Blätter das Hinausschieben der Sprossen über die Erdoberfläche bedeutend erschweren müssten. Ein wachsender Spross mit schon unter der Erde aus-

gebreiteten und grossen Blättern müsste eine verhältnismässig so enorme Erdemenge vor sich schieben, dass der Widerstand, welchen ihm diese Erde entgegenstellen würde, kaum für ihn zu bewältigen wäre. Aber auch angenommen, dass der wachsende Spross diesen Widerstand zu überwinden vermöchte, so würden dabei ohne Zweifel die kaum gebildeten Blätter mehrmals zerrissen, so dass der Spross, ehe er ans Licht käme, verschiedene Verletzungen und Beschädigungen erleiden müsste.

Auch das langsame und verhältnismässig kurz dauernde Wachstum der Internodien, welches ganz entsprechend und zweckmässig am Lichte ist, wäre in dieser Anfangsperiode, wo die Entwicklung in Dunkelheit unter der Erde vor sich geht, vollkommen unzweckmässig. Denn es ist leicht begreiflich: je langsamer das Wachstum der Internodien unter der Erde vor sich ginge, desto später könnte die Pflanze das Licht erreichen, desto später also könnten auch die Blätter ihre assimilatorische Thätigkeit beginnen. Dabei ist noch zu bemerken, dass diese Verspätung der selbständigen Ernährung der Pflanze für dieselbe insofern gefährlich würde, als ja die Pflanze immerfort atmen muss. In einer bestimmten Zeit veratmet die Pflanze viel mehr von plastischem Material, als sie zum Wachstum verbraucht, und dem zu Folge könnte es leicht eintreten, dass wenn die Pflanze infolge eines langsamen Wachstums der Internodien zu lange in der Dunkelheit verweilte, sie dann infolge der Erschöpfung von Reservestoffen durch Verhungern zu Grunde ginge, bevor sie durch das Ans-Licht-kommen die Bedingungen der selbständigen Ernährung erwürbe.

Die frei in Luft wachsenden Stengel müssen natürlich, um dem Gewichte der Blattkrone und dem Winde einen genügenden Widerstand zu leisten, eine entsprechende Festigkeit besitzen. Diese Festigkeit wird bekanntlich durch Verdickung und teilweise auch durch Verholzung der Zellwände namentlich in den äussern Zellschichten erreicht. Diese starken Zellhautverdickungen wären aber in diesen Stengelteilen, welche unter der Erde verborgen bleiben, vollkommen überflüssig: 1) weil dieselben vor der unmittelbaren Windwirkung geschützt sind und 2) weil die den Stengel umgebende Erde für dieselbe eine hinreichende Stütze bildet, welche sie vor mechanischen Beschädigungen sichert. Infolge dessen kann die mechanische Konstruktion der unter der Erde

verharrenden Stengelteile ohne Gefahr eine schwächere als die der oberirdischen sein, und es wäre wieder eine unnützliche Verschwendung des plastischen Materials, wenn eine zu grosse Menge desselben zur Vergrösserung der Festigkeit jener Teile, für welche keine Beschädigung zu befürchten ist, verwendet werden sollte.

Wir sehen also im ganzen, dass es für das Pflanzenleben überhaupt unrationell, ja sogar direkt schädlich wäre, wenn die Sprosse in der Entwicklungsperiode, welche sie unter der Erde, also in Dunkelheit durchzumachen haben, sich in gleicher Weise entwickelten als später, wenn sie bereits ans Licht gekommen sind.

Jetzt wollen wir etwas näher betrachten, inwieweit die Art und Weise, wie sich die Pflanzen wirklich im Dunkeln verhalten, den rationellen Anforderungen dieser Periode ihrer Entwicklung entspricht.

Die Anforderungen dieser Periode sind sehr einfach. Die Pflanze vermag erst zu assimilieren, wenn sie ans Licht kommt; so lange sie unter der Erde verborgen bleibt, kann sie nur auf Kosten der in Samen, Knollen, Rhizomen etc. aufgespeicherten Reservestoffe sich entwickeln. Deshalb ist es wünschenswert, dass die neuen Sprosse möglichst schnell und mit möglicher Ersparung an Reservestoffen ans Licht gelangen.

Ganz in Uebereinstimmung damit sehen wir, dass bei den in konstanter Finsternis wachsenden Sprossen die Reservestoffe vorzüglich zum Wachstum der Internodien und viel weniger zum Wachstum der Blätter verwendet werden. Dazu kommt noch, dass die zum Aufbau der Blätter verwendeten plastischen Stoffe sich mit einer viel geringern, die zum Aufbau der Internodien bestimmten mit einer viel grössern Menge von Organisationswasser verbinden als im Lichte. Beide diese Ursachen haben zur Folge, dass, so lange sich die Pflanze unter der Erde, also in konstanter Dunkelheit entwickelt, die Blätter klein und wie im Knospenzustande an den Stengel angelegt bleiben; dagegen die Internodien wachsen zu dieser Zeit viel rascher als später, wenn die Pflanze schon der Lichtwirkung ausgesetzt wird.

Dieses intensive Internodienwachstum im Dunkeln, zu welchem, wie wir sehen, die Natur alle möglichen Mittel verwendet, ist für die weitere Entwicklung der Pflanze in doppelter Weise vorteilhaft:

1) weil dadurch das Verweilen der Pflanze in der Dunkelheit abgekürzt und infolge dessen eine bedeutende Menge von Reservestoffen, welche bei länger dauernder Entwicklung im Dunkeln zur Atmung verbraucht werden müsste, gespart wird;

2) weil dadurch, dass die plastischen Stoffe, welche zum Aufbau der Internodien verbraucht werden, eine grössere Menge von Organisationswasser als im Lichte binden, eine unmittelbare Ersparung an diesen Stoffen erreicht wird. Wenn sich z. B. 1 mg der organischen Trockensubstanz in Dunkelheit mit 60, im Lichte aber nur mit 30 mg Organisationswasser verbindet, so leuchtet ein, dass der Stengel bei Verwendung einer gleichen Menge von Bildungsstoffen in Dunkelheit eine zweimal so grosse Länge als im Lichte erreichen kann.

Ebensogut wie bei den dikotylen Pflanzen ist auch die Entwicklung der Monokotylen in der Dunkelheit dem nämlichen Zwecke, möglichst bald das Licht zu erreichen, angepasst.

Bekanntlich beruht die anfängliche Entwicklung der monokotylen Pflanzen z. B. irgend einer Getreidepflanze zunächst auf dem Wachstum der ersten Blätter und Blattscheiden, die Internodien dagegen entwickeln sich viel später, oft fangen sie erst dann sich stärker zu verlängern an, wenn bereits die Blüten angelegt sind. Hier wird also das schnellere Ans-Licht-kommen der Pflanze dadurch am leichtesten erreicht, dass das Längenwachstum der Blätter selbst beschleunigt wird. Diese Beschleunigung des Längenwachstums der Blätter kann sehr vorteilhaft auf Kosten ihrer Breite stattfinden; denn so lange die Blätter in Dunkelheit verharren, kommt es auf die Vergrösserung ihrer Breite resp. Fläche der Pflanze gar nicht an. Im Gegenteil, eine grössere Blattfläche würde das Hervorbrechen der Pflanze über die Erde nur erschweren können. Aus demselben Grunde ist auch für die Pflanze vorteilhaft, wenn die Blätter so lange sie unter der Erde, also in der Dunkelheit wachsen, zusammengerollt wie im Knospenzustande bleiben: denn das frühere Flachwerden derselben würde wieder das Hervortreten der Pflanze aus der Erde erschweren. Nun beobachten wir in der That, dass die etiolierte monokotyle Pflanze sich von der normalen durch eine stärkere Verlängerung der Blätter bei geringerer Breite derselben auszeichnet. Ausserdem bleiben die Blätter im Dunkeln eine längere Zeit zusammengerollt wie im Knospenzustande. Die Ueberverlängerung der etio-

lierten monokotylen Blätter wird teils durch Verminderung ihrer Breite, teils aber auch dadurch erreicht, dass die plastischen Stoffe sich bei ihnen mit einer grössern Menge von Organisationswasser verbinden als bei Lichtpflanzen. So fand ich z. B. bei Maisblättern auf 1 mg Trockensubstanz:

bei Lichtpflanzen . . . 10,7 mg Organisationswasser
bei etiolierten Pflanzen 13,9 » »

Durch diese grössere Menge von Organisationswasser wird also auch hier eine gewisse Menge von plastischem Material erspart, eine weitere Ersparung an Reservestoffen wird aber dadurch erreicht, dass durch Beschleunigung des Längenwachstums der Blätter die Zeit des Verweilens der ganzen Pflanze unter der Erde abgekürzt wird.

