Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäureassimilation bei submersen Pflanzen.

Von
Octave Treboux.

Einleitung.

Gleich allen anderen Functionen der Pflanze ist auch die Assimilationsthätigkeit von mannigfachen äusseren Bedingungen abhängig und in ihrem Ausmaaase mit diesen in weiten Grenzen veränderlich. Schon in Anbetracht der grossen Bedeutung, die dieser physiologische Process für das gesammte Pflanzenleben hat, ist es von Interesse, diese Beziehungen eingehender kennen zu lernen. Wie dann aber bei so manchen anderen Lebensvorgängen das Studium der Beeinflussung durch äussere Verhältnisse dazu geführt hat, diese selbst ihrem eigentlichen Wesen nach zu verstehen, so dürfte ein solches Studium auch für den Assimilationsprocess der Kohlensäure einer der uns gebotenen Wege sein, dem Verständnisse desselben näher zu kommen.

Sehr zahlreich sind demgemäss die in dieser Richtung vielfach schon von älteren Forschern ausgeführten Untersuchungen. Das gilt aber nur für die Beziehungen der Assimilation zu den physikalischen Aussenbedingungen; spärlich dagegen sind die Angaben über ihr Verhalten gegenüber stofflichen Einflüssen.

Einen Beitrag in letzterer Hinsicht mögen die Versuche liefern, die im Folgenden ihre Erörterung finden. Dabei soll die bezugnehmende Litteratur bei den einzelnen Fragen berücksichtigt werden. Zuerst muss jedoch einiges über die gebrauchte Methode vorausgeschickt werden.

Methodisches.

Als Versuchsobject wurden nur Wasserpflanzen verwandt und zwar ausschliesslich Sprosse von Elodea canadensis, wobei die Intensität der Assimilation nach der bekannten Methode des Gasblasenzählens bemessen wurde. Dies Verfahren ist aus verschiedenen Gründen das für unsere Zwecke geeignetste.

Die Verwendung von Wasserpflanzen mit ihren dünnen Blättern (bei Elodea bekanntlich nur zwei Zelllagen bildend) und leicht durchlässigen Zellwänden ermöglicht es, dass der Stoff, dessen Einwirkung

auf die Assimilation beobachtet werden soll, schnell und gleichzeitig auf fast alle Zellen der Pflanze einwirkt; die beobachtete Assimilationsintensität ist in diesem Falle der richtige Ausdruck der Wirkung des Stoffes und nicht das Resultat der Assimilation von intacten und etwa schon geschädigten Zellen. Von Bedeutung ist es auch, dass hier eine indirecte Beeinflussung der Assimilation durch den Verschluss von Spaltöffnungen, welcher bekanntlich durch die verschiedensten Agentien hervorgerufen werden kann, wegen Mangels derselben ganz wegfällt.

Die Methode des Gasblasenzählens gewährt ausser ihrer Einfachheit den Vortheil, dass sie für jede Minute die Assimilationsintensität zu bestimmen und dadurch den Verlauf der Einwirkung genau zu verfolgen erlaubt, während bei Anwendung gasometrischer Bestimmungsmethoden, die für jede Beobachtung einen längeren Zeitraum erfordern, vorübergehende Erscheinungen entgehen müssen. Zwar muss man bei Anwendung der Gasblasenmethode von einer Bestimmung der absoluten Mengen des entwickelten Sauerstoffs absehen, weil man die Sauerstoffmengen nicht kennt, die ins Wasser diffundiren; man erhält aber brauchbare relative Werthe für die Wirkung verschiedener Concentrationen oder verschiedener Agentien, wenn man die beobachteten Zahlen erst nach Abzug der ohnedies entweichenden Blasen mit einander vergleicht. Dies thun z. B. Versuche dar, in denen die mit anderen Untersuchungsmethoden gefundene Proportionalität zwischen Licht- und Assimilationsintensität auf diese Weise ebenfalls constatirt wurde, nicht minder aber auch Versuche über den Einfluss der Kohlensäuremenge und der Säuren überhaupt.

Als eine für die Versuche genügend starke und constante Lichtquelle bewährten sich ein oder zwei Auerbrenner im Dunkelzimmer; war ein Flackern des Lichtes durch Reguliren des in die Lampe eintretenden Luftstromes vermieden, so war die Beleuchtung eine dermassen gleichmässige, dass bei auch sonst gleichbleibenden Bedingungen ein Schwanken der Gasblasenzahl unterblieb.

Vor Erwärmung des Wassers, in dem sich die Versuchspflanze befand, durch die Gasflamme schützte eine grössere, zwischen diese und Object eingeschobene parallelwandige Glascuvette, in der die Temperatur des Wassers durch ununterbrochenes Zu- und Abfliessen von Leitungswasser so weit als nöthig abgekühlt wurde. Da ausserdem das für die Versuche zur Verwendung kommende Wasser im Dunkelzimmer aufbewahrt wurde, es also die Temperatur des Raumes hatte,

so waren auch die etwaigen Temperaturschwankungen zu gering, um einen Einfluss auf die Gasblasenzahl auszuüben.

Die Versuchspflanzen kamen in einer Entfernung von 15—30 cm vom Brenner zu stehen; dieselben, Elodeasprosse von 10—15 cm Länge, waren in einem cylindrischen Gefässe mit circa 150—200 ccm Wasser untergetaucht. Zwecks unverrückbarer Lage der Pflanzen zur Lichtquelle wurden sie, wie üblich, mit weissen Fädchen an dünne Glasstäbe gebunden, welche letztere durch den Korkstöpsel festgehalten wurden. In diesem steckte noch das Thermometer. Verschiedene Vorsichtsmassregeln sind bei der Auswahl der Objecte zu beobachten, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Bemerkt sei nur, dass, um eine Aenderung der Blasengrösse während des Experimentirens zu vermeiden, es rathsam ist, nur solche Sprosse zu verwenden, bei denen der Schnitt Tags vorher gemacht worden, die Schnittfläche infolge dessen von abgestorbenen Zellen begrenzt ist. Bei solchen wird selbst durch plasmolysirende Lösungen die Grösse der austretenden Blasen nicht verändert. Empfehlenswerth ist es auch, die Sprosse vorerst auf die Veränderlichkeit der Blasengrösse dadurch zu prüfen, dass man die Blasen in stark beschleunigtem Tempo austreten lässt, indem man die Pflanzen für einige Augenblicke in directes Sonnenlicht bringt oder die Beleuchtung durch einige Glühlampen verstärkt. Durch Beschatten des Objectes wurde in allen Versuchen controlirt, ob ein Austritt von Blasen nicht durch etwaige von der Kohlensäurezersetzung unabhängige Gasströme verursacht sein konnte. Ich fand eine Blasenausscheidung im Dunkeln nur dann, wenn kaltes Wasser, das durch Stehenlassen in der Sonne (sowohl wenn mit Pflanzen beschickt, als auch ohne solche) oder durch Erhitzen erwärmt worden war, benutzt wurde, das Wasser also mit Gasen übersättigt war.[1])

Die Versuchsanstellung war folgende: Sollte das Verhalten der Pflanze der Einwirkung eines Stoffes gegenüber im Laufe einer bestimmten Zeit untersucht werden, so wurde sie zuerst für den gleichen Zeitraum auf die Constanz der in einer Minute ausgeschiedenen Gasblasenzahl geprüft, darauf das Wasser durch die Lösung des Stoffes ersetzt. Dies geschah durch Abfliessenlassen des Wassers und darauf folgendes Zufliessenlassen der Lösung bis zur früheren Standhöhe der Flüssigkeit durch ein Ansatzrohr am Boden des Cylinders — eine Manipulation, die nicht mehr als 20 Secunden beanspruchte. Vor Zugabe der Lösung jedoch wurde in allen Versuchen controlirt, ob

1) Vergl. Devaux, Ann. d. scienc. nat. sér. VII, Bd. 9, 1889, pag. 113, 114.

nicht eine Veränderung der Gasblasenzahl schon durch den Wasserwechsel allein enstehe. Nach stattgefundener Beobachtung wurde dann umgekehrt ein Austausch der Lösung gegen reines Wasser vorgenommen, wodurch constatirt werden sollte, ob es sich um eine vorübergehende oder andauernde Aenderung der Assimilationsthätigkeit handelte. Nach jedem Wechsel der Flüssigkeit wurde meist einige Minuten gewartet, bevor mit der Zählung der Blasen begonnen wurde; nach fünf Minuten stellte sich beim blossen Wasserwechsel schon stets die frühere Blasenzahl constant bleibend ein, wenn das Object überhaupt brauchbar war.

Da sich das Leitungswasser des Institutes als für Elodea giftig erwies (s. unten), so wurde fast ausschliesslich doppelt destillirtes Wasser benutzt, das in einem unter Vermeidung jeglicher Kupfertheile construirten Destillirapparate zubereitet worden war. Dieses Wasser hatte weder auf Elodea noch auf sehr empfindliche Spirogyraarten den geringsten schädlichen Einfluss. Uebrigens war auch aus anderen Gründen meist nur destillirtes Wasser zulässig; so in den Fällen, in denen derartig geringe Säuremengen dem Wasser zugegeben wurden, dass die in Naturwässern vorkommenden Carbonate genügt hätten, alle Angaben über den Säuregehalt der Lösungen illusorisch zu machen. Durch längeres Stehenlassen des destillirten Wassers in flachen Schalen konnte dasselbe sich mit Luft sättigen; um jedoch bei der benutzten schwachen Lichtquelle eine etwas grössere Gasblasenzahl zu erhalten, wurde dem Wasser in den meisten Fällen 0,1—0,3 % (vol.) Kohlensäure zugegeben (durch entsprechenden Zusatz von mit Kohlensäure gesättigtem Wasser). Blieb infolge dessen, durch Entweichen der Kohlensäure des Wassers in die Luft, die Gasblasenzahl nur eine viel kürzere Zeit constant, so war letztere für die meisten Versuche doch genügend; handelte es sich darum, die Pflanze längere Zeit in ein und demselben Medium zu beobachten, so wurde die Lösung nach einer gewissen Zeit durch eine neue ersetzt. Die zur Verwendung kommenden Lösungen wurden kurz vor Gebrauch durch Zufügen einiger Cubikcentimeter concentrirterer Lösungen zum Wasser bereitet [1]), bei Herstellung derselben wurde möglichst grosse Genauigkeit angestrebt.

