© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mittheilungen.

27. A. Nabokich: Wie die Fähigkeit der höheren Pflanzen zum anaëroben Wachsthum zu beweisen und zu demonstriren ist.

Zweite vorläufige Mittheilung[1]).

Eingegangen am 1. April 1901.

Das Erziehen der höheren Pflanzen im sauerstofffreien Raume blieb bisher erfolglos. Nach einer ganzen Reihe von Versuchen, deren Beschreibung vorläufig zum Drucke vorbereitet wird, haben wir uns überzeugt, dass die verneinenden Schlussfolgerungen vieler Autoren (Wieler, Wortmann, Palladin, Detmer, Correns etc.) dem Wesen der Sache nach nicht überzeugend sind und auf Missverständniss beruhen; das von ihnen beobachtete Aufhören des Wachsthums ist nicht durch Sauerstoffabwesenheit (der in den meisten Versuchen nicht völlig ausgeschlossen blieb), sondern durch andere Ursachen zu erklären. Diese letzteren beruhen auf der dem Hauptzweck nicht in geeigneter Weise angepassten Versuchsmethode: die Erhaltung der Zuwächse. Die Sache liegt darin, dass die Mehrzahl der Autoren zur Entfernung des Sauerstoffs einen Wasserstoffstrom (oft im Verein mit einer Wasserstrahl-Luftpumpe oder einer Luftpumpe) benutzten; die cultivirten Pflanzen wurden einem andauernden Aufenthalte in einer verdünnten Atmosphäre unterworfen, oder auch in einem mit inertem Gase angefüllten Raume gehalten, dessen Sättigung mit Wasserdampf durchaus nicht immer gelang und in jedem Falle nicht mit der Vollständigkeit, welche a priori als wünschenswerth erscheint. Kurz gesagt, die Pflanzen wurden im Laufe des ganzen Versuchs nicht in dem Zustand des Turgors erhalten, welcher sich bei ihnen im Momente der ersten Messung beobachten liess[2]). Zweitens hatte die Benutzung der Atmosphäre eines inerten Gases natürlich

1) A. Nabokich, Ueber anaërobes Wachsthum der Wurzeln. Vom 15. XII. 1900. Журналъ Опытной Агрономіи, 1900, Heft VI. (Zeitschrift für Experimental-Agronomie.)

2) Wieler, Beeinflussung des Wachsens u. s. w. Untersuch. aus dem Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I, Heft 2, 1883, S. 198, 200, 229 ff. — Palladin, Bedeutung des Sauerstoffs für die Pflanzen. (Russisch). Moskau 1886. S. 21—23, 45, 87, 93. — Wortmann, Botanische Zeit. 1884, S. 705—713. — Ders., Arbeiten aus dem Bot. Inst. zu Würzburg. 1880, Bd. II, S. 509. — Correns, Flora 1892, S. 87 ff.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

das zur Folge, dass die Producte der intramolecularen Athmung (Alkohol etc.) in den Geweben blieben, sich anhäuften und die Pflanze vorzeitig abtödteten.

Endlich ignorirten die Autoren in fast allen Versuchen die Ernährung ihrer Objecte (gewöhnlich Abschnitte von verschiedenen Organen) mit organischen Stoffen, z. B. mit Zucker, was in der Gegenwart, nach der Veröffentlichung einer ganzen Reihe von Versuchen über die Anaërobiose, kaum als zweckmässig erscheint (DIAKONOW, PALLADIN, RITTER und viele andere).

Die angegebenen Bedingungen genügen, um statt einer Verlängerung der Lebensdauer der Objecte eine Verkürzung zu erhalten. Der ungünstige Ausgang der Untersuchungen wurde noch dadurch verstärkt, dass ähnliche Versuche nicht länger als 10—22 Stunden dauern konnten. Der rasche Wechsel der normalen Atmosphäre durch eine sauerstofffreie musste auf die Pflanze äusserst ungünstig einwirken: die Pflanzen litten ohne Zweifel durch den Uebergang und passten sich den neuen Bedingungen des Stoffwechsels nur allmählich an, so dass mehr oder weniger bedeutende Zuwächse nur nach Verlauf von 15—24 Stunden nach dem Beginne des Versuchs constatirt werden konnten. Die angenommene Wasserstoffmethode verlangt das Aufhören des Experiments, nämlich in dieser Zeit.

Um also im sauerstofffreien Medium an den Wurzeln und Stengeln der höheren Pflanzen mehr oder weniger bedeutende Zuwächse zu constatiren, war es nöthig, die anaëroben Versuche den aufgezählten Forderungen anzupassen. Zu diesem Zwecke kann man sich an die Beschreibung einiger classischen Versuche PASTEUR's wenden; wir experimentiren gegenwärtig mit dem günstigsten Resultate folgendermassen:

Es wird ein kleiner Destillirkolben (von 50—70 *ccm*) mit einem am Halse angeschmolzenen Seitenrohre genommen, welcher auf einem Blasetisch zu einer dickwandigen Capillare ausgezogen wird (Fig. I). In den Kolben werden 40—50 *ccm* 0,5—2,0procentige Glukose- oder Rohrzuckerlösung gegossen. Es werden bei Zeiten etiolirte Keimlinge des Mais, der Sonnenblume, der Zwiebel und andere vorbereitet; Abschnitte von Stengeln und Wurzeln werden 1—4 Stunden vor dem Versuche in Wasser gehalten, danach werden sie sortirt und für die Messung durch Einschnitte markirt. Die Messung wird mit einem Zirkel und genauem und feinem Lineal unmittelbar vor dem Eintauchen der Keimlinge in die Zuckerlösung ausgeführt. Gleich nach dem Eintauchen wird der breite Hals des Kolbens zugeschmolzen und nach Abkühlung des letzteren wird der Kolben mit dem Vacuum irgend einer starken Pumpe verbunden. Zur Vereinigung dient ein dicker, aber nicht besonders schwerer Kautschukschlauch mit einer gewöhnlichen Klemme am freien Ende. Die Klemme wird unweit