Somit sehen wir sowohl an den dikotylen wie an monokotylen Pflanzen, dass die Formänderungen, welchen wir bei den im Dunkeln wachsenden Pflanzen begegnen, keineswegs als etwas zufälliges, etwas von vornherein krankhaftes angesehen werden dürfen; im Gegenteil diese Abweichungen von den gewöhnlichen Gestalten müssen als sehr vollkommene und sehr zweckmässige Anpassungen an die gewöhnlichen Entwickelungsbedingungen der Pflanzen betrachtet werden. Das Kleinbleiben der Blätter und die Ueberverlängerung der Stengel bei den etiolierten dikotylen Pflanzen, die geringe Festigkeit und der Wasserreichtum dieser Stengel, die grössere Länge und geringere Breite der Blätter der etiolierten monokotylen Pflanzen, das sind alles sehr zweckmässige Einrichtungen, durch welche die noch unter der Erde sich entwickelnde Pflanze instand gesetzt wird, die erste Entwicklungsperiode, bei welcher sie noch einzig und allein auf Kosten der früher aufgespeicherten Reservestoffe lebt, leichter durchmachen zu können. Alle diese Einrichtungen streben dahin, eine möglichst grosse Ersparung an Reservestoffen zu erzielen und der Pflanze möglichst schnell die Bedingungen einer selbständigen Ernährung zu schaffen.

Wenn diese Etiolierungsperiode infolge einer zu lange dauernden künstlichen Verdunklung allzu sehr verlängert wird, so gelangt die Pflanze, wie leicht verständlich, infolge dessen, dass sie immerfort Licht zu erreichen anstrebt, wirklich in einen krankhaften Zustand und geht endlich durch Verhungern zu Grunde; nichtsdestoweniger tragen aber die ursprünglichen Formverände-

rungen, welche die in Dunkelheit wachsenden Pflanzen in ihrer ersten Entwicklungsperiode annehmen, nichts krankhaftes an sich; im Gegenteil sie können als Ausdruck einer ganz gesunden Bestrebung der Pflanze, die ihr zur normalen Ernährung notwendigen Bedingungen zu erwerben, betrachtet werden.

Die eben entwickelte Auffassung der Etiolierungserscheinungen scheint mir so naturgemäss und selbstverständlich, so mit allem, was man über die etiolierten Pflanzen weiss, übereinstimmend zu sein, dass es kaum notwendig wäre, noch weitere Beweise für sie beizubringen Der Versuch, welchen ich jetzt beschreiben will, ist also mehr zur Illustration als zur Bestätigung dieser Auffassung bestimmt. Ich wollte nämlich durch einen Versuch prüfen, wie weit die Anpassung einer Keimpflanze mit reichem Vorrat an Reservestoffen an die länger dauernde Finsternis ohne Schaden für die Pflanze gehen könne, mit andern Worten, eine wie lange dunkle Strecke eine Keimpflanze durchwachsen kann, ohne die Fähigkeit, sich nach dem Erreichen des Lichtes weiter zu entwickeln, zu verlieren.

Der Versuch wurde mit *Phaseolus multiflorus* gemacht. Einige Samen wurden im Freien etwa 4 cm tief in die Erde gesteckt: 3 Samen wurden frei gelassen, über drei wurden weite Drainröhren von 25 cm Höhe, über 3 andere eben solche Röhren von 50 cm Höhe gestülpt. Die Röhren wurden oben mit Brettern zugedeckt. Nun wurde täglich in jede dieser Röhren so viel Erde eingestreut, dass die Spitzen der jungen Pflänzchen immer durch eine wenige Centimeter dicke Erdschichte zugedeckt waren. Diese Manipulation wurde so lange täglich wiederholt, bis die Röhren fast vollständig mit Erde gefüllt waren Infolge dieses Verfahrens mussten also die 3 Pflänzchen eine dunkle Strecke von 25 cm, die 3 andern eine solche von 50 cm durchmachen, bevor sie ans Licht gelangen konnten. Trotzdem entwickelten sich die Pflanzen, nachdem sie ans Licht gekommen waren, ganz normal weiter. Die Pflanzen, welche eine dunkle Strecke von 25 cm durchgemacht hatten, standen denen, welche ganz frei wuchsen, nur wenig nach, sie blühten normal und entwickelten reichlich Früchte mit reifen und vollkommen ausgebildeten Samen. Die Pflänzchen, welche eine dunkle Strecke von 50 cm durchwachsen mussten, waren bereits bedeutend schwächer entwickelt, haben zwar auch

geblüht, die Hülsen waren aber weniger zahlreich und die Samen wurden nicht reif.

Die Untersuchung der Pflanzen in den letzten Tagen des September zeigte, was folgt:

Bei den Pflanzen, welche bis zur Höhe von 25 cm mit Erde aufgestreut wurden, war das ganze epikotyle Glied und die Hälfte des ersten Internodiums unter der Erde verborgen. Diese Teile zeigten den typischen Bau der etiolierten Sprossen, sowohl in ihren Blättern wie in den Stengeln. Bei den letzten waren die Sklerenchymzellen und die ganzen Holzgewebe bedeutend schwächer entwickelt als an den höhern schon über der Erde liegenden Stengelteilen. Sowohl am epikotylen Gliede als an der untern Hälfte des ersten Internodiums waren zahlreiche Adventivwurzeln gebildet, welche sogar die bekannten Bakterienknöllchen an sich trugen. Die unter der Erde verborgenen Stengelteile waren auch bedeutend wasserreicher als die, welche sich bereits am Lichte entwickelt hatten und zwar:

die ersten enthielten	13,3%	Trockensubstanz
die letzten »	20,5%	»

Bei den Pflanzen, welche eine dunkle Strecke von 50 cm durchwachsen mussten, waren die ganzen epikotylen Glieder, die ganzen ersten und die unteren Teile der zweiten Internodien unter der Erde verborgen. Die Blätter an diesen Teilen waren sehr klein. Die Messung ergab bei einer dieser Pflanzen:

das epikotyle Glied	25 cm	Länge
das erste Internodium	19 »	»
der unter der Erde verborgene untere Teil des zweiten Internodiums . . .	6 »	»

An diesen ganzen unter der Erde verborgenen Stengelteilen waren zahlreiche Adventivwurzeln mit Bakterienknöllchen zu beobachten.

Trockensubstanzgehalt dieser Stengelteile . . .	9,2%
Trockensubstanzgehalt der über der Erde liegenden grünen Stengelteile	22%

Also auch hier war der Typus der Etiolierungserscheinungen an den unter der Erde verborgenen Sprossteilen deutlich zu beobachten.

Wüchse der *Phaseolus*-Keimling im Dunkeln wie im Lichte, ohne zu etiolieren, bildete er schon unter der Erde so kurze,

feste, an Trockensubstanz reiche Internodien, so grosse und flach ausgebreitete Blätter, als später nachdem er schon ans Licht gekommen ist, so müsste er, bevor er eine Strecke von $^1/_2$ Meter durchzumachen im Stande wäre, durch Verhungern unumgänglich zu Grunde gehen. Wenn die *Phaseolus*-Keimlinge bei unserem Versuche eine so grosse dunkle Strecke zu durchwachsen vermochten, wenn sie endlich Licht erreicht haben und sich dann weiter entwickelten, so war das nur dadurch möglich, dass sie im Dunkeln zu etiolieren die Fähigkeit gehabt hatten.

Nachträgliche Berichtigung zu dem Aufsatz: „Ueber die biologische Bedeutung der Etiolierungserscheinungen".

(Biologisches Centralblatt, Bd. IX, 1889, Nr 20–21).