Lassen sich auch noch andere die Assimilationsthätigkeit beeinflussende Momente als Fehlerquellen geltend machen, so ergibt sich

---

1) Die Concentrationen geben die in 100 ccm Wasser enthaltene, in Grammen ausgedrückte Menge des gelösten Stoffes an.

doch aus der Constanz der Blasenzahl, dass sie zusammengenommen nicht im Stande sind, die Versuchsergebnisse zu beeinflussen.

Osmotische Wirkung der Stoffe.

Bevor an die Untersuchung über den chemischen Einfluss verschiedener Stoffe geschritten werden konnte, musste zuerst die Frage beantwortet werden, ob und inwieweit bei Elodea schon allein durch die osmotische Wirkung der Stoffe eine Beeinflussung der Assimilation stattfindet.

Eine directe Beeinträchtigung der Assimilationsthätigkeit durch Senkung des Turgors ist mit Sicherheit bis jetzt nur bei Moosen und Flechten [1]) constatirt worden, denen die schliessbaren Spaltöffnungen abgehen, denn in den mit anderen Pflanzen angestellten Versuchen [2]) bleibt es unentschieden, ob die Herabsetzung der Assimilation nicht ausschliesslich durch den bei Abnahme der Turgescenz eintretenden Schluss der Spaltöffnungen hervorgerufen wurde, d. h. nur durch die stark verminderte Zufuhr der Kohlensäure. Noch weniger ist aus Versuchen zu ersehen, in denen die Assimilation ausserdem nicht direct bestimmt wurde, sondern aus der Menge resp. dem Fehlen der Stärke in den Chloroplasten auf die Intensität der Assimilation geschlossen wurde. [3])

Dafür wird nach Versuchen von Jacobi [4]) bei Elodea durch eine Lösung von 0,5 % KNO_3 und ihr isotonische von KCl und NaCl die Zahl der ausgeschiedenen Gasblasen herabgesetzt. Jacobi hält als Ursache für die Verminderung der assimilatorischen Thätigkeit eine osmotische Wirkung der geprüften Salze für nicht ausgeschlossen, wofür der Umstand spricht, dass nach Ersatz der Salzlösung durch Wasser die Blasenzahl auf die frühere Höhe zurückkehrt — andererseits aber auch eine durch chemische Einwirkung auf das Protoplasma bedingte Herabsetzung für möglich.

Die Angaben Jacobi's über den Einfluss der erwähnten Salze kann ich bestätigen (s. Vers. I). Eine Stütze für die Auffassung einer rein osmotischen Wirkung der Salze liess sich dadurch erbringen, dass die Versuche mit gleichem Erfolge auf eine grössere Anzahl von

---

1) Jumelle, Revue gén. de Bot. 1892, Bd. 4 pag. 167.

2) Kreusler, Landwirtsch. Jahrb. 1885, Bd. 14 pag. 951.

3) Vgl. hierzu Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. I, 1897, 2. Aufl. pag. 305, 306 und 322 und die dort citirte Litteratur.

4) Jacobi, Ueber den Einfluss verschiedener Substanzen auf die Athmung und Assimilation submerser Pflanzen. Flora 1899, Bd. 86 pag. 326.

Salzen (s. Vers. II) und auf andere neutrale Stoffe, wie Zucker und Glycerin (s. Vers. III und IV) ausgedehnt wurden, vor allem aber dadurch, dass die verschiedenen Stoffe in isotonischen Lösungen ein

Versuch I.[1]) KCl 0,37 % (isot. 0,5 % KNO_3) und KCl 0,74 % (isot. 1 % KNO_3); Bassinwasser, Temp. 18,6—19,2 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
12 h 24′	52	1 h 10′	49
12 h 29′	51	1 h 20′	48
12 h 30′	Wasser-	1 h 24′	48
	wechsel	1 h 25′	KCl 0,74 %
12 h 33′	52	1 h 35′	38
12 h 35′	52	1 h 40′	38
12 h 40′	52	1 h 45′	38
12 h 50′	51	1 h 47′	Wasser
12 h 55′	52	1 h 52′	53
1 h	51	1 h 57′	52
1 h 1′	KCl 0,37 %		

Versuch II. $NaNO_3$ 0,42 % (isot. 0,5 % KNO_3); Bassinwasser, Temp. 19,2—19,6 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 47′	35	4 h 53′	31
3 h 52′	36	5 h 3′	31
4 h 7′	36	5 h 40′	30
4 h 10′	Wasser-	5 h 44′	Neue
	wechsel		Lösung
4 h 20′	36	5 h 49′	30
4 h 30′	36	5 h 54′	30
4 h 35′	36	5 h 58′	Wasser
4 h 37′	$NaNO_3$	6 h 4′	35
4 h 38′	32	6 h 9′	35
4 h 43′	31		

Versuch III. Rohrzucker 2,5 % (isot. 0,5 % KNO_3); Bassinwasser, Temp. 22,0 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 26′	43	4 h 5′	Zucker
3 h 31′	43	4 h 10′	36
3 h 36′	43	4 h 15′	36
3 h 41′	43	4 h 20′	36
3 h 43′	Wasser-	4 h 22′	Wasser
	wechsel	4 h 27′	45
3 h 48′	44	4 h 32′	44
3 h 53′	43	4 h 37′	44
3 h 58′	44	4 h 42′	43
4 h 3′	44		

Versuch IV. Glycerin 0,69 % (isot. 0,5 % KNO_3); Bassinwasser, Temp. 20,3—20,8 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
5 h 32′	59	6 h 26′	47
5 h 37′	59	6 h 30′	48
5 h 41′	Wasser-	6 h 35′	48
	wechsel	6 h 40′	48
5 h 46′	58	6 h 41′	Wasser
5 h 51′	59	6 h 48′	56
6 h 1′	59	6 h 51′	57
6 h 16′	58	6 h 58′	57
6 h 25′	Glycerin		

und denselben Effect hatten (s. Vers. V). Dann konnte gezeigt werden, dass eine merkliche Wirkung der Salzlösung bei der eingehaltenen Blasenzahl erst bei ca. 0,1 % KNO_3 beginnt; auch eine

1) Das Nähere über die Versuchsanstellung ist in dem Abschnitt „Methodisches“ nachzulesen. Den Salzlösungen ist in Klammern der isotonische Werth für KNO_3 angegeben. Zu Anfang aller Versuche befinden sich die Pflanzen in reinem Wasser.

Zugabe von 0,1 % Nährsalze (bei Ausschluss saurer Salze) zu destillirtem Wasser übte gar keinen Einfluss auf die Assimilation aus. Handelte es sich um eine chemische Wirkung der Salze, so hätte eine solche sich auch noch bei einer 0,1 proc. Lösung derselben geltend machen müssen. [1])

Da nun im Laufe der Untersuchung nur Lösungen angewandt wurden, deren osmotischer Werth unvergleichlich schwächer als der einer 0,1 proc. Kalisalpeterlösung war, so brauchte der physikalische Einfluss der Lösung überhaupt nicht berücksichtigt zu werden.

Versuch V. KNO_3 0,5 % und 0,42 % $NaNO_3$; Bassinwasser, Temp. 20,3 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
2 h 53′	47	3 h 30′	38
2 h 55′	Wasser-	3 h 33′	$NaNO_3$
	wechsel	3 h 35′	38
3 h	47	3 h 40′	38
3 h 10′	47	3 h 45′	38
3 h 15′	46	3 h 50′	Wasser
3 h 20′	KNO_3	3 h 55′	46
3 h 25′	38		

Versuch VI. KNO_3 3,5 %; Bassinwasser, Temp. 19,9—20,3 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 5′	57	4 h 25′	35
3 h 10′	57	4 h 30′	35
3 h 13′	Wasser-	4 h 40′	35
	wechsel	4 h 50′	35
3 h 18′	58	5 h	35
3 h 23′	58	5 h 10′	35
3 h 33′	57	5 h 15′	KNO_3 2 %
3 h 48′	57	5 h 20′	9
3 h 58′	57	5 h 25′	8
4 h 8′	57	5 h 30′	Wasser
4 h 10′	KNO_3 3,5 %	5 h 35′	3
4 h 15′	40	5 h 40′	0
4 h 20′	37		

Die Herabsetzung der Blasenzahl nimmt, wie zu erwarten war, mit der Concentration der Lösung zu. Die Assimilation wird jedoch auch nach Eintritt der Plasmolyse fortgesetzt und zwar während Stunden mit fast gleichbleibender Energie, wenn die Lösung nur ganz schwach plasmolysirend wirkte; bei starker Plasmolyse dagegen hörte die Blasenausscheidung schon nach kurzer Zeit auf.

In fast allen Versuchen, in denen die Concentration die für den Eintritt der Plasmolyse erforderliche Grösse (bei dem benutzten Material 2,5 % KNO_3) noch nicht erreichte, war die Herabsetzung der Assimi-

1) Damit soll natürlich nicht gesagt sein, dass den Nährsalzen bei der Assimilation überhaupt keine Rolle zukommt. Die in diesem Falle entgegengesetzte begünstigende Wirkung des unentbehrlichen Stoffes würde aber erst eintreten, wenn die Pflanze Mangel daran leidet, was bei Wasserpflanzen, die reichlich Salze speichern, erst nach längerer Cultur in salzfreiem Wasser stattfinden würde.

lation durch Austausch der Lösung gegen Wasser wieder rückgängig zu machen. Wurde dieselbe überschritten und war nachweislich Plasmolyse eingetreten, so war dies nicht mehr möglich (s. Vers. VI). Die Blasenausscheidung hörte vielmehr häufig vollständig auf, selbst dann, wenn der Uebergang zum Wasser hin kein allzu plötzlicher war, sondern durch eine Reihe absteigender Concentrationen vermittelt wurde. In Wasser versetzt gingen die Sprosse in den folgenden Tagen häufig zu Grunde. Dies alles steht in Einklang mit den von verschiedenen Autoren [1]) gemachten Erfahrungen über die Empfindlichkeit contrahirter Protoplasmakörper.