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Capillaren angebracht und zur Verbindung des Kolbens mit der arbeitenden Luftpumpe geöffnet. Nach Erreichung des möglichen Minimums des Evacuirens (0—15 *mm*) wird der Kolben ein Wenig in kochendes Wasser gesenkt. Das Nährsubstrat fängt sofort stürmisch an zu kochen, wobei die sich bildenden Dämpfe allmählich aus dem Kolben die letzten Sauerstoffspuren austreiben, natürlich nur, wenn die Arbeit der Pumpe während des Versuchs nicht unterbrochen wird. Nach dem Entfernen der Gase lässt sich ein schnelles Ueberhitzen der Lösung beobachten, und deshalb ist es nöthig, den Kolben recht oft wiederholt in kochendes Wasser einzutauchen und mit der Abkühlung zu wechseln. Um einem entgegengesetzten Strom der Sauer-

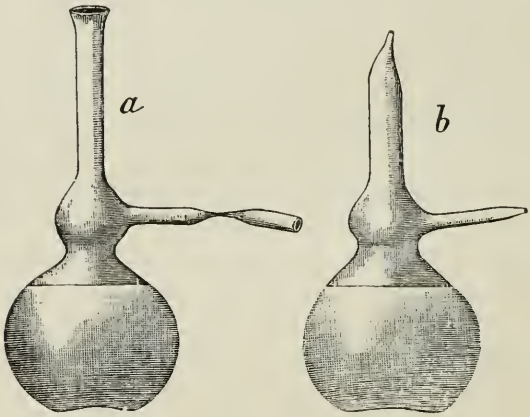

Fig. I.

stoffspuren aus dem Vacuum in den Kolben vorzubeugen, empfiehlt es sich, nur im Momente des stärksten Kochens die Klemme zu öffnen. Das Kochen im Laufe von 5—8 Minuten genügt völlig, um Phosphorleuchten aufhören zu lassen, aber es bietet keine Schwierigkeiten, wenn man den Process des Kochens bis auf 20—30 Minuten und mehr verlängert.

Nach möglichst völliger Entfernung des Sauerstoffs wird die Capillare des Seitenrohrs in der Flamme eines Gasbrenners vorsichtig erhitzt, zugeschmolzen und endlich abgebrochen (Fig. I, *b*).

Somit verweilen die ausgemessenen Objecte in einem von Sauerstoff befreiten, zugeschmolzenen Kolben, und folglich können wir sagen, dass die anaëroben Culturen der höheren Pflanzen im Nährsubstrate in ähnlicher Weise von uns ausgeführt werden, wie die PASTEUR'schen Culturen der Mikroorganismen und der Hefe. Diese Methode bietet völlige Garantie vor Sauerstoffspuren. Wir wenden hier weder Wasserstoff, Kautschukschläuche, Gummipropfen, Hähne, noch Quecksilber an. Das Entfernen des Sauerstoffs wird am ener-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gischsten ausgeführt, wenn man noch die Vollkommenheit der jetzigen automatisch arbeitenden Quecksilberpumpen in Betracht zieht. Wir benutzten eine grosse MENDELEJEW'sche Glaspumpe, wie auch automatische Pumpen nach R. MÜNCKE, in Verbindung mit einer mit dem BABINÉ'schen Hahn versehenen Luftpumpe.

Ausserdem darf man nicht vergessen, dass das Kochen bei Erhitzung der Kolbenwände im kochenden Wasser ausgeführt wird, und dabei wird nicht nur das Substrat, die Wände des Kolbens und die Atmosphäre über der Lösung von Sauerstoff befreit, sondern auch die Untersuchungsobjecte, nämlich die Pflanzen. Wenn man den Einfluss des Processes der Sauerstoffbefreiung auf die Pflanzen erforschen will, so muss vor dem Aufstellen des Kolbens im Dunkeln eine sorgfältige Durchsicht der Objecte, ihre Messung und Abzeichnung ausgeführt werden, wozu man durch Neigung des Kolbens die Keimlinge an die Wände des Halses bringt und die Lösung in den Kolben abgiesst.

Auf Grund einer zahlreichen Reihe von Beobachtungen entschliessen wir uns, zu behaupten, dass in der grössten Mehrzahl der Fälle alle Operationen von der Messung bis zum Zuschmelzen keinen Einfluss auf die Grösse und Form der Keimlinge ausübten. Dies versteht man auch leicht, denn die Vollziehung des Experiments verlangt zu wenig Zeit, um bei den Versuchsbedingungen irgend welchen merklichen Zuwachs zu ermöglichen. Die Dauer der verschiedenen Operationen war bei einiger Gewandtheit und geeigneter Wahl der Apparate folgende:

Das Messen	3— 5 Minuten
Das Zuschmelzen	2— 5 „
Das Verdünnen der Luft	2— 5 „
Das Kochen	15—30 „
Die Dauer des ganzen Versuchs . .	22—45 Minuten.
Im Ganzen vor dem Kochen . . .	7—15 Minuten.