In meinem kürzlich im »Biologischen Centralblatt« erschienenen Artikel über Etiolierungserscheinungen sagte ich: »kein Forscher, so viel ich weiss, hat bis jetzt die Frage aufgeworfen, ob diese Etiolierungserscheinungen von irgend welcher Bedeutung für das Pflanzenleben sind«. Durch einen gefälligen Brief des Herrn Prof. Errera wurde ich aber nun darauf aufmerksam gemacht, dass Böhm bereits im Jahre 1886 in einer kleinen populären Arbeit »Die Nährstoffe der Pflanze« eine ähnliche Meinung wie ich jetzt über Etiolierungserscheinungen geäussert hat. Da ich glücklicherweise durch die Güte des Herrn Prof. Böhm im Besitze dieser seiner Arbeit bin, so bin ich im Stande und halte es für meine angenehme Pflicht, die betreffende und leider von mir übersehene Stelle dieser Arbeit hier nachträglich wörtlich mitzuteilen: »Solche bei Lichtabschluss gezogenen Pflanzen« sagt Böhm »haben zudem einen ganz fremdartigen Habitus: die Stengel derselben werden, gleichsam als wollten sie das Licht suchen, sehr lang, während die Blätter, so wie bei chlorophylllosen Schmarotzerpflanzen z. B. der Schuppenwurz, sehr klein bleiben. Die grünen Blätter fungieren in erster Linie als Assimilationsorgane: chlorophylllose Blätter nützen der Pflanze nichts. Das unter normalen Verhältnissen für die Blattbildung bestimmte Baumaterial wird bei im Dunkeln gewachsenen Pflanzen besser zur Stengelverlängerung verwendet, um es denselben vielleicht doch zu ermöglichen das Licht zu erreichen«. In diesem Passus ist der Gedanke, welchen ich in meiner Arbeit zu entwickeln versucht habe, ganz deutlich angedeutet.

Ueber die Beeinflussung des Wachsthums der Pflanzen durch äussere Faktoren.

(Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Krakau, 1890, pp. 166—176).

In der Sitzung vom 20 Mai 1889 berichtete bereits der Verfasser über einige Resultate seiner, das Wachsthum der Pflanzen betreffenden Arbeit. Die damaligen Versuche bezogen sich hauptsächlich auf die tägliche Wachsthumsperiode des epikotylen Gliedes von Phaseolus multiflorus. Verfasser fand, dass sich diese Pflanze anders verhält als die meisten übrigen. Während nämlich nach den Untersuchungen von Sachs angenommen wird, dass das Maximum der Wachsthumsgeschwindigkeit auf die frühen Morgenstunden, das Minimum auf die Abendstunden fällt, fand der Verf., dass der Verlauf der täglichen Periode bei dem Wachsthum des Epikotyls der Schabelbohne ein wesentlich anderer ist, und zwar, dass hier das Wachsthums-Maximum erst spät nach Mittag, das Minimum am Mitternacht oder noch später erreicht wird. Weiter berichtete schon damals der Verf., dass die etiolierten Phaseoluspflanzen manchmal eine sehr deutliche, obwohl weniger regelmässige, manchmal aber gar keine, tägliche Periode des Wachsthums zeigen.

Seit dem hat der Verf. mit der nämlichen Pflanze noch eine lange Reihe von Wachsthumsversuchen gemacht, welche zum Theil das weitere Studium der täglichen Periode, zum Theil aber die Wirkung verschiedener äusserer Bedingungen auf das Wachsthum, zum Gegenstand hatten. Die ganze Arbeit des Verf. zerfällt in zwei Theile: In dem ersten wird der Verlauf des Wachsthums selbst unter verschiedenen Bedingungen, in dem zweiten das Verhältniss der Wachsthumsgeschwindigkeit zur Turgorausdehnung der wachsenden Pflanzentheile, studiert.

I. In dem ersten Theile gelangt der Verf. zu folgenden Resultaten:

1. In Bezug auf die tägliche Wachsthumsperiode. Die diesjährigen Versuche zeigten, dass sich dieselbe, auch bei grünen Pflanzen, sehr mannigfaltig gestaltet. Bei den Versuchen, welche in Herbst- und Wintermonaten dieses Jahres angestellt wurden, zeigten sich zwei tägliche Maxima und eben so viele Minima des Wachsthums. Das gewöhnliche nächtliche Minimum trat hier früher ein, als bei vorjährigen Versuchen, nämlich schon um etwa 8 bis 10 Uhr abends. Später nahm die Wachsthumsgeschwindigkeit wieder mehr und mehr zu, erreichte in den frühen Morgenstunden ein Maximum und fing dann wieder zu sinken an, so, dass etwa zwischen 8 und 10 Uhr früh ein zweites oft sehr deutliches aber kurzdauerndes Minimum, und nach Mittag ein zweites Wachsthumsmaximum eintrat. Die etiolierten Pflanzen zeigten auch jetzt ein verschiedenartiges Verhalten. Einige Individuen zeigten gar keine, einige eine deutliche aber wenig regelmässige, einige endlich sogar eine ganz regelmässige zwei Maxima aufweisende Wachsthumsperiode.

2. In Bezug auf die Wirkung des Lichtes. Um über die nächsten Ursachen der täglichen Periode irgend eine Auskunft zu bekommen, und zugleich die unmittelbare Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum kennen zu lernen, hat der Verf. bei mehreren Versuchen die Pflanzen während einer gewissen Zeit verdunkelt, um sie dann plötzlich der Lichtwirkung wieder auszusetzen, und zu beobachten, wie durch ein solches Verfahren der Gang des Wachsthums verändert wird. Zur Verdunkelung bediente er sich zunächst eines aus zwei Hälften bestehenden Blechkastens, welcher, ohne den Versuch zu unterbrechen, leicht über die Pflanze zusammengeschoben, oder von derselben weggenommen werden konnte. Die Veränderungen der Luftfeuchtigkeit, bei der Bedeckung der Pflanze mit Blechkasten, suchte er dadurch zu vermeiden, dass er die Pflanze während der ganzen Versuchzeit unter einer tubulierten Glasglocke hielt, und dass er sogar die Oeffnung des Tubus mit Glasplatten belegt hat, so, dass nur eine kleine Spalte für den Durchgang des Fadens übrig blieb. Nun zeigte sich aber, dass, auch bei solcher Einrichtung, eine jede Entfernung des verdunkelnden Kastens eine sofortige vorübergehende Sistierung des Wachsthums, welche, wie sich bei

näherer Untersuchung zeigte, nicht durch Lichtwirkung sondern durch plötzliche Verminderung der Luftfeuchtigkeit hervorgerufen wurde, zur Folge hatte; dass man also bei dieser Art des Experimentierens nicht mit reinen Lichtwirkungen, sondern mit Licht- und veränderten Luftfeuchtigkeitswirkungen zu thun hatte. Nach dieser Erfahrung wurden die Pflanzen, bei den Versuchen, auf eine andere Weise verdunkelt. Die Pflanze wuchs während des ganzen Versuches unter einem Glaskasten. Ein Spiegel bildete die hintere Wand des Kastens, um die heliotropischen Krümmungen zu vermeiden. Die Verdunkelung der Pflanze geschah einfach durch Bedeckung der Glaswände mit schwarzem Papier, wodurch selbstverständlich keine Veränderung der Luftfeuchtigkeit innerhalb des Glaskastens zu befürchten war. Die Wachsthumsänderungen, welche man jetzt bei der Wegnahme des schwarzen Papiers von den Glaswänden an der Pflanze beobachten konnte, waren schon reine Lichtwirkungsfolgen. Die Resultate, welche der Verf. erhielt, waren folgende:

Wurde die Pflanze abends verdunkelt und die Verdunkelung erst um etwa 11 Uhr vormittags weggenommen, so zeigte sich, dass um etwa 9 Uhr morgens, also zur Zeit, wo das erste Wachsthumsminimum einzutreten pflegte, eine gewisse (aber nicht so starke wie unter gewöhnlichen Bedingungen) Verminderung der Wachsthumsgeschwindigkeit zu beobachten war; dann fing bald wieder das Wachsthum sich zu beschleunigen an. Nach der Wegnahme des verdunkelnden schwarzen Papiers, fing abermals das Wachsthum sich zu verlangsamen an; diese Verlangsamung erreichte ihr Maximum etwa 2 Stunden nach der Wegnahme der Verdunkelung. Als hätte sich die Pflanze an's Licht gewöhnt, wurde jetzt das Wachsthum wieder immer ausgiebiger, und erreichte bald fast dieselbe Geschwindigkeit, welche sie während der Verdunkelung hatte. Ganz dieselben Veränderungen im Wachsthum kann man zu jeder Tagesstunde hervorrufen, wenn man die Pflanze vorher auf einige Stunden verdunkelt, um sie dann plötzlich wieder der Lichtwirkung auszusetzen. Ganz besonders deutlich lässt sich diese Art der Lichtwirkung an den etiolierten Pflanzen beobachten. So wuchs z. B. eine etiolierte Pflanze in der Dunkelheit:

von 11^{U} 0^{M} bis 11^{U} 30^{M} früh um 1,00 mm.
» 11 30 » 12 0 mittgs. » 1,20 »

Um 12 Uhr wurde die Verdunkelung weggenommen und nun wuchs die Pflanze:

von	12^U	0^M	bis	12^U	30^M	um	0,50	mm.
»	12	30	»	1	0	»	0,56	»
»	1	0	»	1	30	»	0,36	»
»	1	30	»	2	0	»	0,32	»
»	2	0	»	2	30	»	0,50	»
»	2	30	»	3	0	»	1,10	»
»	3	0	»	3	30	»	1,06	» u. s. w.