Gifte.

In diesem Abschnitte möge die Beeinflussung der Assimilation durch eine Anzahl sehr verschiedenartiger Stoffe besprochen werden, deren zusammenhängende Betrachtung nur durch eine allen gemeinsame physiologische Eigenschaft gerechtfertigt wird.

Versuch VII. $CuSO_4$ N/1000000 = 0,0000159 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 21,3—21,5°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
1 h 8′	20	1 h 58′	20
1 h 13′	20	2 h 8′	20
1 h 18′	20	2 h 13′	$CuSO_4$
1 h 23′	20	2 h 18′	15
1 h 28′	20	2 h 23′	16
1 h 38′	20	2 h 28′	16
1 h 43′	19	2 h 32′	Wasser
1 h 48′	Wasser-	2 h 37′	18
	wechsel	2 h 47′	18
1 h 53′	20		

Versuch VIII. $CuSO_4$ N/10000000 = 0,00000159 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 15,9°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
5 h 27′	58	6 h 15′	57
5 h 32′	58	6 h 25′	57
5 h 37′	57	6 h 27′	$CuSO_4$
5 h 47′	57	6 h 28′	57
5 h 52′	Wasser-	6 h 32′	57
	wechsel	6 h 42′	57
5 h 57′	58	6 h 47′	57
6 h 2′	58	6 h 49′	Wasser
6 h 7′	58	6 h 54′	58
6 h 10′	Wasser-		
	wechsel		

Als Gifte kommt ihnen nämlich die Eigenthümlichkeit zu, selbst in geringen Mengen eine nachtheilige Wirkung auf die Zelle auszuüben, in ganz minimalen Dosen aber das Wachsthum im Gegentheil zu fördern (wie dies wenigstens für viele von ihnen nachgewiesen worden ist). War es auch schon seit längerer Zeit [2]) bekannt, dass

1) Reinhardt in Festschrift für Schwendener 1899, pag. 425. — Rysselberghe, Memoires de l'Acad. r. de Belgique, 1899.

2) Raulin, Annales d. sc. nat. 1869, sér. V Bd. 11 pag. 252.

einige giftige Metallsalze in kleiner Dosis der Nährlösung zugegeben das Erntegewicht von Schimmelpilzen erheblich steigern, so wurde doch erst von Pfeffer[1]) diese Wirkung als eine den Giften ganz allgemein zukommende gedeutet. Darnach handelt es sich hier nicht etwa um die Zufuhr eines unentbehrlichen Nährstoffes, sondern um „eine der mannigfachen Reactionen, die darauf abzielen, durch intensivere Thätigkeit einem benachtheiligten Einfluss thunlichst entgegen-

Versuch IX. $ZnSO_4$ N/1000000 = 0,000016 %; aq. dest. + 0,2% CO_2, Temp. 18,6—19,3°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 33′	44	4 h 31′	45
3 h 38′	44	4 h 36′	44
3 h 43′	44	4 h 41′	45
3 h 46′	Wasser-	4 h 46′	44
	wechsel	4 h 51′	44
3 h 51′	45	4 h 56′	43
3 h 56′	44	4 h 57′	Wasser
4 h 1′	45	4 h 58′	44
4 h 6′	44	5 h 3′	45
4 h 16′	44	5 h 8′	45
4 h 21′	$ZnSO_4$	5 h 13′	45
4 h 26′	44		

Versuch X. $ZnSO_4$ 0,00008 % und 0,0008 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,8—20,6°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 5′	26	4 h 14′	27
3 h 15′	26	4 h 19′	26
3 h 17′	Wasser-	4 h 24′	26
	wechsel	4 h 25′	$ZnSO_4$ 0,0008 %
3 h 21′	26		
3 h 26′	27	4 h 30′	27
3 h 31′	27	4 h 35′	26
3 h 36′	26	4 h 40′	25
3 h 41′	27	4 h 45′	23
3 h 46′	26	4 h 50′	22
3 h 51′	26	4 h 55′	22
3 h 56′	26	5 h	Wasser
3 h 59′	$ZnSO_4$ 0,00008 %	5 h 10′	20
		5 h 20′	17
4 h 4′	26	5 h 25′	17
4 h 9′	27		

zuarbeiten oder Schädigungen auszugleichen“.[2]) Bestätigt wird diese Auffassung namentlich durch die Versuche Richards'[3]), in denen eine geringe Zugabe von Zink-, Kobalt-, Eisen- und anderen Salzen, aber auch von Cocain, Morphium etc. zur Pilzcultur eine mehrfache Zunahme des Trockengewichtes der Decke im Vergleich zur Decke giftfreier Nährlösungen zur Folge hatte.

Zu erwarten war, dass dieselben Substanzen ähnliche Wirkungen auch auf jeden anderen pflanzlichen Organismus ausüben würden. Dass dies in der That für verschiedene Algen zutrifft, geht aus den

---

1) Pfeffer, Jahrb. f. wiss. Bot. 1895, Bd. 28 pag. 238.
2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, pag. 374.
3) Richards, Jahrb. f. wiss. Bot. 1897, Bd. 30 pag. 665.

neuerdings von Ono[1]) gemachten Versuchen hervor; wenn daher bis jetzt Beobachtungen für höhere Pflanzen nicht vorliegen,[2]) so ist das wohl nur durch den Umstand bedingt, dass man in den zahlreichen Untersuchungen über die Giftigkeit verschiedener Stoffe für die Pflanze nur Erscheinungen des Absterbens berücksichtigte und sich mit der Bestimmung des Grenzwerthes für die Giftigkeit begnügte.

Nun ist für eine Reihe von Giften zugleich erwiesen, dass sie die Athmung und Gährungsthätigkeit steigern und es fragte sich, ob durch dieselben nicht alle Functionen der Zelle, speciell auch die Assimilation, zu intensiverer Thätigkeit angeregt werden.

Versuch XI. $CoSO_4$ N/100000 = 0,000155 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 18,1—18,3 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
11 h 22′	52	12 h 6′	$CoSO_4$
11 h 27′	52	12 h 7′	52
11 h 32′	52	12 h 12′	52
11 h 34′	Wasser-	12 h 17′	50
	wechsel	12 h 22′	46
11 h 39′	52	12 h 27′	44
11 h 44′	52	12 h 30′	Wasser
11 h 49′	52	12 h 40′	40
11 h 54′	52	12 h 50′	41
11 h 59′	52	12 h 55′	42
12 h 4′	51	1 h 5′	42

Versuch XII. Chinin salzsaures Bassinwasser, Temp. 20,5—20,7 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 10′	51	3 h 53′	0,5 %
3 h 15′	51	3 h 58′	34
3 h 20′	51	4 h 3′	33
3 h 24′	Chinin	4 h 8′	30
	0,005 %	4 h 11′	0,15 %
3 h 29′	50	4 h 13′	2
3 h 34′	50	4 h 16′	0
3 h 39′	51	4 h 18′	Wasser
3 h 40′	Wasser	4 h 28′	15
3 h 45′	51		
3 h 50′	51		

Zur Beantwortung der Frage war es gerathen, in erster Linie mit Concentrationen zu experimentiren, die der Pflanze auf die Dauer nicht mehr schädlich sind oder sich nicht weit von solchen entfernen. Dazu mahnen die Erfahrungen, die über die relativ grosse Empfindlichkeit der Assimilation gegenüber äusseren Agentien gemacht worden sind und die sich namentlich aus den Versuchen Ewart's ergibt.[3]) In Hinblick auf dieselben ist es sehr wohl möglich, dass bei einer gewissen Concentration eines schädlichen Stoffes die Assimilation

---

1) Ono, Ueber Wachsthumsbeschleunigung einiger Algen und Pilze durch chemische Reize, Abdr. aus d. Journ. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo Vol. XII Part. I, 1900.

2) Uebrigens fand Tschirch (Schweiz. Wochenbl. f. Chem. u. Pharm. 1895 No. 13, cit. nach Just's Jahrb.), dass Phaseolus in Kupferoxydul enthaltenden Nährlösungen besser wuchs als in kupferfreien.

3) Ewart, Journ. of Linnean Soc. 1896, Bd. 31 pag. 364.

herabgedrückt wird, während die Athmung befördert wird, wodurch aber noch nicht ausgeschlossen ist, dass derselbe Stoff in schwächerer Lösung auch die Assimilation begünstigen würde. In diesem Sinne sind auch die Concentrationen in Versuchen Jacobi's zu stark [1]), in denen die vergleichende Untersuchung über den Einfluss 0,5 proc. Chinin- und Antipyrinlösungen auf Athmung und Assimilation zu obigem Resultate führte.

Es sei hier gleich bemerkt, dass es mir trotz zahlreicher Versuche nie gelungen ist, eine andere als herabsetzende Wirkung verschiedener Gifte auf die Assimilation zu constatieren; auch in der Litteratur liegt meines Wissens eine Angabe über eine beschleunigende Wirkung nicht vor.