Diese Daten sind den Versuchsprotokollen entnommen, in denen 10—15 Pflanzen gemessen wurden. Das Quantum des Substrats überstieg nicht 40—45 *ccm*, die Kolben aber hatten eine Capacität von nur 60—65 *ccm*. Natürlich werden die Pflanzen, der Blasetisch, der Brenner, das Wasserbad und anderes schon bei Zeiten vorbereitet; die Luft wird in dem Trockenkolben mit $CaCl_2$, in den Kautschukschläuchen bis auf das mögliche Minimum schon vor dem Versuche verdünnt. Die ununterbrochene Ausführung aller Operationen verlangt eine gleichzeitige Theilnahme von zwei bis drei Personen; mit Hilfe einer Wasserluftpumpe aber gelingt es leicht einem einzelnen Beobachter, den ganzen Versuch allein auszuführen. Wenn es als wünschenswerth erscheint, sich endgültig vor den geringsten Mengen Sauerstoff sicher zu stellen, da solche in dem Kolben in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Folge der Unvollkommenheit der Pumpen oder ungenügenden Kochens vorhanden sein könnten, so empfiehlt es sich, schon bei Zeiten eine Nährlösung mit Zusatz von 0,1—0,5 pCt. Pepton oder Asparagin vorzubereiten. In den Kolben wird dann die trüb gewordene Flüssigkeit mit einer Flora zahlreicher, die letzten Spuren des Sauerstoffs verzehrenden Mikroorganismen gegossen. Wir haben uns überzeugt, dass, wenngleich die Bacterien einen schnelleren Tod der Pflanzen hervorrufen, sie dennoch im Laufe von 40—50 Stunden das Wachsthum nicht unterbrechen. Die sterilen Culturen kann man nur beim Erziehen sehr junger Keimlinge, z. B. der Erbse, der Sonnenblume und anderer benutzen. Die trockenen Samen werden in einer Bromlösung von 1 : 1000 im Laufe von 20—30 Minuten sterilisirt, in einem Strom sterilisirten Wassers gewaschen und in dem letzteren zur Anquellung und Aufkeimung 24—50 Stunden aufbewahrt.

Bei der Messung wird die Testa unweit den Wurzeln vorsichtig geöffnet; nach der Messung wird sie fortgeworfen. In die Cultur gelangen also nackte Keimlinge mit ganzen Cotyledonen oder nur mit Abschnitten der letzteren. Alle Instrumente und Glasapparate müssen natürlich in solchen Versuchen sterilisirt werden. Bei der Messung werden die Instrumente jedesmal durch eine Flamme geführt.

Die Dauer der Culturen der höheren Pflanzen unter den Bedingungen der Anaërobiose ist für verschiedene Objecte sehr verschieden. Am widerstandsfähigsten sind scheinbar einjährige Zwiebelchen von *Allium Cepa* und sehr junge Keimlinge von *Pisum sativum* und *Helianthus annuus*. Merkbare Zuwächse lassen sich hier schon nach Verlauf von 15—24 Stunden beobachten, bisweilen treten sie aber nur am dritten und vierten Tage deutlicher hervor. Die Abschnitte der Endinternodien der Maiskeimlinge oder die Abschnitte der Stengel von *Helianthus annuus* lassen erst nach 15—20 Stunden nach dem Kochen einen Zuwachs erkennen; starke Exemplare entwickeln sich erst am zweiten Tage, aber sie gehen schon nach 45—50 Stunden vom Beginne des Versuchs zu Grunde. Die Keimlinge der Gurke sterben 15—20 Stunden nach dem Beginn des Kochens, also noch früher ab, so dass sie für Versuche unbequem sind. Nicht besonders günstige Resultate erhielten wir mit Bohnen- und Schminkbohnen-Keimlingen. Das Vorhandensein der Testa auf den Keimlingen ist für das Wachsthum äusserst ungünstig, wodurch wir die Resultate der Versuche GODLEWSKI's und MASÉ's erklären, die die Frage des anaëroben Stoffwechsels oder Wachsthums bearbeiteten. Die Grösse der Zuwächse in einer jeden Cultur wird scheinbar vor allem durch die individuellen Besonderheiten der Keimlinge bestimmt.

Obgleich die vorläufige Auswahl ganz gleicher Objecte von grossem Nutzen ist, so beseitigt sie doch nicht diese Schwierigkeit. Wir

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

müssen jedoch bemerken, dass die Procentzahl der nicht wachsenden Pflanzen in den meisten Fällen sehr gering ist, nicht mehr als 5 bis 10 pCt. beträgt und in einigen Fällen bis auf Null sinkt. Der Zuwachs hängt noch von dem Alter und der Länge der genommenen Pflanzen oder ihrer Abschnitte ab. Sehr junge, kurze Keimlinge wachsen weniger als grössere, welche wiederum nur bis zu einem gewissen Masse sich gut entwickeln. Auf Grund dessen kann man annehmen, dass die Gesetze „von den Perioden des Wachsthums", wie sie SACHS aufgestellt hat, auch für die Erklärung der Erscheinungen unter den Bedingungen der Anaërobiose anzuwenden sind. Um einige Vorstellung von den Resultaten der oben beschriebenen Culturen zu geben, theilen wir einige Daten aus gleichen von uns in der letzten Zeit ausgeführten Versuchen mit.

Versuch XXXI.

Die Länge des Stengelabschnittes von *Zea Mays* in Millimetern:

	Pflanzen I.	Pflanzen II.
20. II., Morgens, vor dem Versuche	27,5	27,5
21. II., Morgens, während des Versuchs	29,0	29,0
21. II., Abends, nach dem Versuche	29,8	35,0
Zuwachs in Millimetern in 36 Stunden . . .	**2,3**	**7,5**

In der Cultur befanden sich in 35 *ccm* Zuckerlösung 7 Keimlinge, welche im Ganzen in 36 Stunden **19,5** *mm* Zuwachs ergaben.