Diese Art der Lichtwirkung auf das Wachsthum der Pflanzen macht sehr wahrscheinlich, dass das erste Wachsthumsminimum, welches vom Verf. in den diesjährigen Versuchen so regelmässig beobachtet wurde, wenigstens theilweise durch den vorübergehenden Reiz, den die aufgehende Sonne auf die Pflanze ausübt, bedingt wird.

3. In Bezug auf die Wirkung der Luftfeuchtigkeit. Schon bei Gelegenheit der Untersuchung über die Wirkung des Lichtes constatierte der Verf., dass eine plötzliche Verminderung der Luftfeuchtigkeit eine vorübergehende Sistierung des Wachsthums, ja in den ersten Minuten sogar eine geringe Verkürzung der Pflanze, zur Folge hat. Das hat ihn veranlasst die Sache näher zu untersuchen. Bei den bezüglichen Versuchen wuchsen die Pflanzen unter den schon oben erwähnten Glaskästen. Die Kästen waren so eingerichtet, dass die Glaswände gänzlich oder theilweise ausgeschoben werden konnten, wodurch die trockene Luft des Zimmers in den inneren Raum des Kastens gelangte und somit dort die Feuchtigkeit der Luft herabsetzte. Ein Psychrometer innerhalb des Kastens zeigte die jeweiligen Feuchtigkeitsveränderungen an. Durch diese Versuche wurde festgestellt, dass jede stärkere Verminderung der Luftfeuchtigkeit eine plötzliche aber vorübergehende Verlangsamung, jede Vergrösserung der Luftfeuchtigkeit eine ebenfalls vorübergehende Steigerung der Wachsthumsgeschwindigkeit zur Folge hat. So wurden z. B. folgende halbstündige Zuwächse beobachtet:

	Uhr	Min.		Uhr	Min.	Bei Temp.	Luftfeucht.			
von	1	30	bis	2	0	22,0°	65%	um	1,26	mm.
»	2	0	»	2	30	21,7	65	»	1,30	»
»	2	30	»	3	0	21,4	64	»	1,22	»

	Uhr	Min.		Uhr	Min.	Bei Temp.	Luftfeucht.			
von	3	0	bis	3	30	21,7°	38%	um	0,66	mm.
»	3	30	»	4	0	21,8	38	»	1,06	»
»	4	0	»	4	30	21,7	38	»	1,28	»
»	4	30	»	5	0	21,5	46	»	1,42	»
»	5	0	»	5	30	21,2	87	»	2,30	»
»	5	30	»	6	0	21,2	87	»	1,60	»
»	6	0	»	6	30	21,2	90	»	1,50	» u. s. w.

Ist die Verminderung der Luftfeuchtigkeit plötzlich und sehr gross, so kann sogar in den ersten 10 Minuten eine geringe Verkürzung der Pflanze eintreten, die aber bald wieder ausgeglichen wird. Die Plötzlichkeit und die kurze Dauer dieser Feuchtigkeitswirkung beweisen, dass wir hier nicht mit Veränderungen der Geschwindigkeit des wirklichen Wachsthums, sondern eigentlich nur mit Veränderungen der Turgorausdehnung wachsender Pflanzentheile zu thun haben. Nicht weniger jedoch wird das wirkliche Wachsthum selbst durch Luftfeuchtigkeit beeinflusst, nur nicht in so ausserordentlich hohem Grade, wie man aus den oben angeführten Zahlen schliessen könnte. Die epikotylen Glieder der Pflanzen, welche in beständig feucht gehaltener Atmosphäre verweilen, wachsen überhaupt bedeutend schneller und erreichen eine bedeutend grössere finale Länge als die der Pflanzen, welche unter sonst ähnlichen Bedingungen in einer trockenen Atmosphäre gezogen werden.

4. In Bezug auf die Temperatur der umgebenden Luft. Die Wirkung starker Schwankungen der Temperatur auf das Wachsthum wurde untersucht indem man im geheizten Zimmer, wo die Pflanzen unter Glasglocken am Auxanometer wuchsen, plötzlich Fenster und Thüre öffnete. Da diese Versuche im Winter gemacht wurden, so sank die Temperatur schnell um viele Grade herab, und man konnte beobachten, wie auch zugleich damit das Wachsthum immer langsamer wurde. Wenn man dann wieder das Fenster geschlossen hat und die Temperatur sich in Folge dessen erhöhte, nahm die Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanze zunächst noch mehr ab, und erst nach einiger Zeit fing sie wieder sich zu vergrössern an. So z. B. in einem Versuche am 29 Dezember 1889 wurden an zwei Pflanzen bei verschiedenen Temperaturen folgende stündliche Zuwächse beobachtet:

Uhr	Pflanze I.	Pflanze II.	Temperatur der Luft	Temperatur der Erde
von 10—11	um 2,24 mm.	um 1,26 mm.	21,6° C.	19,5° C.
» 11—12	» 2,40	» 1,70	21,5	19,8
» 12— 1	» 1,30	» 1,00	12,0	16,0
» 1— 2	» 0,30	» 0,14	9,0	11,0
» 2— 3	» 0,20	» 0,28	8,6	9,0
» 3— 4	» 0,16	» 0,20	7,2	7,8
» 4— 5	» 0,12	» 0,08	5,8	6,8
» 5— 6	» 0,10	» 0,04	11,5	7,4
» 6— 7	» 0,62	» 0,18	14,5	11,0
» 7— 8	» 0,33	» 0,22	15,8	12,0
» 8— 9	» 1,58	» 0,70	17,4	14,0 u. s. w.

Der Verfasser hat auch einige Versuche über die Wirkung höherer Temperaturen angestellt und fand, dass bei einer Temperatur von über 35° C. das Wachsthum des Epikotyls von Phaseolus bereits bedeutend herabgesetzt wird, dass aber auch noch bei einer Temperatur von 40° C. ein verhältnissmässig ziemlich rasches Wachsthum besteht.

5. In Bezug auf die Temperatur des Bodens. Die Versuche wurden in der Weise vorgenommen, dass die Töpfe in welchen die Pflanzen wuchsen, in doppelwändige Blechtöpfe gestellt und in diese Wasser von verschiedener Temperatur hingegossen wurde. Die Blechtöpfe wurden in eine sehr dicke Schicht von Baumwolle eingewickelt und die Erde selbst auch mit Baumwolle dick bedeckt, um sie so vor zu raschen Temperaturschwankungen zu schützen. Ausser der Temperatur der Erde wurde auch die Temperatur der Luft, und die Luftfeuchtigkeit dicht bei den Pflanzen bestimmt. Die Versuche zeigten, dass das Wachsthum des epikotylen Gliedes des Phaseolus von der Temperatur des Bodens sehr wenig beeinflusst wird; dass wenn nur die Lufttemperatur entsprechend hoch war, das Wachsthum auch bei sehr kalter Erde noch ziemlich schnell vor sich ging. So z. B. betrugen die stündlichen Zuwächse einer Pflanze:

Uhr	Lufttemp.	Bodentemp.	Luftfeucht.	Stündl. Zuwachs:
von 6— 7 früh.	22,0° C.	20,4° C.	42%	1,26 mm.
» 7— 8 »	22,7	20,4	41	0,94 »
» 8— 9 »	23,5	8,7	41	0,70 »
» 10—11 »	23,4	3,0	45	0,60 »

Uhr	Lufttemp.	Bodentemp.	Luftfeucht.	Stündl. Zuwachs:
von 12— 1 abds	22,5° C.	3,0° C.	43%	0,68 mm.
» 3— 4 »	22,9	4,8	41	0,36 »
» 5— 6 »	22,4	5,9	44	0,68 »
» 6— 7 »	23,2	7,7	43	1,00 »
» 7— 8 »	22,2	23,7	49	1,72 » u.s.w.