Versuch XIII. Morphium salzsaures; Bassinwasser, Temp. 21,6 bis 22,2 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 18′	38	4 h 51′	0,1 %
4 h 23′	38	4 h 56′	36
4 h 28′	38	5 h 1′	32
4 h 30′	Wasser-	5 h 6′	32
	wechsel	5 h 8′	Wasser
4 h 35′	38	5 h 13′	36
	Mor-	5 h 18′	36
	phium	5 h 28′	36
4 h 39′	0,01 %		
4 h 44′	37		
4 h 49′	37		

Versuch XIV. Aether 0,01 %; Bassinwasser, Temp. 20,0—20,1 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
12 h 10′	61	12 h 47′	60
12 h 15′	61	12 h 51′	Aether 0,01 %
12 h 17′	Wasser-	12 h 56′	40
	wechsel	1 h 1′	41
12 h 18′	61	1 h 6′	41
12 h 23′	60	1 h 10′	Wasser
12 h 28′	60	1 h 15′	54
12 h 33′	60	1 h 20′	53
12 h 38′	60	1 h 25′	54
12 h 43′	60		

Geprüft wurden hauptsächlich folgende Stoffe: Metallgifte ($ZnSO_4$, $CuSO_4$, $CoSO_4$, $FeSO_4$, $HgCl_2$), Alkaloide (Chinin, Morphium, Cocain), Anaesthetica (Aether, Chloroform, Alkohole) und Methylenblau (s. Vers. VII—XVII).

Stärkere Concentrationen hoben die Assimilation sofort auf; beim Herabgehen auf schwächere nahm dann die schädigende Wirkung allmählich ab und unterblieb schliesslich ganz, wenn die Concentration den Grenzwerth der Giftigkeit erreichte, ging aber nie in eine beschleunigende über. Die Stärke der Wirkung entsprach bei vergleichbaren Stoffen im Allgemeinen der Schädlichkeit für die Pflanzenzelle; so setzten von den Metallgiften $HgCl_2$ und $CuSO_4$ die Assimilation am

1) Jacobi, l. c. pag. 325.

stärksten herab, Chinin stärker als das bekanntlich weniger giftige Morphium, Chloroform stärker als der weniger energisch wirkende Aether. Die Ursache der herabsetzenden Wirkung ist daher wohl in der allgemeinen Schädigung der Zelle zu suchen.

Besonders zu bemerken ist, dass Eisensalze ($FeSO_4$ und $FeCl_3$) in nicht zu schwacher Concentration die Assimilation befördern. Diese Thatsache spricht aber keineswegs für die nach Constatirung des Eisenmangels im Chlorophyll übrigens nur wenig gestützte Annahme, dass gerade dem Eisen die Reductionswirkung bei der Assimilation zukommt. Ihre Erklärung findet sie in der in Folge der Hydrolyse des Salzes eintretenden saueren Reaction der Lösung (s. unten). Bei

Versuch XV. Chloroform; Bassinwasser. Temp. 19,2 – 20,2 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 39′	61	4 h 55′	54
3 h 44′	61	4 h 58′	0,01 %
3 h 49′	60	5 h 3′	55
3 h 54′	61	5 h 8′	52
3 h 57′	Wasser-	5 h 13′	52
	wechsel	5 h 15′	Chlorof. 0,05 %
4 h 12′	61		
4 h 17′	61	5 h 20′	51
4 h 23′	Wasser-	5 h 25′	50
	wechsel	5 h 30′	47
4 h 28′	61	5 h 32′	Wasser
4 h 33′	60	5 h 37′	52
4 h 38′	60	5 h 42′	52
4 h 40′	Chlorof. 0,005 %	5 h 45′	Chlorof. 0,1 %
4 h 45′	58	5 h 50′	0
4 h 50′	54		

Versuch XVI. Methylalkohol 0,5 %; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 17,2 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 55′	36	4 h 33′	35
4 h	36	4 h 34′	Alkohol 0,5 %
4 h 5′	36		
4 h 7′	Wasser-	4 h 35′	36
	wechsel	4 h 40′	36
4 h 8′	36	4 h 45′	36
4 h 13′	36	4 h 48′	Wasser
4 h 18′	36	4 h 49′	35
4 h 23′	36	4 h 54′	36

$CuSO_4$ und den anderen Salzen macht sich dieser Factor meist nicht bemerkbar, da seine Wirkung bei denselben Concentrationen durch die starke Giftwirkung aufgehoben wird. Die Wirkung der Eisensalze entspricht der infolge der Hydrolyse entstehenden Menge der H-ionen; sie ist bei $FeCl_3$ eine grössere als bei $FeSO_4$ und bei $FeCl_3$ für eine frisch bereitete Lösung geringer als für eine ältere.

Bei dieser Gelegenheit musste die Giftigkeit einiger Metallsalze für Elodea näher bestimmt werden. Bei den hier in Betracht kommenden schwachen Concentrationen spielt erwiesenermaasse nnicht nur

diese, sondern auch die nach der Flüssigkeitsmenge verschiedene absolute Quantität des Stoffes eine Rolle. Kam auf einen circa 10 cm langen Spross 100 ccm der Lösung, so litt die Pflanze gar nicht oder nur wenig in Lösungen von 0,000015 % $CuSO_4$, 0,00016 % $ZnSO_4$ und 0,00015 % $CoSO_4$; wurden dagegen grössere Mengen (500 ccm) der Lösung verwandt, so gingen die Sprosse in einigen Tagen auch in Lösungen von 0,0000015 % $CuSO_4$, 0,000016 % $ZnSO_4$ und 0,000001 % $HgCl_2$ zu Grunde. Das destillirte Wasser und die die Salzlösung enthaltenden Gefässe waren natürlich vorher auf ihre Unschädlichkeit

Versuch XVII. Methylenblau 0,0002 %; aqu. dest. 0,3 % CO_2; Temp. 16,5—16,6 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
6 h 9′	50	6 h 36′	32
6 h 14′	50	6 h 41′	32
6 h 15′	50	6 h 46′	32
6 h 24′	50	6 h 47′	Wasser
6 h 25′	Wasser-	6 h 52′	50
	wechsel	6 h 57′	50
6 h 30′	50		
6 h 31′	CO_2 0,0002 %		

Versuch XVIII. Kohlensäure; aqu. dest., Temp. 15,6—16,0 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 15′	CO_2 0,1 %	5 h 33′	CO_2 1,6 %
4 h 20′	4	5 h 38′	79
4 h 25′	5	5 h 43′	78
4 h 29′	CO_2 0,1 %	5 h 48′	78
4 h 34′	4	5 h 50′	CO_2 3,2 %
4 h 39′	4	5 h 55′	95
4 h 41′	CO_2 0,2 %	6 h 5′	96
4 h 46′	9	6 h 10′	96
4 h 56′	9	6 h 13′	CO_2 6,4 %
4 h 59′	CO_2 0,4 %	6 h 18′	96
5 h 4′	19	6 h 23′	96
5 h 9′	19	6 h 28′	96
5 h 12′	CO_2 0,8 %	6 h 33′	CO_2 12,8 %
5 h 17′	39	6 h 38′	96
5 h 22′	39	6 h 48′	97
5 h 27′	39	6 h 58′	96

geprüft worden. Wie aus den Versuchen hervorgeht, nähert sich Elodea der wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber Metallgiften oft erwähnten Spirogyra, von der ein einzelner Faden nach Nägeli in einer Kupfersalzlösung von $^1/_{1000}$ Million noch abstirbt. Die schädliche Wirkung der Metallgifte macht sich alsbald durch Verfärbung der Blätter kenntlich, indem das glänzende Grün in ein mattes Blaugrün verwandelt wird.[1]) Wasser, das einige Zeit in Berührung mit Kupferhydroxyd gestanden, wirkte ebenfalls tödtlich.

1) Ganz dasselbe Aussehen zeigten Sprosse, die im Leitungswasser (500 ccm auf einen 10 cm langen Spross) nach einigen Tagen zu Grunde gingen. Das Wasser wurde der Leitung entnommen erst nachdem grössere Mengen abgeflossen waren. Dies deutet darauf hin, dass die Giftigkeit des Wassers, ähnlich der des

An dieser Stelle möge noch die Möglichkeit einer transitorischen Sistirung der Assimilation bei Elodea auch durch Chloroform erwähnt werden. Bekanntlich lässt sich durch eine geeignete Dosis Chloroform oder Aether eine Aufhebung der Assimilationsthätigkeit bewirken und zwar ohne dadurch den Tod der Pflanze herbeizuführen, wenn für nicht zu lange andauernde Einwirkung Sorge getragen wird. Vielmehr wird die Assimilation nach Wiederherstellung der normalen Aussenbedingungen, je nach der Stärke und Dauer der stattgefundenen Narkose nach kürzerer oder längerer Zeit wieder aufgenommen.

Diese zuerst von Claude Bernard[1]) an Wasserpflanzen constatirte Wirkung der Anaesthetica steht jetzt Dank der Arbeiten späterer Forscher[2]) für höhere Pflanzen und Moose wohl ausser allem Zweifel. Was aber die von Claude Bernard für Wasserpflanzen gemachten Angaben selbst anbetrifft, so glaubte sie Fr. Schwarz[3]) als nicht dem wahren Sachverhalt entsprechende bezeichnen zu müssen, da ihm die Bestätigung derselben mit Ceratophyllum und Elodea nicht gelang. Hörte in seinen Versuchen die Blasenentwickelung einmal auf, so hatten die Pflanzen soweit gelitten, dass sie in reines Wasser zurückversetzt nicht wieder assimilirten, sondern alsbald zu Grunde gingen.

Trotz der augenscheinlich grösseren Empfindlichkeit der Wasserpflanzen liess sich bei Elodea in den mit Chloroform angestellten Versuchen eine Hemmung der Blasenausscheidung erreichen, die in reinem Wasser am Lichte, wenn auch geschwächt, wieder aufgenommen wurde. Es bedurfte dazu nur der Anwendung in Bezug auf die Concentration mehr abgestufter Lösungen, um die geeignete Concentration zu finden. Bei den gebrauchten Objecten war eine Chloroformlösung von 0,2—0,3 % erforderlich. Ungeachtet der günstigen Bedingungen für die Assimilation (directes Sonnenlicht und Kohlensäurezusatz zum Wasser) hörte das Austreten von Blasen schon in 1—2 Minuten auf. Dauerte die Sistirung der Assimilation nur kurze Zeit (etwa 10 Min.), so war, nachdem die Sprosse abgespült und in reines Wasser versetzt worden waren, in einer halben Stunde meist wieder eine flotte Blasenausscheidung eingetreten.