Versuch XXXIV.

Die Länge des Stengelabschnittes von *Zea Mays* in Millimetern:

1. III., 11 Uhr Morgens, vor dem Versuche	35,0
2. III., 8 Uhr Morgens, während des Versuches	36,5
2. III., 8 Uhr Abends, „ „ „	38,6
2. III., 10 Uhr Abends, „ „ „	39,6
3. III., 8 Uhr Morgens, nach dem Versuche	43,2
Zuwachs in Millimetern in 45 Stunden	**8,2**

Nach dem Versuche stellte es sich heraus, dass die Pflanze lebend und ausserordentlich elastisch war. Das Tödten im kochenden Wasser rief eine Verkürzung bis auf 5,2 *mm* hervor. Somit überstieg der durch Messungen erhaltene Zuwachs um einige Millimeter jene Grenzen, die durch die Schwankungen des Turgors könnten erhalten werden. In demselben Kolben, also in 35—40 *ccm* Zuckerlösung, befanden sich noch 20 Keimlinge, unter denen 7 Zwiebeln von *Allium* (ohne die oberen dicken und dünnen Scheiden). Die Zwiebeln wurden nicht gemessen, sondern nur Wurzelbildung an der sorgfältig angeschnittenen Basis beobachtet; auf ihr zeigte sich in der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

That eine grosse Anzahl kleiner, 0,2—0,5 *mm* langer Würzelchen. Die übrigen 15 Keimlinge ergaben im Ganzen in 45 Stunden **44,5** *mm* Zuwachs.

Versuch XXXV.

Die Länge des Stengelabschnittes von *Zea Mays* in Millimetern:

	Pflanzen			
	I.	II.	III.	IV.
2. III., vor dem Versuche	30,7	30,7	30,7	30,7
4. III., nach dem Versuche	36,0	35,5	35,0	35,0
Zuwachs in 46 Stunden	5,3	4,8	4,3	4,3
Verkürzung nach dem Kochen in Wasser	2,0	2,4	2,6	3,6

Die Länge der Stengelabschnitte von *Helianthus annuus* in Millimetern:

	Pflanzen		
	I.	II.	III.
2. III., vor dem Versuche	27,6	27,6	27,6
4. III., nach dem Versuche	32,0	32,0	29,0
Zuwachs in 46 Stunden	4,4	4,4	1,4
Verkürzung beim Kochen in Wasser	2,0	2,5	0,5

In dieser Cultur befanden sich im Ganzen 16 Keimlinge, wobei vier Zwiebelchen von *Allium Cepa* nicht gemessen wurden, sondern nur die Bildung der Wurzeln beobachtet wurde. Die übrigen 12 Keimlinge ergaben im Ganzen in 46 Stunden **34,7** *mm* Zuwachs.

Versuch XXXVII.

Die Länge des Stengelabschnittes von *Zea Mays* in Millimetern:

	Pflanzen		
	I.	II.	III.
Vor dem Versuche lebend	52,7	40,2	40,2
Nach dem Versuche todt	53,3	45,5	44,3
Minimalzuwachs in 50 Stunden	0,6	5,3	4,1

Der Gesammtzuwachs für 16 Exemplare der Keimlinge betrug hier **22** *mm*; aber diese Grösse ist um so viel kleiner als die wirkliche, um wieviel diese von der Verkürzung der Keimlinge durch das Absterben bedingt war. Die Grösse der Verkürzung kann man nach den Daten der vorigen Versuche beurtheilen.

Um den Charakter und die Grösse der Zuwächse aller Objecte einer jeden Cultur bekannt zu machen, wollen wir die Messungsresultate des 34. Versuches mittheilen; aus diesem Versuche haben wir oben nur specielle Beobachtungen über einen Maisabschnitt und den Gesammtzuwachs angeführt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zea Mays, in Millimetern (Stengelchen):

Vor dem Versuche	Nach dem Versuche	Zuwachs in 45 Stunden
35,0	43,3	+ 8,2 *mm*
29,5	31,0	+ 1,5 „
29,5	34,5	+ 5,0 „
29,5	31,7	+ 2,2 „
29,5	34,0	+ 4,5 „
24,5	26,2	+ 1,7 „
24,5	24,5	0,0 „
24,5	27,2	+ 2,7 „

Helianthus annuus (dieselben):

Vor dem Versuche	Nach dem Versuche	Zuwachs in 45 Stunden
24,5	26,8	+ 2,3 *mm*
24,5	27,0	+ 2,5 „
24,5	26,3	+ 1,8 „
24,5	27,0	+ 2,5 „
24,5	28,0	+ 3,5 „
24,5	29,5	+ 5,0 „
24,5	25,6	+ 1,1 „

Der Versuch, die Keimlinge im kochenden Wasser zu tödten, zeigte, dass nur die mit fettem Druck bezeichneten Zuwächse die Grenzen der vom Turgor abhängenden Längenveränderungen überschritten. Um nicht eine ganze Reihe von Versuchen anzuführen, wollen wir nur darauf hinweisen, dass alle Versuche im Ganzen ein äusserst übereinstimmendes Resultat liefern, so dass wir keinen Versuch registriren können, in dem sich ein völliges Aufhören des Wachsthums beobachten liess.