II. In dem zweiten Theile seiner Arbeit studierte der Verf. das Verhältniss der Wachsthumsgeschwindigkeit zur Dehnbarkeit der Zellhäute. Die Methode der Untersuchung war die, dass das Wachsthum der Pflanze an dem Auxanometer gemessen wurde, und zur Zeit als das Wachsthum eine gewisse bekannte Geschwindigkeit erreicht hatte, wurde die Pflanze abgeschnitten, schnell mit Marken in Abständen von 15 mm. versehen und für etwa 10 Stunden in eine Salpeterlösung von 10% gelegt, wonach wieder die Abstände zwischen den Theilstrichen gemessen wurden. Dann wurde noch die Pflanze in horizontaler Lage befestigt, mittelst eines über eine Rolle laufenden Fadens mit Gewichten gedehnt, und die Ausdehnung einzelner Querzonen gemessen. Die Resultate waren wie folgt:

1. In Bezug auf die tägliche Periodicität. Die Untersuchung wird dadurch ungemein erschwert, dass immer nur mit zwei Pflanzen operiert werden kann, die mit einander verglichen werden müssen, wobei immer die individuelle Verschiedenheit der Pflanzen sehr störend wirken muss. Nur wo es gelingt zwei möglichst gleichmässig wachsende Pflanzen mit einander zu vergleichen, sind die Resultate zuverlässig. Auch der Verf. glaubte bei den ersten Versuchen keinen Unterschied in der Turgorausdehnung bei Maximum und Minimum der Tagesperiode gefunden zu haben; später aber, als schon recht viele Versuche ausgeführt wurden, trat dieser Unterschied ziemlich deutlich hervor. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass in den obersten Querzonen des epikotylen Gliedes zwar kein deutlicher Unterschied in der Turgorausdehnung während des Maximums und Minimums der Tagesperiode hervortritt, dass er aber in den weiteren Querzonen vorhanden ist, so, dass man sagen kann, dass die stark dehnbare Strecke des wachsenden epikotylen Gliedes während des täglichen Wachsthumsmaximums länger ist, als während des Minimums. So z. B. die Pflanze *a* wurde abgeschnitten und zur Bestimmung der Turgorausdehnung benutzt um 3 Uhr nachmit-

tags bei einer Wachsthumsgeschwindigkeit von 2,60 mm., die Pflanze *b* um 12 Uhr nachts bei einer Wachsthumsgeschwindigkeit von 1,20 mm. Die Turgorausdehnung der einzelnen Querzonen von 15 mm. beider Pflanzen betrug nun in %:

Querzone	Turgorausdehnung der Pflanze *a*.	Turgorausdehnung der Pflanze *b*.
1	11,0%	11,0%
2	9,5	9,5
3	8,9	5,2

Dagegen bei der Dehnung mit einem Gewichte von 50 gr. verlängerte sich die 3-te Querzone bei der Pflanze *a* um 6,5%, bei der Pflanze *b* um 4,2%.

2. In Bezug auf die Etiolierung der Pflanzen. Die Versuche zeigten, wie der Verf. bereits in seiner ersten Mittheilung berichtet hat, dass die dehnbare Strecke bei den etiolierten Pflanzen eine bedeutend längere ist, als bei den normalen; dass dagegen in den obersten Querzonen die Turgorausdehnung bei den etiolierten Pflanzen keine grössere ist als bei den normalen. Auch ist die Turgorkraft bei den etiolierten Pflanzen keine grössere, als bei den normalen.

3. In Bezug auf die Temperatur. Die Versuche haben festgestellt, dass die Turgorausdehnung bei den Pflanzen, welche bei einer sehr niedrigen Temperatur ausserordentlich langsam wachsen, keine wesentlich andere ist, als bei den Pflanzen, welche bei einer viel höheren Temperatur im energischen Wachsthum begriffen sind. So z. B. bei den Pflanzen *a* und *b* wurde die Turgorausdehnung bestimmt, nachdem sie 5 Stunden lang bei einer Temperatur von 7,5 bis 10° C. gewachsen waren, die Pflanze *c* dagegen wuchs mehrere Stunden bei einer Temperatur von 22° C. In der letzten Stunde ist das epikotyle Glied der Pflanze *a* nur um 0,16 mm., der Pflanze *c* um 2,4 mm. zugewachsen, bei der Pflanze *b* konnte der Zuwachs nicht constatiert werden. Die Untersuchung der Turgorausdehnung und der Dehnbarkeit einzelner Querzonen ergab, bei Anwendung eines Gewichtes von 100 gr., folgendes Resultat:

Querzone 15 mm. breit	Turgorausdehnung			Dehnung mit 100 gr.		
	Pflanze *a*	Pflanze *b*	Pflanze *c*	Pflanze *a*	Pflanze *b*	Pflanze *c*
1te	12,8%	16,3%	15,4%	12,8%	16,3%	15,4%
2te	10,3	11,1	9,7	9,6	10,3	9,7
3te	8,7	9,5	8,7	8,0	8,9	8,7

Ganz ähnliche Resultate erhielt auch Askenasy[1] in einer Arbeit, welche erschienen ist, als bereits die Versuche des Verfassers abgeschlossen wurden. A. fand nämlich, dass die Wurzeln von Zea Mays eine gleiche Turgorausdehnung an der wachsenden Strecke zeigen, gleichviel, ob sie bei einer Temperatur, wo das Wachsthum sehr energisch ist, oder bei einer, wo sie fast gar nicht zu wachsen im Stande sind, untersucht werden. Diesen seinen Befund richtet A. gegen die herrschende von Sachs und Vries begründete Wachsthumstheorie, und geht in dieser Richtung so weit, dass er fast gänzlich den Antheil der Turgorausdehnung bei dem Wachsthumsprocesse zu leugnen scheint. So weit will nun der Verfasser nicht gehen. Der Verf. giebt auch zu, dass die einfache Dehnungstheorie, wie sie namentlich von Wortmann entwickelt wurde, nicht haltbar sei; anderseits aber, der Antheil der Turgorausdehnung an dem Wachsthum scheint dem Verf. durch so viele Thatsachen bewiesen, dass er keineswegs bestritten werden darf. Ganz verschiedene Wirkungen äusserer Einflüsse auf das Wachsthum lassen sich leicht begreifen, wenn man beachtet, dass die einfache Turgorausdehnung noch kein Wachsthum bildet. In dem Wachsthumsprocesse müssen nothwendig zwei Momente unterschieden werden: 1) Die Turgorausdehnung der mit Plasma bekleideten Zellhaut, und 2) die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Theile, um eine weitere Dehnung zu gestatten. Wie diese Ausgleichung der Elasticitätsspannung zu Stande kommt, ob durch Apposition neuer Theilchen, oder durch Intussusception, oder durch irgendwelche Thätigkeit des Protoplasmas, darüber wissen wir heute noch recht wenig. Es mag nun sein wie es will, so ist es doch verständlich, dass die das Wachsthum beeinflussenden Faktoren in doppelter Weise auf das Wachsthum wirken können: entweder verändern sie die Turgorausdehnung, oder aber erleichtern sie oder erschweren die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gespannten Zellhaut. Dass Beides auf sehr verschiedene Weise bewirkt werden kann, hat der Verfasser schon vor 4 Jahren in einer Arbeit über Etiolierungserscheinungen auseinandergesetzt. Durch die

[1] Askenasy. *Beziehungen zwischen Wachsthum und Temperatur*, Berichte der Deutschen botanischen Gesellschaft. B. VIII S. 61—94.

neuesten Versuche von Askenasy und durch die eben mitgetheilten des Verfassers ist nur bewiesen, dass die Beeinflussung des Wachsthums durch Temperatur, nicht durch die Wirkung derselben auf die Turgorausdehnung geschieht, sondern dass die Temperatur diese Processe, welche die Ausgleichung der Turgorausdehnung bedingen, beeinflusst.

Die Art und Weise der wachsthumretardierenden Lichtwirkung und die Wachsthumstheorien.

(Anzeiger der Akademie der Wissenschaften in Krakau, 1890, pp. 286—293).

Es wird fast allgemein angenommen, dass das Wachsthum der Pflanzenzelle durch das Licht deswegen retardiert wird, weil der Einfluss des Lichtes die Zellhaut dicker, härter und in Folge dessen auch weniger dehnbar macht. Diese Anschauung wurde hauptsächlich aus dem anatomischen Bau der Stengel etiolierter Pflanzen abgeleitet. Wie bekannt, ist die Cuticula an solchen Stengeln dünner, die collenchymatischen Verdickungen der äusseren Rindenzellen, so wie auch die Verdickungen der Holzelemente sind schwächer ausgebildet, als bei den normalen grünen Stengeln; kurz, die Zellhaüte der unter Lichtabschluss entwickelten Pflanzen bleiben dünner und weniger fest, als die der grünen Pflanzen. Aus diesen Beobachtungen zog man den Schluss, dass die Ueberverlängerung der etiolierten Stengel in der grösseren und länger dauernden Dehnbarkeit der Zellhäute ihren Grund habe, und folgerte weiter, dass überhaupt das Licht durch seinen Einfluss auf die Dehnbarkeit der Zellhaut, seine wachsthumretardierende Wirkung auf die Pflanzenzelle ausübe. Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, diese Anschauung einer experimentellen Prüfung zu unterziehen.