---

destillirten Wassers, durch Metallgifte, in diesem Falle wohl aus der Leitung herstammend, verursacht wird. Die Versuche wurden mehrere Male im Laufe der Arbeit wiederholt.

1) Leçons sur les phénomènes de la vie 1878, pag. 278.

2) Bonnier und Mangin, Annales d. sc. nat. 1886, VII. sér. Bd. 3. — Ewart, l. c. pag. 408.

3) Unters. a. d. bot. Institut zu Tübingen 1881, Bd. 1 pag. 102.

Einfluss der Kohlensäuremenge.

Unsere Kenntnisse über die Beziehungen zwischen Intensität der Assimilation und dem Kohlensäuregehalte des Medium fussen fast ausschliesslich auf Versuchen mit Landpflanzen.[1]) Diese ergaben eine Steigerung der Assimilationsthätigkeit bei Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft bis zu einem Optimum, nach dessen Ueberschreitung die Assimilation allmählich abnimmt, da sich der schädliche Einfluss der Kohlensäure auf die Pflanze geltend macht. Nach Versuchen von Kreusler (l. c.) steigt, wenn von dem normalen Kohlensäuregehalt der Luft ausgegangen wird, gerade anfangs, bei noch geringerer Kohlensäurezunahme, die Assimilation verhältnissmässig am ansehnlichsten, bei höherem Gehalte nur noch um ein Geringes. Selbst beim Optimum der Kohlensäure betrug die Menge der zersetzten Kohlensäure nur das $2^1/_2$fache der in der Luft zersetzten.

Versuch XIX. Kohlensäure; aqu. dest; Temp. 15,3—15,9°. Beleuchtung zweimal schwächer als im vorhergehenden Versuch.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 52′	CO_2 0,1%	5 h 43′	CO_2 0,4%
4 h 57′	6	5 h 48′	27
5 h 2′	6	5 h 53′	27
5 h 5′	CO_2 0,1%	5 h 56′	CO_2 0,8%
5 h 10′	6	6 h 1′	53
5 h 15′	6	6 h 10′	53
5 h 20′	6	6 h 12′	CO_2 1,6%
5 h 25′	6	6 h 14′	53
5 h 27′	CO_2 0,2%	6 h 24′	54
5 h 32′	13	6 h 31′.	2%
5 h 38′	13	6 h 36′	53
5 h 42′	13	6 h 41′	53

Versuch XX. Die Abstände zwischen Lampe und Object betragen 22,6 und 16 cm, die Intensitäten verhalten sich also wie 1 : 2; aqu. dest., Temp. 18,0 bis 18,2°.

Kohlensäure	Abstand cm	Zeit	Blasen
1%	22,6	3 h 32′	10
		3 h 37′	10
	16	3 h 40′	19
		3 h 45′	19
2%	22,6	3 h 52′	10
		3 h 57′	11
	16	4 h 5′	38
		4 h 10′	38
3%	22,6	4 h 16′	11
	16	4 h 20′	39
		4 h 25′	39

Ist es uns darum zu thun, uns eine Vorstellung zu machen von der Art und Weise, in der der Chlorophyllkörper auf verschiedene Kohlensäuremengen reagirt, so haben wir dafür zu sorgen, dass letztere in der That als solche auf denselben einwirken. In dieser Hinsicht

1) Kreusler, Landwirthsch. Jahrb. 1885, Bd. 14 pag. 951.

dürften submerse Pflanzen den Vorzug verdienen. Die leichte Durchlässigkeit ihrer Membranen für gelöste Gase, die nach den Untersuchungen Devaux's [1]) der einer Wasserlamelle gleichkommt, und dazu die Zartheit der Blätter (Elodea) ermöglichen die ungestörte Zufuhr der Kohlensäure zum Chlorophyllapparat. Bei Landpflanzen dagegen ist es möglich, dass bei intensiver Assimilation der Kohlensäuregehalt in den assimilirenden Zellen weit hinter demjenigen zurückbleibt, welcher dem Kohlensäuregehalt der Luft entspricht. Besonders ist dies bei eintretendem Schlusse der Spaltöffnungen der Fall, der eine fast gänzliche Sistirung der Kohlensäureassimilation zur Folge haben kann.[2]) Ein Schluss der Stomata tritt aber nach Fr. Darwin in kohlensäurereicher Luft langsam ein. Findet ein solcher statt, so wird auch in diesem Falle der Kohlensäuregehalt der Zellen nicht proportional der Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft zunehmen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass aus diesen Gründen in Versuchen Kreusler's bei Steigerung des Kohlensäuregehaltes der Luft eine im Vergleich dazu nur langsame Steigerung der Assimilation erfolgte.

Die mit Elodea über die Abhängigkeit der Assimilation von der Kohlensäuremenge angestellten Versuche ergaben dementsprechend ein etwas anderes Bild der Assimilationscurve. Die Zunahme der Gasblasenzahl war stets direct proportional der Menge der zugegebenen Kohlensäure (s. Vers. XVIII und XIX); so steigt in Vers. XVIII für je 0,1 % Kohlensäure die Zahl der ausgeschiedenen Blasen um 5, bei der 15fachen Menge also um 75 Blasen.

Hervorgehoben sei, dass auf Herstellung möglichst genauer Concentrationen (in Volumprocenten) geachtet wurde; so wurde, um nicht kleine Quantitäten des mit Kohlensäure gesättigten Wassers messen zu müssen, zur Bereitung der schwächeren Lösungen immer eine grössere Wassermenge genommen. Das zur Herstellung des Kohlensäurewassers dienende Gas wurde sorgfältig mit Hilfe einer Reihe von Vorlagen gewaschen. Nach Entweichenlassen des Gasüberschusses an der Luft hatte das Kohlensäurewasser keinen Einfluss auf die Assimilation, noch auf die Dauer eine schädliche Wirkung auf Elodeasprosse; es war also physiologisch rein, vor Allem säurefrei, was sich unten als von Bedeutung erweisen wird.

---

1) Devaux, Annales d. sc. nat. 1889, VII. sér. Bd. 9, pag. 178 u. 179.

2) Darwin Fr., Philos. Transact. Ser. B 190, 1898, pag. 531, cit. nach Just's Jahresb.

Wird noch die Frage gestellt, welcher Kohlensäuregehalt das Optimum für die Assimilation ist, so muss sie unbeantwortet bleiben, weil Versuche in directem Sonnenlicht nicht ausgeführt worden sind. In den Versuchen mit dem schwachen Lampenlicht aber verschob sich das Optimum proportional der Lichtintensität; so wurde dasselbe in Vers. XX bei einer gewissen Lichtintensität schon bei circa 1 % Kohlensäure erreicht, bei der zweifachen Stärke des Lichtes erst bei circa 2 %.

Versuch XXI.

Die Lichtintensitäten verhalten sich wie $^3/_{12} : ^4/_{12} : ^6/_{12} : ^{12}/_{12}$, entsprechend den Abständen 32, 27,7, 22,6 und 16 cm. Aq. dest. Temp. 17,1—17,3°, Kohlensäuregehalt des Wassers 4 %.

Intensität des Lichtes	Blasen	Zunahme der Intensität	Zunahme der Blasen
$^3/_{12}$	30		
$^4/_{12}$	43	$^1/_{12}$	$13 = 1 \times 13$
$^6/_{12}$	69	$^3/_{12}$	$39 \quad 3 \times 13$
$^{12}/_{12}$	146	$^9/_{12}$	$116 \quad 9 \times 13$

Noch sei hier Vers. XXI angeführt, der, wie auch der vorhergehende, zeigen möge, dass die von verschiedenen Forschern mit anderen Methoden gefundene Proportionalität zwischen Kohlensäurezersetzung und Intensität des Lichtes sich auch bei der hier angewandten Methode bestätigt fand. Dieser Umstand kann unter anderem als ein Kriterium für die Brauchbarkeit der Methode selbst betrachtet werden.

Einfluss von Säuren auf die Assimilation.

In allen der Litteratur zu entnehmenden Angaben über den Einfluss anorganischer Säuren auf die Assimilation ist immer nur von einer herabsetzenden, nie von einer beschleunigenden Wirkung die Rede.[1]) Da es sich in den meisten Fällen um das Studium der bei Einwirkung saurer Gase auf die Vegetation zu beobachtenden Schädigung handelt, so findet ein solches Resultat seine Erklärung in der Anwendung zu concentrirten Säurelösungen und zu lange fortgesetzter Einwirkung derselben. Dagegen ist in der neuerdings erschienenen

1) Vgl. die Litteratur über die Schädigung der Vegetation durch Rauch etc. — Migula, Ueber den Einfluss stark verdünnter Säurelösungen auf Algenzellen. Breslau, Diss. 1888 pag. 29.

Arbeit von Wieler und Hartleb[1]) die Steigerung der Assimilation direct übersehen worden, obgleich in den Versuchen mit Elodea mit hinreichend verdünnten Salzsäurelösungen experimentirt wurde; denn eine solche wurde in meinen Versuchen mit Elodea[2]) in Säurelösungen von derselben Concentration stets beobachtet, so lange nur die Objecte sich in säurehaltigem Wasser befanden. Die Zunahme der Gasblasenzahl wurde dabei nicht durch Verkleinerung der Grösse derselben verursacht, wenn, wie gesagt. frisch angeschnittene Sprosse vermieden wurden, bei denen die Intercellularen durch Aufquellen des Protoplasmas der verwundeten Zellen verengert resp. verstopft werden können.