Zahlen genügen nicht, um die beobachteten Wachsthumserscheinungen charakterisiren zu können. Mit den letzteren liessen sich nämlich in den meisten Fällen Bewegungserscheinungen, d. h. Krümmungen beobachten. So fangen die ganz geraden Maisabschnitte nach mehrstündigem Aufenthalte in den Kolben an sich zu krümmen (Fig. 3). Die Krümmungen sind bald bogenförmig, bald haben sie in der Mitte (resp. dem einen Ende näher) einen Winkel; bisweilen lässt sich eine spiralige Krümmung oder eine gewöhnlich schwach ausgeprägte Doppelbiegung beobachten. Aehnliche Krümmungen wurden sehr oft an Sonnenblumenstengeln bemerkt. Die Wurzeln der Erbse erheben sich bisweilen mit ihrem freien Ende von den Cotyledonen bis auf 45—90°. Am Ende der Wurzeln bildet sich eine zweite Krümmung, oder die ganze Wurzel erhebt sich von der Berührungsfläche der Cotyledonen zur Seite. Wie die Zuwächse, so erscheinen auch die Krümmungen erst nach Verlauf von 12—15 Stunden seit dem Zuschmelzen und verstärken sich erst am Ende des zweiten Tages oder, wie bei der Erbse, noch später. Die Natur der beobachteten Krüm-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mungen wurde bisher von uns nicht völlig aufgeklärt. Wir können jetzt nur darauf hinweisen, dass sie an jene Krümmungen sehr erinnern, welche man in der Luft nach einigen Stunden beobachtet, wenn die Keimlinge in Wasser gehalten werden.

Auf den beigefügten schematischen Abbildungen (Fig. 2—5) sind verschiedene Arten von Krümmungen vorgeführt, die sich in unseren Culturen beobachten liessen (*b*), wobei auch die Keimlinge vor dem Versuche angegeben sind (*a*). Die Wiedergabe des ganzen Apparates,

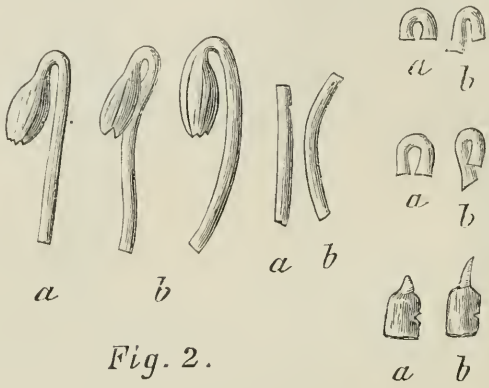

Fig. 2.

Helianthus annuus.

d. h. des Kolbens zum Trocknen, des Manometers, der Pumpen und anderes lassen wir an dieser Stelle fort[1]).

Um alles oben Gesagte zu illustriren, wollen wir noch einen Versuch mit der vollen Aufzählung aller in ihm ausgeführten Manipulationen, Messungen und Beobachtungen anführen.

Versuch XXXIX.

Es wurden 45 *ccm* bacterienhaltiger Rohrzuckerlösung (1 pCt.) in einen Kolben von 65 *ccm* Capacität gebracht. Die Untersuchungsobjecte waren 10 etiolirte Stengelabschnitte des Mais, die nach dem Abschneiden zwei Stunden in Wasser gehalten wurden. Es wurde

1) Unter den Abbildungen sind auch hufeisenförmige Abschnitte der Stengel von *Helianthus* angeführt. Die Abschnitte wurden durch einen glatten Schnitt erhalten. Diese Objecte verlangen zum Constatiren der Wachsthumserscheinungen keiner vorhergehenden Messung. Die hufeisenförmigen Abschnitte sehr junger Keimlinge der Sonnenblume wachsen nämlich sehr ungleichmässig, und zwar wächst das von den Cotyledonen entferntere energischer, und deshalb wird die Krümmung unsymmetrisch. Dieses Object ist für das Demonstriren des anaëroben Wachsthums in Vorlesungen und in dem physiologischen Praktikum wohl geeignet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die ganze Länge des Abschnittes gemessen; um das Verwechseln der Abschnitte zu verhindern, wurden sie entweder durch Einschnitte unmittelbar unter dem Internodium (unweit dem Schnitte) markirt, oder sie unterschieden sich nach ihrer Länge so sehr von einander, dass ihr Verwechseln unmöglich war. Alle Objecte waren völlig gerade. Ihre Messung geschah viermal: unmittelbar vor dem Versuche, nach 24 und 36 Stunden nach dem Zuschmelzen, wozu die Keimlinge auf die Wände des Halses versetzt werden, und endlich nach 44 Stunden,

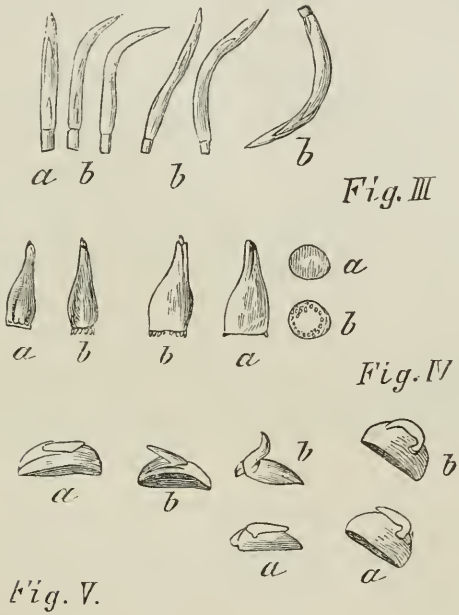

Fig. III. *Zea Mays.* — Fig. IV. *Allium Cepa.* — Fig. V. *Pisum sativum.*

sogleich nach dem Oeffnen des Kolbens. Der Process der Sauerstoffentfernung verlangte 42 Minuten Zeit, und zwar wurde

die Messung angefangen	12 Uhr	5	Minuten
„ „ beendet	12 „	12	„
das Zuschmelzen des breiten Halses .	12 „	14	„
das Kochen angefangen	12 „	16	„
„ „ beendet	12 „	46	„
das Zuschmelzen der Capillare . . .	12 „	47	„

Die Verdünnung der Atmosphäre in dem Kolben während des Kochens wurde mit einer automatischen Quecksilber-Luftpumpe (R. MÜNCKE) in Combination mit einer starken Luftpumpe ausgeführt.