Zunächst verglich er zu diesem Zwecke die Turgorausdehnung und die Dehnbarkeit der Zellhäute des etiolierten und grünen epikotylen Gliedes von *Phaseolus multiflorus* untereinander. Es zeigte sich, dass in den oberen, also jüngeren, Epikotylregionen (etwa 15 bis 30 Mm. von der Spitze) weder in der Dehnbarkeit der Zellhäute, noch in der Turgorausdehnung überhaupt, irgend welche grössere Unterschiede zwischen den normalen und etiolierten Epikotylen bestanden; dass dagegen in den unteren also älteren Regionen derselben, sowohl die Turgorausdehnung als auch die Dehnbarkeit der Zellhäute bei den etiolierten Pflanzen

bedeutend grösser waren, als bei den normalen. So fand z. B. der Verfasser für, von oben nach unten, aufeinander folgende Querzonen von 15 Mm., bei einer grünen und einer etiolierten Pflanze nachstehende Procentzahlen:

Querzone	Turgorausdehnung		Dehnung des plasmolisierten Epikotyls	
	grün	etioliert	grün	etioliert
I	8·9	8·6	7·2	7·8
II	7·1	7·1	5·7	6·4
III	3·4	7·0	2·1	6·3
IV	2·0	5·5	0·7	4·8
V	—	4·9	—	3·5
VI	—	1·3	—	0·7

wobei zur Dehnung ein Gewicht von 100 Gr. benützt wurde.

Aus diesen Zahlen ist zu entnehmen, dass die jungen Zellen, bei den etiolierten und grünen Pflanzen, Zellhäute von gleicher Dehnbarkeit besitzen, dass aber diese Dehnbarkeit bei den etiolierten Pflanzen bei weitem länger andauert, als bei den grünen.

Weiter wurde untersucht, welchen Einfluss das Licht auf die Turgorausdehnung und auf die Dehnbarkeit eines etiolierten Epikotyls ausübt, wenn die etiolierte Pflanze plötzlich der Lichtwirkung ausgesetzt wird. Es stellte sich heraus, dass schon nach einer zwei- bis dreistündigen Lichtwirkung die Dehnbarkeit, und in Folge dessen auch die Turgorausdehnung der älteren Regionen des etiolierten Epikotyls, bedeutend herabgesetzt wird; dass dagegen die Turgorausdehnung der obersten jüngsten Region keine Veränderung durch die Lichtwirkung erleidet. So zeigten z. B. zwei etiolierte Pflanzen, von denen die eine bis zum Schlusse des Versuches im Dunkeln blieb, die andere dagegen die zwei letzten Stunden der Lichtwirkung ausgesetzt wurde, in den aufeinanderfolgenden Querzonen (von 15 Mm.) ihrer Epikotylenglieder nachstehende Procentzahlen:

Zone	Turgorausdehnung		Dehnung unter dem Gewichte von 50 Gr.	
	Etiolierte Pflanze in Dunkelheit.	Etiolierte Pflanze 2 letzte St. im Licht.	Etiolierte Pflanze in Dunkelheit.	Etiolierte Pflanze 2 letzte St. im Licht
I	11·1	10·3	10·3	9·5
II	10·3	4·2	8·9	4·2
III	7·2	4·1	7·2	3·4
IV	7·2	4·8	5·0	4·8
V	2·7	4·8	—	—

Hat man sich nun einmal überzeugt, dass die Dehnbarkeitsunterschiede zwischen den etiolierten und grünen Stengeln erst in einer gewissen Entfernung von der Spitze, also in einem gewissen Alter der Zellen, hervortreten, und dass sie in den obersten, also jüngsten, Stengelregionen noch nicht bestehen, so hat man ein leichtes Mittel in der Hand sich zu überzeugen, ob in der That, der herrschenden Ansicht gemäss, die Ueberverlängerung der Stengel in der Dunkelheit in der grösseren Dehnbarkeit der Zellhäute etiolierter Pflanzen ihren Grund habe, oder ob hier noch andere Factoren mit in Spiel kommen müssen. Ist nämlich die herrschende Ansicht richtig, so können die Unterschiede in der Wachsthumsgeschwindigkeit der grünen und etiolierten Stengel erst in einer gewissen Entfernung von der Spitze zum Vorschein kommen; für einen solchen Unterschied in den obersten, jüngsten Stengelregionen liegt kein Grund vor. Um diese Frage festzustellen, hat der Verfasser einige Versuche angestellt, bei welchen die Zuwachsgrössen einzelner Zonen der grünen und etiolierten Pflanzen bestimmt wurden. Diese Versuche zeigten ein, dem vorhergesehenen ganz entgegengestelltes, Resultat. Es zeigte sich, dass gerade in der obersten, jüngsten Zone die Unterschiede in der Wachsthumsgeschwindigkeit der etiolierten und grünen Phaseolusepikotylen die grössten sind; ungeachtet, dass hier noch keine Unterschiede in der Dehnbarkeit der Zellhäute nachweisbar sind. So sind die von oben nach unten aufeinanderfolgenden Zonen von 15 Mm. bei drei grünen und drei etiolierten Pflanzen innerhalb einer Zeitdauer von $3^1/_2$ Stunden um nachstehende Längen zugewachsen:

	Zuwachs einzelner Zonen in Mm.					
Zone	Grüne Pflanzen			Etiolierte Pflanzen.		
I	1·7	2·7	2·5	3·6	4·0	3·5
II	1·7	1·6	1·4	4·0	2·0	1·8
III	1·2	0·5	—	2·5	1·2	1·5
IV	0·6	—	—	1·3	1·0	0·2
V	—	—	—	0·7	0·5	0·0

Aus diesen Zahlen ist nun zu folgern: dass die Hauptursache der Ueberverlängerung etiolierter Stengel nicht in der geringeren Erstarkung der Zellwände in der Dunkelheit zu suchen ist; dass viel eher umgekehrt diese geringe Erstarkung der Zellwände als eine Folge des übermässigen Flächenwachsthums derselben be-

trachtet werden darf. Indem die sich bildende Cellulose vorzüglich zum Flächenwachsthum der Zellhäute Verwendung findet, fehlt es an nöthigem Material zur Verdickung derselben. Es ist dadurch nicht ausgeschlossen, dass dieses längere Dünn- und Dehnbarbleiben der Zellwände auch ein längeres Dauern des Längenwachsthums zur Folge hat, und dass dadurch die Ueberverlängerung noch bedeutender gemacht wird; keineswegs aber liegt die Hauptursache der Ueberverlängerung in dieser länger dauernden Dehnbarkeit der Zellwände. Das Licht retardiert das Wachsthum nicht, weil es die Dehnbarkeit der Zellwände herabsetzt, sondern es vermindert die Dehnbarkeit der Zellwände, weil es das Flächenwachsthum derselben retardiert.

Diese, sowie die schon früher vom Verfasser der Akademie vorgelegten Resultate der Versuche über die Wirkungsweise der Temperatur auf das Wachsthum, zeigen eine gewisse Unabhängigkeit der Wachsthumsgeschwindigkeit von Turgorausdehnung, indem sie den Nachweis liefern, dass, bei gleicher Turgorausdehnung, je nach den verschiedenen äusseren Bedingungen, die Wachsthumsgeschwindigkeit eine sehr verschiedene sein kann. Trotzdem meint der Verfasser, dass es ganz unstatthaft sei, auf Grund solcher und ähnlicher Thatsachen, die hohe Bedeutung der Turgorausdehnung für das Wachsthum der Pflanzenzelle zu verkennen. Bekanntlich ist es Krabbe gewesen, der in seiner Arbeit »*Das gleitende Wachsthum bei der Gewebebildung der Gefässpflanzen*« als ein entschiedener Gegner der Turgortheorie des Wachsthums hervorgetreten ist. Aus der Thatsache, dass bei der Gefässbildung die künftigen Gefässe, ohne einen höheren Turgor als die benachbarten Zellen aufzuweisen, über denselben herübergleitend bedeutend stärker am Umfang zunehmen, also ein viel stärkeres Flächenwachsthum als diese zeigen, folgerte Krabbe, dass das Flächenwachsthum vom Turgor unabhängig ist. Eine ähnliche Meinung spricht auch Askenasy[1] aus, sich darauf stützend, dass er bewiesen hat, dass die Turgorausdehnung in dem wachsenden Theile der Wurzel von Maïs, bei einer Temperatur von 9° C., bei welcher die Wurzel kaum wächst, eine nahezu dieselbe ist, als bei einer Temperatur von 26° C., welche dem Wachsthumsoptimum schon nahe liegt.