Versuch XXII. HCl N/10000 = 0,00036 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 18′	36	4 h 50′	HCl
4 h 23′	36	4 h 53′	55
4 h 28′	36	4 h 58′	56
4 h 35′	35	5 h 13′	56
4 h 34′	Wasser-	5 h 18′	55
	wechsel	5 h 20′	Wasser
4 h 36′	36	5 h 25′	39
4 h 41′	36	5 h 35′	36
4 h 46′	36		

Versuch XXIII. HNO_3 N/10000 = 0,00063 %; aq dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 18,8—19,0°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
2 h 15′	25	2 h 35′	HNO_3
2 h 20′	25	2 h 40′	53
2 h 25′	24	2 h 45′	52
2 h 26′	Wasser-	2 h 47′	Wasser
	wechsel	2 h 50′	24
2 h 27′	25	2 h 55′	24
2 h 32′	25		

Für die weitere Untersuchung war es naheliegend, nur Säureconcentrationen zu gebrauchen, die der Pflanze nicht mehr schädlich sind, um soweit als möglich auszuschliessen, dass die Assimilation durch Störungen anderer, sie beeinflussender Functionen geschädigt werde. Hat doch Ewart[3]) gerade für Elodea gezeigt, dass bei längerem Verweilen in einer Phosphorsäurelösung (die Concentration ist nicht genau angegeben, übersteigt aber 0,01 %) vollständige Inactivirung der Chloroplasten eintritt, wie dieselbe überhaupt durch die verschiedensten, für die Pflanze schädlichen Eingriffe erzielt werden kann.

---

1) Wieler und Hartleb, Ueber Einwirkung der Salzsäure auf die Assimilation der Pflanze. Ber. d. d. bot. Ges. 1900, Bd. 18 pag. 348.

2) Ebenso in Versuchen mit Myriophyllum und Potamogeton (Versuch XXIX und XXX).

3) Ewart, l. c. pag. 411.

Die aus diesem Grunde über die Schädlichkeit verschiedener Säuren angestellten Versuche ergaben, dass sowohl anorganische als auch organische Säuren in $^1/_{1000}$ Normallösung die Elodeasprosse noch schädigen, indem sie besonders an jüngeren Blättern das Chlorophyll

Versuch XXIV. H_2SO_4 N/10000 = 0,00098 % ; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,8—20,3 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 26′	34	4 h 15′	65
3 h 31′	34	4 h 20′	67
3 h 36′	34	4 h 25′	65
3 h 41′	34	4 h 30′	65
3 h 46′	33	4 h 35′	65
3 h 49′	33	4 h 36′	Wasser
3 h 54′	Wasser-	4 h 41′	34
	wechsel	4 h 46′	35
3 h 59′	34	4 h 51′	33
4 h 4′	34	4 h 58′	Wasser
4 h 7′	H_2SO_4	5 h 8′	35
4 h 10′	64		

Versuch XXV. CrO_3 N/10000 = 0,001 % ; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 18,6—19,0 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
11 h 45′	40	12 h 30′	40
11 h 50′	40	12 h 35′	40
11 h 55′	40	12 h 40′	39
11 h 56′	Wasser-	12 h 43′	CrO_3
	wechsel	12 h 45′	78
12 h	40	12 h 50′	79
12 h 5′	40	12 h 55′	77
12 h 10′	40	1 h	76
12 h 15′	39	1 h 2′	CrO_3
12 h 20′	39	1 h 7′	77
12 h 22′	Wasser-	1 h 10′	Wasser
	wechsel	1 h 15′	37
12 h 25′	40	1 h 20′	36

Versuch XXVI. H_3PO_4 N/10 000 = 0,00098 % ; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,5—19,9 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
12 h 40′	12	1 h 21′	34
12 h 45′	12	1 h 31′	34
12 h 50′	12	1 h 36′	33
12 h 55′	12	1 h 40′	33
12 h 56′	H_3PO_4	2 h 45′	29
1 h 1′	32	2 h 51′	Wasser
1 h 6′	35	3 h 1′	12
1 h 11′	35	3 h 21′	12
1 h 16′	35	3 h 31′	12

Versuch XXVII. Bernsteinsäure N/10 000 = 0,00118 % ; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 20,9 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
11 h 20′	40	11 h 41′	64
11 h 26′	40	11 h 46′	63
11 h 29′	Wasser-	11 h 49′	Wasser
	wechsel	11 h 51′	42
11 h 31′	41	11 h 56′	41
11 h 36′	40	12 h 1′	40
11 h 39′	Bern-		
	steins.		

ganz oder nur fleckenweise zerstören. Bei N/10 000 trat eine irgendwie merkliche Schädigung auch bei längere Zeit fortgesetzter Cultur nicht ein. Berücksichtigt man, dass die Versuchsdauer im Vergleich dazu nur eine sehr kurze ist, so leuchtet es ein, dass eine indirecte

Beeinflussung so gut wie ganz vermieden ist; dies geht am besten daraus hervor, dass in allen mit einer Säureconcentration von N/10 000 angestellten Versuchen die frühere Assimilationsintensität sich in säurefreiem Wasser sofort wieder einstellte. Trotz der schwachen Lösung der Säure ist die erzeugte Beschleunigung noch eine erhebliche. Die Säurelösungen wurden durch Verdünnen sorgfältig titrirter N/10-Lösungen hergestellt.

Versuch XXVIII. Citronsäure N/10 000 = 0,0019 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,8°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
5 h 31′	17	6 h 7′	17
5 h 36′	17	6 h 9′	Citrons.
5 h 38′	Wasser-	6 h 10′	37
	wechsel	6 h 15′	37
5 h 43′	17	6 h 20′	Wasser
5 h 48′	17	6 h 25′	18
5 h 53′	17	6 h 31′	17
6 h 3′	17		

Versuch XXIX. Object: Myriophyllum, HNO_3 N/10 000; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,3 bis 19,5°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 33′	33	4 h	HNO_3
3 h 38′	33	4 h 6′	51
3 h 40′	Wasser-	4 h 11′	50
	wechsel	4 h 16′	50
3 h 43′	34	4 h 20′	Wasser
3 h 48′	34	4 h 25′	35
3 h 53′	34	4 h 30′	34
3 h 58′	34		

Versuch XXX. Object: Potamogeton, Citronsäure N/10 000; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 19,2°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h	8	3 h 30′	Citrons.
3 h 5′	8	3 h 34′	18
3 h 8′	Wasser-	3 h 39′	18
	wechsel	2 h 44′	18
3 h 9′	8	3 h 50′	Wasser
3 h 14′	8	3 h 55′	9
3 h 19′	8	4 h 15′	8
3 h 24′	8		

Versuch XXXI. K_2SO_4 N/1000 = 0,0174 %; aqu. dest. + 0,2 % CO_2.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 59′	40	5 h 25′	K_2SO_4
5 h 4′	40	5 h 30′	40
5 h 6′	Wasser-	5 h 35′	40
	wechsel	5 h 40′	40
5 h 8′	41	5 h 42′	Wasser
5 h 13′	40	5 h 47′	40
5 h 18′	40	5 h 52′	40
5 h 23′	40		

Eine Steigerung der Assimilation trat bei allen den verschiedenen Säuren ein, die überhaupt auf ihre Wirkung geprüft wurden; genannt seien Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, Chromsäure, Phosphorsäure, Essigsäure, Bernsteinsäure, Oxalsäure, Weinsäure und Citronsäure (s. Versuch XXII—XXVIII). Aus dieser allen Säuren gemein-

samen Wirkung geht ohne Weiteres hervor, dass dieselbe nur durch eine ihnen allen zukommende Eigenschaft, ihre Acidität bedingt sein kann. Das lässt sich auch experimentell erweisen. Bei einer so grossen Verdünnung, wie sie eine Salzsäure- oder Schwefelsäurelösung von N/10 000 darstellt, sind so gut wie alle Moleküle der Säure in ihre Jonen zerfallen. In demselben Grade ist eine verdünnte Lösung

Versuch XXXII. $KHSO_4$ 2N/10000 und H_2SO_4 N/10000; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 20,0°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 29′	37	5 h	64
4 h 34′	37	5 h 5′	63
4 h 39′	37	5 h 10′	$KHSO_4$
4 h 40′	Wasser-	5 h 12′	64
	wechsel	5 h 17′	64
4 h 42′	37	5 h 19′	Wasser
4 h 52′	37	5 h 24′	40
4 h 54′	H_2SO_4	5 h 29′	37
4 h 55′	64		

Versuch XXXIII. KH_2PO_4 0,0136 %; aq. dest. + 0,1 % CO_2, Temp. 16,7°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 7′	12	3 h 39′	$KHPO_4$
3 h 12′	12	3 h 44′	37
3 h 14′	Wasser-	3 h 49′	36
	wechsel	3 h 54′	36
3 h 19′	13	3 h 58′	Wasser
3 h 24′	13	4 h 3′	12
3 h 29′	12	4 h 8′	12
3 h 34′	12		

Versuch XXXIV. $FeCl_3$ circa 0,001 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
12 h 28′	9	12 h 58′	21
12 h 30′	Wasser-	1 h 5′	22
	wechsel	1 h 10′	21
12 h 35′	8	1 h 15′	21
12 h 40′	9	1 h 18′	Wasser
12 h 45′	9	1 h 23′	10
12 h 50′	9	1 h 28′	9
12 h 53′	$FeCl_3$		

Versuch XXXV. Jod 0,0008 %; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 16,3°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
6 h 13′	13	6 h 36′	13
6 h 23′	13	6 h 46′	13
6 h 28′	13	6 h 50′	Wasser
6 h 30′	Jod	6 h 55′	12
6 h 31′	13	7 h	12

von Kaliumchlorid oder Kaliumsulfat dissociirt, die jedoch ohne den geringsten Einfluss auf die Assimilation ist (s. Versuch XXXI). Da nun die Salzlösung gleich der Säure wohl Cl- oder SO_4-Jonen, dagegen aber keine H-Jonen enthält, so kann nur durch letztere der Effect der Säure auf die Assimilation bedingt sein. Wohl aber wirkt auch ein Salz beschleunigend, sobald dasselbe kein neutrales, sondern ein saures ist, d. h. H-Jonen enthält, wie z. B. $KHSO_4$ oder KH_2PO_4 (s. Vers. XXXII und XXXIII). Ausserdem war schon bei Versuchen

mit $FeSO_4$ und $FeCl_3$ (Vers. XXXIV) zu sehen, dass auch die infolge von Hydrolyse eintretende saure Reaction in gleichem Sinne wirksam ist.