Das Manometer zeigte völlige Verdünnung. Unmittelbar nach dem Kochen wurden keine Formveränderungen der Keimlinge bemerkt, was sich auch auf den Abend desselben Tages bezieht. Die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Krümmungen erschienen erst am zweiten Tage in sehr schwacher Form; nach 36 Stunden seit dem Beginne des Versuchs nahmen sie an zwei Objecten unbedeutend zu. Besonders bemerkbar wurden sie aber nach 44 Stunden, als die grösste Hälfte der Keimlinge sichtlich ihre Form veränderten. Einige von ihnen bildeten nämlich eine doppelte bogenförmige Krümmung, die anderen bogen etwas ihr Ende zurück, einige aber bildeten eine einfache bogenförmige Krümmung. Alle Keimlinge waren am Ende des Versuchs lebend und so elastisch, dass die Krümmungen in keinerlei Weise sich gerade biegen liessen[1]). Ausser der Länge der Keimlinge wurden auch vor und nach dem Versuche die inneren zusammengefalteten Blättchen gemessen, die deutlich durch ihre grelle gelbe Färbung hervortraten. Die Blättchen zeigten keine Merkmale des Ergrünens (wie in diesem, so auch in allen anderen Versuchen). Die Cultur wurde ausser der Zeit, in welcher die Messung ausgeführt wurde, im Dunkeln gehalten.

Versuchsdauer 8.—10. März, im Ganzen 44 Stunden.

Die Messungen ergaben Folgendes (die Stengelabschnitte in Millimetern):

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
Länge der inneren Blättchen vor dem Versuche	32,3	29,3	22,7	23,6	18,6	21,0	20,0	24,5	24,5	24,5
Länge nach dem Versuche	33,2	30,2	22,8	24,0	19,2	21,3	20,0	25,0	25,0	25,0
Zuwachs in 44 Stunden	0,9	0,7	0,1	0,4	0,6	0,3	0,0	0,5	0,5	0,5
Länge der Pflanzen vor dem Versuche	50,2	39,5	35,2	37,9	29,5	24,5	24,5	24,5	16,5	16,5
Länge der Pflanzen nach dem Versuche	57,2	41,8	39,6	38,3	32,2	27,5	26,0	30,3	19,0	20,0
Zuwachs in 44 Stunden	**7,0**	**2,3**	**4,4**	**0,4**	**2,7**	**3,0**	**1,5**	**5,8**	**2,5**	**3,5**

Die Grösse der Zuwächse in verschiedenen Perioden der Cultur in Millimetern.

Pflanzen	in 24 Stunden	in 36 Stunden	in 44 Stunden	
1.	+ 1,1	+ 2,0	+ 7,0	Schwache Krümmung
2.	+ 0,5	+ 1,0	+ 2,3	„
3.	+ 0,0	+ 0,0	+ 4,4	Starke Krümmung
4.	+ 0,4	+ 0,6	+ 0,4	„
5.	+ 0,0	+ 0,0	+ 2,7	„
6.	+ 1,1	+ 2,0	+ 3,0	Krümmung
7.	—	+ 0,5	+ 1,5	„
8.	—	+ 3,5	+ 5,8	„
9.	+ 0,5	+ 0,7	+ 2,5	„
10.	+ 0,8	+ 1,0	+ 2,5	„
Gesammtzuwachs	**5,7**	**12,6**	**33,1** *mm*	

Gesammtzuwachs der 10 Keimlinge = **36,6** *mm*.

1) Am folgenden Tage konnten alle Pflanzen im sauerstoffhaltigen Wasser ihr Wachsthum und ihre Krümmungen fortsetzen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es sei noch aus unserem Protokoll erwähnt, dass ausser den Erscheinungen des Wachsthums und der Krümmungen die anaëroben Culturen der höheren Pflanzen, wie sterile so auch nicht sterile, die Möglichkeit gaben die Kohlensäureausscheidung in äusserst eigenthümlicher Form zu beobachten. Das Vacuum über der Zuckerlösung mit den Keimlingen hatte zur Folge, dass die Gasbläschen sich sehr schwer in dem Substrat auflösten, und deshalb konnte man einen ununterbrochenen Strom von den Pflanzen zur Oberfläche der Lösung beobachten. Dieser Strom war bisweilen so stark, dass das Substrat schäumte und die Pflanzen bald untertauchten, bald aufschwammen; eine ähnliche, an die Hefegährung der Zuckerlösung erinnernde Erscheinung kann man künstlich durch Temperaturerhöhung der Kolben hervorrufen. Die CO_2-Ausscheidung verstärkt sich hierbei sehr bedeutend, was auch das Schäumen der Lösung und das Aufschwimmen der Pflanzen zur Folge hat.