[1] Askenasy »Beziehungen zwischen Wachsthum und Temperatur«. Berichte der deutschen Bot. Gesellschaft. Bd. VIII. S. 56–94.

Diese Thatsachen beweisen aber nur, ähnlich wie die Versuche des Verfassers, dass das Wachsthum durchaus nicht der Turgorausdehnung proportional sein muss, dass also die Turgorausdehnung nicht die einzige Wachsthumsbedingung sein kann, und damit das Wachsthum wirklich zu Stande kömme, noch andere Processe sich in der Zelle abspielen müssen: aber in keiner Weise beweisen diese Thatsachen, dass die Turgorausdehnung für das Wachsthum der Pflanzenzelle überflüssig sei, so dass das Wachsthum einer mit elastischer Zellhaut bekleideten Zelle auch ohne Turgorausdehnung zu Stande kommen könnte.

Noch weniger beweisen gegen die Berechtigung der Turgortheorie die Berechnungen, welche Krabbe ausführte, um den, für die Bildung der von ihm beschriebenen Erweiterungen an den Bastfasern der Asclepiadeen und Apocyneen, nöthigen Turgordruck zu ermitteln[1]. Diesen Berechnungen, nach welchen, um den nöthigen Effekt hervorzurufen, Tausende von Atmosphären Turgordruck erforderlich wären, liegen die Schwendener'schen Zahlen zu Grunde; Zahlen, welche sich auf die Dehnbarkeit gänzlich ausgebildeter und nicht auf die Dehnbarkeit wachsender Bastfasern beziehen. Bei der Bildung der von Krabbe beschriebenen Erweiterungen sind aber, offenbar, die Bastfasern an betreffenden Stellen im erneuerten Wachsthum begriffen, und nichts steht der Annahme entgegen, dass, bevor sich die Erweiterungen zu bilden anfangen, die Zellhaut, an den betreffenden Stellen, durch den Einfluss des Protoplasmas, vom Neuen leicht dehnbar gemacht wird.

Der Meinung des Verfassers nach, ist der Antheil der Turgorausdehnung an dem Wachsthum der Zelle durch die Versuche von de Vries über das Wachsthum der Wurzeln in Salzlösungen, durch die Versuche von Wortmann über das Wachsthum von Vaucheria und der Wurzelhaare in Zuckerlösungen, endlich durch die Versuche des Verfassers über die Grösse der Turgorausdehnung am Ende der grossen Wachsthumsperiode, über jeden Zweifel erhoben; und Alles, was Krabbe und Askenasy gegen die Turgortheorie angeführt haben, ist nur insofern berechtigt, als es sich auf die einseitige Stellung, welche einige neueren An-

[1] Krabbe »Ein Beitrag zur Kenntniss der Struktur und Wachsthums der vegetabilischen Zellhäute«. Pringsh. Jahrb. Bd. XVIII. S. 394.

hänger dieser Theorie eingenommen haben, bezieht. Als nämlich die Intussusceptionstheorie durch die neueren Arbeiten von Schmitz, Strasburger u. A. erschüttert wurde, versuchte man das Flächenwachsthum der Zellhäute durch einfache Dehnung derselben zu erklären. Diese Dehnung soll von der Apposition neuer Zellhautlamellen begleitet werden, wodurch der Querschnitt der Membran wieder vergrössert wird. Diese Dehnung (respective das Wachsthum) soll so lange vor sich gehen, bis ihr durch die Verdickung der Zellhaut in Folge der fortdauernden Apposition neuer Zellstofflamellen eine Grenze gesetzt wird.

Es ist namentlich Wortmann, der diese s. g. Dehnungstheorie in seinen zahlreichen Arbeiten zu begründen und zu entwickeln suchte. Für ihn ist das Wachsthum nur ein Resultat des Ineinandergreifens von zwei Factoren: Turgorkraft und Membranbildung[1]. Wird die Membranbildung vergrössert, so nimmt die Dehnbarkeit der Zellhaut ab, und das Wachsthum wird langsamer; wird die Turgorkraft vergrössert, so wird die Dehnung, und also auch das Wachsthum, beschleunigt. Dass eine solche Theorie mit den Thatsachen, wie sie Krabbe und Askenasy anführen, sowie mit denen, welche der Verfasser zu Tage gefördert hat, unvereinbar ist, liegt auf der Hand. Diese Theorie fordert in der That, dass gleichen Turgorausdehnungen gleiche Wachsthumsgeschwindigkeiten entsprechen. Nun zeigten aber Askenasy und der Verfasser, dass ein und dasselbe Pflanzenorgan, bei gleicher Turgorausdehnung, je nach den äusseren Bedingungen, mit sehr verschiedener Geschwindigkeit wachsen kann, was unmöglich wäre, wenn ausser der Turgorausdehnung keine anderen Factoren bei dem Wachsthum mitwirkten. Diese anderen Factoren können unmöglich einzig und allein in der Apposition neuer Zellstofflamellen an der gedehnten Zellhaut liegen, denn, wie schon Askenasy richtig bemerkte, es ist nicht einzusehen, wie diese Apposition die Dehnbarkeit der älteren gedehnten Schichten wieder herstellen soll. Die elastische Spannung der gedehnten Schichten kann ja unmöglich dadurch aufgehoben werden, dass an ihnen neue ungedehnte Schichten aufgelagert werden. Der Verfasser ist der Meinung, dass um sich eine richtige und den betrachteten Thatsachen nicht widersprechende Vorstellung von der Art und

[1] Wortmann, Bot. Zeit. 1889, S. 296.

Weise, wie sich der Wachsthumsprocess einer mit elastischen Membran bekleideten Pflanzenzelle abspielt, zu bilden, man zwei Momente dieses Wachsthums unterscheiden müsse:

1. Die Dehnung der Zellhaut durch den Turgor.

2. Die Ausgleichung dieser Dehnung und Wiederherstellung der Dehnbarkeit elastisch gespannter Schichten. Dieses zweite Moment ist nun, der Hauptsache nach, auf eine erweichende Einwirkung des Protoplasmas auf die gespannten Schichten der Zellhaut zurückzuführen; die Apposition neuer Membranlamellen ist nur insoferne von grosser Wichtigkeit, als sie die Dicke der Membran, welche durch Dehnung vermindert wurde, wieder vergrössert, und dadurch das Material zur neuen Dehnung liefert.

Beide diese Momente sind für das Zustandekommen des Wachsthums einer, mit elastischer Membran bekleideten, Pflanzenzelle unumgänglich nothwendig, und die Wachsthumsgeschwindigkeit muss, was man bisher immer übersehen hat, von der Wirkungsgrösse beider dieser Momente abhängen. Nicht nur durch Vergrösserung der Turgorausdehnung, aber auch durch Beschleunigung der, die Dehnbarkeit elastisch gespannter Schichten wiederherstellenden, Wirkung des Protoplasmas kann die Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanzenzelle gesteigert werden. Worauf diese, die elastische Spannung der Zellhaut vermindernde, Wirkung des Protoplasmas beruht? ob sie in irgend welcher Weise mit Zellstoffproduction zusammenhängt, oder nicht? Das wissen wir zur Zeit nicht; ohne dieselbe aber anzunehmen, ist das Flächenwachsthum der Zellhaut durch Dehnung nie zu verstehen.

Wenn die äusseren Einflüsse, wie: Temperatur, Licht, Luftfeuchtigkeit, Zufluss von Wasser u. s. w. die Wachsthumsgeschwindigkeit verändern, so kann das auf doppelte Art und Weise geschehen: entweder beeinflussen diese Factoren das erste, oder das zweite Moment des Wachsthums. Die Versuche von Askenasy und vom Verfasser haben dargethan, dass die Temperatur auf die Turgorausdehnung nicht einwirkt, folglich kann sie durch ihre Wirkung nur das zweite Moment des Wachsthums beeinflussen. Dasselbe wird nun jetzt für die wachsthumretardierende Lichtwirkung vom Verfasser nachgewiesen.