Wird die Steigerung der Assimilationsthätigkeit durch die H-Jonen der Lösung verursacht, so ist zu erwarten, dass die Grösse derselben in gewisser Beziehung zur H-Jonenconcentration stehe. In der That konnte in vielen Fällen eine Proportionalität zwischen Zunahme der Blasenzahl und H-Jonenconcentration nachgewiesen werden. Die Salzsäure erreicht schon bei der Verdünnung von N/1000 den Maximalwerth der Dissociation, d. h. der Bruchtheil der in Jonenform vorhandenen Säure (0,99) bleibt bei weiterer Verdünnung derselbe. Die

Versuch XXXVI. HCl N/10000, 2N/10000, 3N/10000 u. 4N/10000; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 20,9 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 6′	26	4 h 55′	66
4 h 21′	26	4 h 58′	3N/10000
4 h 23′	Wasser-	5 h	87
	wechsel	5 h 5′	86
4 h 25′	27	5 h 7′	4N/10000
4 h 30′	26	5 h 10′	107
4 h 35′	26	5 h 15′	106
4 h 38′	N/10000	5 h 19′	Wasser
4 h 40′	47	5 h 24′	28
4 h 45′	46	5 h 29′	26
4 h 47′	2N/10000	5 h 34′	26
4 h 50′	66		

Versuch XXXVII. HCl und HNO_3 N/10000; aq. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 20,9 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 20′	26	4 h 5′	56
3 h 25′	26	4 h 7′	HNO_3
3 h 30′	26	4 h 8′	56
3 h 33′	Wasser-	4 h 13′	57
	wechsel	4 h 18′	56
3 h 35′	26	4 h 22′	HCl
3 h 40′	26	4 h 27′	56
3 h 45′	26	4 h 32′	56
3 h 50′	25	4 h 34′	Wasser
3 h 53′	HCl	4 h 39′	27
3 h 55′	56	4 h 54′	26
4 h	56		

Concentration der H-Jonen nimmt daher in Lösungen von N/10 000 — N/1000 proportional einer solchen der Säure zu. Wie nun Versuch XXXVI darthut, steigt die Assimilation proportional der Säuremenge und zwar für jedes N/10 000 der zugegebenen Salzsäure um 20 Blasen.

Die Wirkung der H-Jonenconcentration kann auch beim Vergleiche der stärkeren Säuren mit einander, deren Dissociationsgrad bei N/10 000 ungefähr der gleiche ist, als die Ursache der verschieden grossen Steigerung aufgefasst werden. Letztere müsste in diesem Falle in äquimolekularer Lösung bei den einbasischen die gleiche, bei zwei- und dreibasischen Säuren zweimal resp. dreimal stärker sein; ebenso müsste der Effect von 2N/10 000 $KHSO_4$ dem von N/10 000

H_2SO_4 gleichkommen. Dass dies zutrifft, geht aus den Versuchen XXXVII, XXXVIII und XXXII hervor. Eigenthümlicherweise fanden sich diese Verhältnisse aber auch in Versuchen mit Säuren, bei denen der Wasserstoff nur zum Theil in Jonenform vorhanden ist, wie z. B.

Versuch XXXVIII. HCl und H_2SO_4 N/10000; aqu. dest. 0,2 % CO_2. Temp. 19,5 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 36′	35	4 h 7′	63
3 h 41′	35	4 h 12′	63
3 h 43′	Wasser-	4 h 13′	H_2SO_4
	wechsel	4 h 14′	92
3 h 45′	35	4 h 19′	91
3 h 50′	35	4 h 24′	91
3 h 55′	34	4 h 26′	Wasser
4 h 1′	HCl	4 h 36′	34
4 h 2′	63	4 h 41′	34

Versuch XXXIX. HCl, H_3PO_4 und Citronsäure N/10000; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 18,0 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
10 h 31′	12	11 h 4′	33
10 h 36′	12	11 h 9′	33
10 h 41′	12	11 h 14′	32
10 h 42′	Wasser-	11 h 18′	$C_6H_8O_7$
	wechsel	11 h 20′	33
10 h 47′	12	11 h 25′	33
10 h 52′	12	11 h 26′	Wasser
10 h 54′	HCl	11 h 28′	12
10 h 55′	19	11 h 33′	12
11 h	19	11 h 38′	12
11 h 2′	H_3PO_4		

Versuch XL. HCl, Essigsäure und Bernsteinsäure N/10000; aqu. dest. + 0,3 % CO_2, Temp. 18,3 bis 18,5 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
1 h 13′	48	1 h 46′	58
1 h 18′	48	1 h 51′	59
1 h 23′	48	1 h 56′	59
1 h 24′	Wasser-	1 h 57′	$C_4H_6O_4$
	wechsel	1 h 59′	68
1 h 25′	48	2 h 2′	69
1 h 30′	48	2 h 7′	69
1 h 32′	$C_2H_4O_2$	2 h 8′	Wasser
1 h 37′	59	2 h 9′	48
1 h 42′	59	2 h 14′	48
1 h 45′	HCl		

Versuch XLI. HCl, Oxalsäure und Citronsäure N/10000; aq. dest. + 0,3 %, Temp. 20,0—20,2 °.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
3 h 57′	27	4 h 33′	48
4 h 2′	27	4 h 38′	48
4 h 5′	Wasser-	4 h 43′	48
	wechsel	4 h 45′	$C_6H_8O_7$
4 h 6′	28	4 h 46′	58
4 h 16′	27	4 h 51′	58
4 h 20′	HCl	4 h 56′	58
4 h 21′	37	4 h 57′	Wasser
4 h 26′	37	5 h 2′	29
4 h 31′	37	5 h 7′	28
4 h 32′	$C_2H_2O_4$		

in Versuchen mit Phosphorsäure, Essigsäure, Bernsteinsäure, Oxalsäure, Citronsäure und Kohlensäure (s. Vers. XXXIX—XLIII), wenn sie in ihren Wirkungen mit der Salzsäure verglichen wurden.

Ein besonderes Interesse gewinnt die Erscheinung der Säurewirkung, wenn wir die Kohlensäure in ihrer Beziehung zur Assimi-

lation als Säure betrachten. Wir sehen da, dass die Art und Weise ihrer Wirkung auf die Assimilation sich in keiner Beziehung von der der übrigen Säuren unterscheidet. Der einzige Unterschied ist der, dass die Kohlensäure zugleich das zu verarbeitende Material für den Assimilationsprocess liefert. Ist dasselbe aber in genügender Menge der Pflanze zugängig, so wirkt die darüber hinausgehende Menge Kohlensäure nur in ihrer Eigenschaft als Säure. Denn dass eine durch Kohlensäurezufuhr erzielte Steigerung der Assimilation nicht immer durch die Befriedigung des Kohlensäuremangels bedingt zu sein braucht, beweist schon der Umstand, dass die Steigerung auch möglich ist, wenn bei gleichbleibendem Kohlensäuregehalte durch Verstärkung des Lichtes oder Zugabe von Säure Bedingungen für intensivere Kohlensäurezersetzung geschaffen werden. Hat dagegen weitere CO_2-

Versuch XLII. H_2SO_4 und CO_2 N/10000; aq. dest., Temp. 18,1°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 20′	12	5 h 1′	28
4 h 25′	12	5 h 6′	27
4 h 30′	12	5 h 10′	CO_2
4 h 32′	Wasser-	5 h 12′	28
	wechsel	5 h 17′	28
4 h 34′	13	5 h 21′	Wasser
4 h 44′	12	5 h 23′	13
4 h 55′	12	5 h 33′	12
4 h 59′	H_2SO_4		

Versuch XLIII. H_2SO_4 und CO_2 N/10000; aqu. dest., Temp. 18,2°.

Zeit	Blasen	Zeit	Blasen
4 h 16′	52	4 h 45′	CO_2
4 h 21′	52	4 h 47′	105
4 h 23′	Wasser-	4 h 52′	104
	wechsel	4 h 54′	H_2SO_4
4 h 26′	53	4 h 58′	105
4 h 31′	53	5 h 4′	105
4 h 36′	52		

Zugabe keinen Effect mehr (beim CO_2-Optimum), so wird auch durch keine andere Säure eine weitere Steigerung der Assimilation hervorgerufen.

Der Vergleich anorganischer und organischer Säuren (Oxalsäure, Citronsäure) zeigt keine stärkere Wirkung der letzteren auf die Blasenausscheidung. Dies ist begreiflich, wenn wir berücksichtigen, dass die durch Zersetzung organischer Säuren unterhaltene Sauerstoffausscheidung die bei normaler Assimilation stattfindende bei weitem nicht erreicht und erst bei starker Beleuchtung und höherer Concentration der Säure [1]), vielleicht auch erst bei Kohlensäuremangel zur Geltung kommt.

---

1) Mangin, Comptes rendus, 1889, pag. 716.