Alle diese äusserst interessanten Erscheinungen veranlassen uns zu glauben, dass man die eingeschlagene Methode nicht ohne Nutzen zu Demonstrationen für Studirende anwenden könnte. Das ganze Experiment ist so einfach, dass es für gut eingerichtete Laboratorien keine Schwierigkeiten bietet. Somit führt unser erster unvollkommener und noch unbeendeter Versuch die Frage „Ueber die Rolle des Sauerstoffs im Leben der höheren Pflanzen“ von Neuem zu erforschen, zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Wachsthumsprocesse hören bei den meisten Pflanzen im sauerstofffreien Raume nicht auf.
2. Hierbei lassen sich auch Krümmungen beobachten, und die Pflanzen bleiben befähigt, wohl auf äussere Reize zu reagiren.
3. Das anaërobe Wachsthum der höheren Pflanzen wird nur allmählich wahrgenommen und nimmt nur allmählich zu, was aber nur nach einem mehr oder weniger andauernden Aufenthalte der Objecte im sauerstofffreien Raume geschieht; deshalb lassen sich die grössten Zuwächse und Krümmungen erst am zweiten Tage der Cultur und sogar am Ende des zweiten Tages, d. h. kurz vor dem Untergange der Objecte beobachten.
4. Die Grösse der Zuwächse hängt scheinbar von dem Alter der ausgemessenen Zonen ab. (Die grosse Periode des aëroben Wachsthums.)
5. Chlorophyllbildung lässt sich im sauerstofffreien Raume nicht beobachten, wenn auch die Pflanzen dem Lichte ausgesetzt werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

6. Die Möglichkeit des anaëroben Keimens einiger Samen erscheint als sehr wahrscheinlich, aber sie ist endgiltig nicht bewiesen, da die angequollenen Samen während des Versuches einige Zeit der Wirkung des Sauerstoffs ausgesetzt wurden. Andererseits kann man behaupten, dass
7. die anaërobe Entwickelung des Schimmels aus Sporen sich nicht beobachten lässt, obgleich die Mycelien sich energisch und rasch in grosser Anzahl nach dem Oeffnen der zugeschmolzenen Kolben entwickeln.
8. Die Hinweisungen von Godlewsky und Polzenius[1]) auf die verstärkte Bildung von Kohlensäure in der mittleren Periode der anaëroben Cultur und auf die Bildung von Alkohol verdienen anscheinend Vertrauen.
9. Eine mehr oder minder ausführliche Bearbeitung der erörterten Fragen ist äusserst wünschenswerth und verspricht uns eine ganze Reihe unverständlicher Facta und Widersprüche in der Litteratur der Anaërobiose zu erklären, wie z. B. in der Litteratur der intramolecularen Athmung, des Zerfalls und der Synthese der Eiweisskörper und auch der Bewegung des Plasmas, der Theilung der Zellkerne und ähnlicher Fragen.
10. Die experimentelle Lösung verschiedener mit den aufgezählten Fragen verbundenen Probleme darf nicht, wie dies bisher geschah, das Wachsthum der höheren Pflanzen ausser Acht lassen; dieser neue Factor muss sich unter den Bedingungen der anaëroben Cultur in allen Lebenserscheinungen des Plasmas äussern.

Die aufgezählten Probleme sind für eine richtige Vorstellung der Lebenserscheinungen so wichtig, dass ihre baldige Bearbeitung äusserst wünschenswerth erscheint. Das Ziel unserer vorläufigen Mittheilungen wäre erreicht, wenn nach einer Wiederholung der angeführten Versuche die vielseitigen Erforschungen der Anaërobiose der höheren Pflanzen sich vervielfältigen würden.

Es bleibt uns noch übrig, einige kurze kritische Bemerkungen zu machen. Oben wurden schon die Dinge angeführt, welche negative Resultate in den Versuchen der vorangehenden Autoren bedingten. Wir müssen noch bemerken, dass eine nicht unbedeutende Rolle die Vorurtheile über die Wichtigkeit des Sauerstoffs spielten. Nach der Arbeit von Wieler, welche schon im Anfang der achtziger Jahre erschien, wurde die Frage keiner ernstlichen Erforschung unterworfen. Wortmann[2]) wandte sich nach Versuchen in über

1) Anzeiger der Akad. der Wiss. in Krakau, Juli 1897, Nr. 7, S. 267—271.
2) Bot. Zeit. 1884, S. 708—711.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dem Quecksilber sich befindlichem Vacuum zur Methode von WIELER und benutzte sogar *Helianthus annuus* als Reagens auf Sauerstoffspuren. Professor PALLADIN[1]), welcher die Hälfte seiner Untersuchung der Frage über das anaërobe Wachsthum widmete, unternahm anscheinend keine Messungen der Abschnitte; sie verwelkten unzweifelhaft in seinen Versuchen, aber der Autor erklärt dies nicht durch Ausbleiben des Wassers, sondern durch Unfähigkeit der Pflanzen im sauerstofffreien Raume Stoffe zu bilden, die den Turgor erzeugen[2]). Indessen begnügt sich der Autor mit einmaligem Befeuchten des zur Aufnahme der Pflanzen dienenden Netzchens, worauf er durch den Apparat einen dauernden Wasserstoffstrom durchleitet. Aehnliche Fehler liess auch CORRENS[3]) zu, der mit dem Apparate WIELER's jene minimalen Mengen Sauerstoff erforschte, die zur Verwirklichung der Reizbewegung absolut nöthig sind. Er verlässt sich ganz auf die Methode und Schlussfolgerungen seines Vorgängers und berechnet selber eine dieser minimalen Mengen für *Drosera*, nämlich als 0,000,000,000,000,000,000,000,250.