Es ist anzunehmen, dass die Wirkung des Protoplasmas, welche die Ausgleichung der Turgorausdehnung erzeugt, durch Licht ver-

zögert wird, — dass die Elasticitätsspannung der gedehnten Zellhautschichten in der Dunkelheit rascher durch Protoplasma vermindert wird, und in Folge dessen die Zellhaut rascher einer neuen Dehnung fähig werden kann, als im Lichte, — und dass in diesem Umstande die Hauptursache der wachsthumretardierenden Lichtwirkung zu suchen ist.



Spis rzeczy. — Table des matières.

	Str.
Autobiografja	1
Autobiographie	13
Opis własnych doświadczeń nad własnością absorbcyjną ziemi ornej i przegląd prac dotychczas w tym przedmiocie dokonanych	26
Description de nos expériences sur le pouvoir absorbant de la terre arable et revue des recherches sur ce sujet	86
Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung der Blätter von dem Kohlensäuregehalt der Luft	101
Abhängigkeit der Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von dem Kohlensäuregehalt der Luft	139
O metodzie oznaczania szybkości przyswajania zapomocą obliczania pęcherzyków gazowych, wydobywających się z rośliny pod wodą	146
De la méthode consistant à déterminer la vitesse de l'assimilation, en comptant les bulles de gaz qui se dégagent de la plante plongée dans l'eau	172
Niektóre doświadczenia nad oddychaniem porostów	202
Quelques expériences sur la respiration des Lichens	209
O powstawaniu i znikaniu skrobi w gałeczkach zieleni	217
O przyczynach wypłaniania roślin w ciemności	255
Czy produktem przyswajania u roślin bananowatych jest tłuszcz czy skrobia?	258
Ist das Assimilationsprodukt der *Musaceen* Oel oder Stärke	261
Wpływ światła na wzrost roślin	268
Zur Kenntniss der Ursachen der Formänderung etiolirter Pflanzen	272
Studja nad oddychaniem roślin	308
Ein neuer Athmungsapparat	368
Beiträge zur Kenntniss der Pflanzenathmung	379
Przyczynek do teorji krążenia soków u roślin	428
Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen	490
Einige Bemerkungen zur Auffassung der Reizerscheinungen an den wachsenden Pflanzentheilen	550
Über die tägliche Periodicität des Längenwachsthums	566
Über die biologische Bedeutung der Etiolierungserscheinungen	569
Nachträgliche Berichtigung zu dem Aufsatz: »Über die biologische Bedeutung der Etiolierungserscheinungen«	580
Über die Beeinflussung des Wachsthums der Pflanzen durch äussere Faktoren	581
Die Art und Weise der wachsthumretardierenden Lichtwirkung und die Wachsthumstheorien	591

Rozprawy Wydziału matemat.-przyrodn. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja III. Tom 25/26. Dział A/B. (Ogólnego zbioru tom 65/66 A/B). zł 5·—

Marchlewski T.: O znaczeniu pewnych cech kraniologicznych bydła (str. 1—16). — Grodziński Z.: Układ naczyń krwionośnych śluzicy (*Myxine glutinosa L.*) (str. 17—36). — Żorawski K.: Własności pewnej kategorji przekształceń punktowych w płaszczyźnie (str. 37—70). — Wóycicki Z.: O ziarnach pyłkowych, łagiewkach i spermatogenezie u *Haemanthus Katharinae* Cz. I (str. 71—92). — Piech K.: Studja cytologiczne nad rodzajem *Scirpus* (str. 93—152). — Wóycicki Z.: O ziarnach pyłkowych, łagiewkach i spermatogenezie u *Haemanthus Katharinae*. Cz. II (str. 153—186). — Skowron St.: Materjały do rozwoju mieszańców ryb kostnoszkieletowych (str. 187—220). — Czeczottowa H.: Element atlantycki we florze Polski (str. 221—286). — Żorawski K.: Ruchy sztywne i kompleksy linjowe (str. 287—340).

Rozprawy Wydziału matemat.-przyrodn. Polskiej Akademji Umiejętności. Serja III. Tom 27. Dział A/B. (Ogólnego zbioru tom 67 A/B). zł 35·—

T. Vetulani: Dalsze badania nad konikiem polskim. (Z tablicami 1—4, str. 1—84). — Anna Luxenburgowa: Badania cytologiczne na pyłkiem u Malwowatych. (Z tablicami 5—8, str. 85—152). — K. Wallisch: Cycadoidea polonica, nowy gatunek z Polski. (Z tablicami 9—16, str. 153—170). — B. Pawłowski, M. Sokołowski i K. Wallisch: Zespoły roślin w Tatrach. Część VII. Zespoły roślinne i flora doliny Morskiego Oka. (Z tablicami 17—27, str. 171—312). — J. St. Kuszkowski: Badania nad rozwojem i budową tasiemców morskich, część I. (Z tablicami 28—30, str. 313—324). — A. Kozłowska: Naskalne zbiorowiska roślin na wyżynie Małopolski. (Z tablicami 31—37, str. 325—374). — M. Nowiński: Stosunki geobotaniczne południowo-wschodniego krańca puszczy Sandomierskiej. (Z tablicami 38—47, str. 375—542). — St. Śnieszko i A. Lachowicz: Serologiczne badania nad rasami buraków (str. 543—554).

Rozprawy Wydziału matemat.-przyrodn. Polskiej Akademji Umiejętności. Ser. III. Tom 28. Dział A i B. (Ogólnego zbioru tom 68 A i B).

Dź. A. Nr. 1. K. Żorawski: O pewnych przekształceniach czterowymiarowej przestrzeni, będących w związku z własnościami funkcyj zmiennych zespolonych . . . . . 1·—

Nr. 2. J. Morozewicz: O składzie chemicznym nefelinu skałotwórczego . . . . . 1·—

Nr. 3. Ludomir Sawicki †: Przyczynki do znajomości jezior naszych Kresów Wschodnich . . . . . 3·—

Dź. B. Nr. 1. St. Hiller: Wpływ głodu na regenerację u aksolotla . . 1·—

Nr. 2. B. Kączkowski: Studja nad wełną owiec ras i odmian miejscowych polskich . . . . . 5·—

Nr. 3. B. Pawłowski: Elementy geograficzne i pochodzenie flory tatrzańskiego piętra turniowego . . . . . 2·—

Nr. 4. Wanda Karpowiczówna: Badania nad rozwojem przedrośli oraz pierwszych liści sporofitu paproci krajowych (*Polypodiaceae*) . . . . . 7·—

UP - Kraków BG
1050258464

Podręczniki

Serja I.

Benni T., Łoś J., Nitsch K., Rozwadow
Gramatyka języka polskiego
Gawroński A.† Gramatyka sanskrycka *(w druku)*.
Łoś J. Pisownia polska. Przepisy. Słowniczek. Wydanie VIII, poprawione i rozszerzone 2·—
Morawski K. Zarys literatury rzymskiej 6·—
Moszyński K. Kultura Słowian. Cz. I. Kultura materjalna 50·—
Witkowski St. Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom I. 9·—
— Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom II. 9·—
— Historjografja grecka i nauki pokrewne. Tom III. 20·—
Zieliński T. Tragodumenon libri tres 10·—

Serja II.

Adametz L. Hodowla ogólna zwierząt domowych, z niemieckiego rękopisu przełożył Zdz. Zabielski 12·—
Anatomja człowieka. Tom I — opracował A. Bochenek, broszurowany 12·—
oprawny 14·—
Anatomja człowieka. Tom II — opracowali A. Bochenek i St. Ciechanowski 20·—
Anatomja człowieka. Tom III — opracowali A. Bochenek i St. Ciechanowski 12·—
Anatomja człowieka. Tom IV, część II (Nerwy obwodowe — Oko — Powłoki zewnętrzne) — opracowali E. Loth, Fr. Krzyształowicz i K. Majewski 12·—
Anatomja człowieka. Tom IV, część III (Ucho) — opracował J. Markowski 7·—
Hoyer H. Anatomja porównawcza zwierząt domowych (z licznemi rycinami) 16·—
Klecki K. Patologja ogólna, tom I. 30·—
Kozak J. i Orzelski T. Ćwiczenia z zakresu chemji ogólnej (z rycinami) 7·—
Marchlewski L. Podręcznik do badań fizjologiczno-chemicznych 12·—
Maziarski St. Podręcznik do ćwiczeń histologicznych 9·—
Oszacki A. Choroby przemiany materji i energji u człowieka. Podstawy nauki o metabolizmie. Fizjopatologja tycia i chudnięcia. Kliniczne postaci otyłości i chudości 15·—
Pisarski Tadeusz. Kamienie moczowe. Ich budowa i mechanizm powstawania 6·—
Rosenblatt A. Geometrja analityczna na płaszczyźnie (z rycinami) 12·—