DETMER[4]) empfiehlt in seinem physiologischen Practicum, um „in ganz exacter Weise den Nachweis zu führen", dass ohne Sauerstoffgegenwart höhere Pflanzen nicht wachsen, ein Reagensglas mit einem Kautschukpfropfen und mit zwei Röhrchen zum Wasserstoffdurchlassen zu nehmen. Die Wände des Reagensglases werden von ihm nur mit einigen Tropfen Wasser benetzt, die Pflanze aber in der Mitte des Pfropfens angehängt; der Sauerstoff wird durch ein- bis zweistündiges Wasserstoffdurchleiten entfernt. Kann ein solcher „Trockenapparat" etwas beweisen?

Als MASÉ[5]) im vergangenem Jahre das Keimen der Samen im Wasser untersuchte und die Schlussfolgerung über die Nothwendigkeit des Sauerstoffes machte, fand er es sogar nicht nöthig, einen speciellen Versuch unter den Bedingungen der Anaërobiose auszuführen. Ueberhaupt berufen sich fast alle Autoren auf WIELER (SCHAIBLE, RITTER, CLARK, PEEFFER etc.). Also können wir sagen, dass die Arbeit WIELER's einen grossen Einfluss auf das Schicksal der ganzen Frage hatte.

In der gegenwärtigen Zeit ist es uns ganz unverständlich, wie die erwähnte, prämiirte Untersuchung als genügend und beweisend angesehen werden konnte. Die Methode, wie auch die Schlussfolgerungen des Verfassers sind unwahrscheinlich, das factische Material aber so unbestimmt und widersprechend, dass es uns

1) Ibid. p. 21—23 etc.
2) Ibid. p. 87, 93.
3) Ibid. p. 87 etc.
4) Pflanzenphysiol. Practicum, 2. Aufl., § 160.
5) Ann. de l'Inst. PASTEUR, 1900, Juni.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schwerer fällt dem Autor beizustimmen, als ihn zu kritisiren. So erfahren wir auf Seite 200, dass der Autor Stengelabschnitte der Sonnenblume, der Bohne und des Kürbis in eine dampfgesättigte Röhre (?) stellte, aus der nachher Luft ausgesaugt und gleichzeitig lange Zeit Wasserstoff durchgeleitet wurde; die Pflanzen verweilten da eine lange Zeit, wurden mit Hilfe eines Mikroskops gemessen, und da sie viele Stunden ohne einen Tropfen Wasser blieben, wuchsen sie natürlich nicht, sondern verwelkten; der Autor hält es sogar für überflüssig, seine Messungen auszuführen und bemerkt nur, dass wenn man ein Wenig Wasser giebt, so ruft der in ihm aufgelöste Sauerstoff sofort Wachsthum hervor. Dies ist die einzige Versuchsreihe, die zu dem Schlusse führte: „Das Wachsthum hört sofort nach der Entfernung des Sauerstoffs auf.“ Alle anderen Versuche wurden vom Autor beim Vorhandensein des Sauerstoffs und mit dem Ziele ausgeführt die minimalen für das Wachsthum nöthigen Sauerstoffmengen zu bestimmen. Der Apparat Wieler's hatte vier Hähne, acht Kautschukschläuche, zwei Gummistopfen; die Luft wurde von ihm nur mit einer Wasserluftpumpe ausgesaugt und nachher Wasserstoff durchgelassen; die Pflanzen wurden in einen Thoncylinder mit Sägespänen gestellt u. s. w., und dennoch bestimmt der Autor nach genauen Formeln mit zahlreichen Correcturen, dass in seinem Apparate 0,000,000,000,301 (S. 227) oder 0,000,000,000,298 *ccm* Sauerstoff übrig geblieben waren, die das Wachsthum noch unterhalten könnten. Bei der Kritik einer ähnlichen Methode oder ähnlicher Schlussfolgerungen, wenn eine solche nöthig wäre, kann man endlich daran erinnern, dass alle veröffentlichten Zuwachsgrössen einander widersprechen (siehe Tabelle I, II, III und andere); es stellte sich heraus, dass die Zuwächse beim Vorhandensein der minimalen Mengen, wie die oben erwähnten, grösser waren, als bei recht beträchtlichen Mengen, wie dies z. B. die Zuwächse von *Helianthus* oder von *Brassica Napus* zeigten, welche letztere im Apparate Wieler's bei 7,37 *ccm* Sauerstoff überhaupt nicht oder schlechter wuchsen als *Vicia Faba* bei 0,000,000,000,248 *ccm*. Unter diesen Athmungsbedingungen wuchs *Vicia Faba* sogar nach einem 50—70stündigem Aufenthalte im Apparate. Dies ist auch verständlich, denn die Vollkommenheit aller Abschlüsse konnte nur mit einem Manometer bestimmt werden.

Wie es uns scheint, genügt das Mitgetheilte, um zu einer verneinenden Ansicht auf die Zweckmässigkeit und Richtigkeit dieser Untersuchung zu gelangen.

Wir fühlen uns hier verpflichtet, Professor D. O. Iwanowski unseren grössten Dank auszusprechen, einen Dank, nicht nur für seine werthvollen Rathschläge und Hinweisungen, sondern auch für sein ermuthigendes Zutrauen und sein Interesse für die ihm fortwährend mitgetheilten Resultate

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1901

Band/Volume: 19

Autor(en)/Author(s): Nabokich Alexander

Artikel/Article: Wie die Fähigkeit der höheren Pflanzen zum anaeroben Wachsthum zu beweisen und zu demonstriren ist. 222-236