Was die bisher gemachten Untersuchungen anbetrifft, in denen nach Zugabe organischer Säuren eine stärkere Assimilation eintrat, so ist in denselben die Säurewirkung nicht berücksichtigt worden. Sie lassen daher einen Schluss auf die Zersetzung der organischen Säure unter Sauerstoffausscheidung nur in den Fällen zu, in welchen für vollkommenen Ausschluss der Kohlensäure gesorgt wurde, da selbst bei sehr geringem Kohlensäuregehalte des Wassers nach Zusatz einer anorganischen Säure andauernde Blasenausscheidung bei Elodea stattfindet. Einen sicheren Schluss gestatten nur Versuche, welche zeigen, dass bei Einführung organischer Säuren in die Pflanze die Sauerstoffausscheidung am Lichte von keinem entsprechenden Kohlensäureverbrauch begleitet wird. Ob in Versuchen Purjewicz', in denen der Zusatz geringer Mengen von Malaten, Oxalaten und Tartraten zum Wasser die Assimilationsthätigkeit submerser Pflanzen begünstigte, nicht vielleicht saure Salze verwandt wurden, ist aus dem Referate [1]) über dieselben nicht zu ersehen. Einige ähnliche Versuche mit neutralem weinsaurem Kalium in 0,2proc. Lösung zeigten keine Steigerung der Assimilation.

Formaldehyd.

Mit Rücksicht auf die Rolle, die dem Formaldehyd im Assimilationsprocesse nach der Baeyer'schen Theorie zukommt, erschien es von einigem Interesse, seine Giftigkeit und seine Wirkung auf die Assimilation bei Elodea etwas näher kennen zu lernen.

Der als Antisepticum gebrauchte Stoff ist als heftiges Gift für die Pflanzenzelle bekannt; in Versuchen Bokorny's [2]) gingen Spyrogyren schon in einer Formaldehydlösung von 1 : 20 000 zu Grunde. Aehnlich wirkte auch auf Elodea eine 0,01proc. Lösung (durch Verdünnen des ca. 40proc. Handelsproduktes hergestellt) nach 24 Stunden tödtlich und brachte, was ihren Einfluss auf die Assimilation anbetrifft, diese in kurzer Zeit zum Stillstande. Bei Concentrationen von 0,0005—0,001 % aber konnte eine Verminderung der ausgeschiedenen Blasen nicht beobachtet werden, und die Pflanze hielt sich in solchen Lösungen tagelang bei gesundem Aussehen und fortgesetzter Assimilation.

Es wurde wiederholt ausgesprochen, die Baeyer'sche Theorie könne leider, wegen der grossen Giftigkeit des Formaldehydes, nicht

---

1) Ref. in Bot. Centralbl. 1894, Bd. 58.

2) Ber. d. d. bot. Ges. 1888, pag. 119.

experimentell bewiesen werden, da es sich ja vor allem nicht prüfen lässt, ob überhaupt Formaldehyd zur Stärkebildung verwerthet werden kann. Nun scheint es mir, dass dem bei Elodea bei Anwendung einer 0,001proc. Lösung nichts im Wege stehen kann.

Das Experimentiren mit einer so schwachen Lösung rechtfertigt sich durch die Theorie selbst. Nach derselben findet eine Ansammlung freien Formaldehyds nicht oder nur in sehr geringer Menge [1]) statt, da es alsbald nach seiner Entstehung vom Protoplasma in Beschlag genommen wird und der Polymerisation zu Kohlehydraten unterliegt. Somit braucht für die Bildung von Kohlehydraten aus Formaldehyd nicht, wie etwa bei der Stärkebildung aus Zucker, erst eine gewisse Concentration desselben in der Zelle erreicht zu werden. Falls ferner das Formaldehyd in den Chloroplasten als erstes Assimilationsprodukt direct aus Kohlensäure und Wasser entsteht, ohne dass es bei diesem Processe zur Bildung irgendwelcher in der Zelle verbleibender Nebenprodukte kommt, so ist nicht einzusehen, warum die Pflanze nicht ebenso gut das im Experimente fertig dargebotene Formaldehyd verarbeiten sollte.

Natürlich muss, damit der Pflanze die genügende Menge Formaldehyd zur Verfügung stehe, im Verhältniss zur Grösse des Sprosses eine entprechende Quantität der Lösung genommen werden. Das Eindringen des Formaldehyds in die Zelle wird durch die Giftigkeit einer z. B. 0,005proc. Lösung bewiesen. Die genügende Haltbarkeit bis zu einem solchen Grade verdünnter Formaldehydlösungen wird dadurch erwiesen, dass eine nur um ein Geringes stärkere von 0,005 % ihre schädliche Wirkung auf Spirogyra noch ausübte, nachdem sie vorher mehrere Tage am Lichte und in offenen Gefässen gestanden hatte.

Zu den Versuchen wurden völlig entstärkte Sprossspitzen von Elodea verwandt; das Entstärken geht schnell und vollständig bei einer Temperatur von ca. 30° und Zusatz von etwas Salpeter vor sich. Die Prüfung auf Stärke mit Jod wurde stets unterm Mikroskop vorgenommen. Auf einen Pflanzentheil von 0,02 g Gewicht kamen drei Liter einer 0,0005—0,001proc. Lösung. Dazu wurde die Lösung mehrere Male durch neue ersetzt oder weitere 0,0005 % zugegeben. Da die Möglichkeit vorhanden, dass das Licht nicht nur die Betriebs-

---

1) Dass sie nur eine geringe sein kann, geht hervor aus Untersuchungen von Curtius und Reinke. Ber. d. d. bot. Ges. 1897, Bd. 15 pag. 201. — Pollaci, Ref. i. Bot. Zeit. 1900, pag. 154.

energie bei der Abspaltung des Sauerstoffs liefert, sondern auch in spätere Phasen des Assimilationsprocesses eingreift, so wurden Versuche sowohl im Dunkeln als auch am Lichte angestellt. Die Versuche am Lichte wurden unter thunlichstem Ausschluss der Kohlensäure ausgeführt; da alle Resultate negativ ausfielen, so braucht darauf und auf andere Punkte, die beim positiven hätten berücksichtigt werden müssen, nicht näher eingegangen zu werden.

Sowohl in den im Dunkeln als auch in directem Sonnenlicht ausgeführten Versuchen waren selbst nach fünf Tagen keine Spuren von Stärke aufgetreten. Es bleibt nur noch zu bemerken, dass dies nicht daran lag, dass die Versuchsobjecte die Fähigkeit, zu assimiliren oder Stärke zu bilden, verloren hatten. Denn wurden die Objecte in der Formaldehydlösung belassen und in directes Sonnenlicht gebracht (in den am Licht ausgeführten Versuchen nach Kohlensäurezugabe), so trat sofort durch Assimilation hervorgerufene Blasenausscheidung auf und die Untersuchung nach 1—2 Stunden ergab reichlichen Stärkeansatz in allen Chlorophyllkörpern und Blättern.

Obgleich nun Loew[1]) in Bezug auf den Process der Kohlensäureassimilation bemerkt, „dass hierbei das erste Assimilationsprodukt Formaldehyd ist, wie Bayer zuerst vermuthete, ist für die meisten Chemiker wohl kaum zu bezweifeln, wenn auch manche Pflanzenphysiologen sich noch ablehnend verhalten mögen“, so muss dem gegenüber eben hervorgehoben werden, dass zur Zeit nicht einmal einwandsfrei erwiesen ist, dass die Chloroplasten aus freiem Formaldehyd Stärke bilden können und dass auch in einem solchen Falle daraus nicht gefolgert werden kann, dass dies in der Pflanze ebenfalls normalerweise geschieht.[2])

Zusammenfassung der Resultate.

Die sich aus vorliegender Arbeit ergebenden wichtigsten Resultate lassen sich wie folgt kurz zusammenfassen.

Die Assimilation wird durch Lösungen neutraler Salze herabgesetzt. Ausser anderen Factoren spielt hier die rein osmotische Wirkung der Lösungen auf die Zelle eine Rolle, indem die Verminderung des normalen Wassergehaltes wie die meisten Lebensprocesse, so auch die Assimilation beeinträchtigt. Die Abnahme ist aber vor Eintritt der Plasmolyse nur eine mässige; sie macht sich

---

1) Loew, Die chemische Energie der lebenden Zellen, 1899, pag. 43, Anm.
2) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I pag. 340.

auf die Blasenentwickelung bei Elodea erst bei ca. 0,1 % KNO_3 bemerkbar. Plasmolyse ruft eine andauerndere Schädigung der Protoplasten hervor.

Verschiedene Stoffe, wie Salze von Schwermetallen, Alkaloide und Anaesthetica, die in geringen Concentrationen das Wachsthum und die Athmung steigern, wirken auf die Assimilation nicht im gleichen Sinne ein.

Auch bei Wasserpflanzen lässt sich durch eine geeignete Dosis Chloroform die Assimilation vorübergehend sistiren.

Die Assimilationsthätigkeit des Chlorophyllaparates wird proportional der auf ihn einwirkenden Kohlensäuremenge gesteigert.

Wie die Kohlensäure wirken auch die verschiedensten anorganischen und organischen Säuren.

Abgesehen davon, dass die Kohlensäure das zu verarbeitende Material für den Assimilationsprocess liefert, ist der Charakter der Säure- und Kohlensäurewirkung auf denselben der gleiche.

Das Auftreten geringer Mengen freien Formaldehyds in der Zelle kann von derselben ungefährdet und ohne Beeinträchtigung der Assimilation vertragen werden. Aber weder im Dunkeln noch im Lichte wird aus dargebotenem Formaldehyd Stärke gebildet. Damit ist natürlich nicht angezeigt, dass im Assimilationsprocesse Formaldehyd überhaupt nicht gebildet wird, wohl aber spricht der Versuch gegen die Anschauung, die im Assimilationsprocesse einfach nur die Bildung von Formaldehyd aus CO_2 und H_2O und die Condensation desselben zu Kohlehydraten sieht.

Die Versuche, welche der vorstehenden Arbeit zu Grunde liegen, wurden im botanischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt. Es gereicht mir zur besonderen Freude, hier aussprechen zu können, dass ich mich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. W. Pfeffer, zu tiefem Dank verpflichtet fühle.

Leipzig 1901.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: 92

Autor(en)/Author(s): Treboux Octave

Artikel/Article: Einige stoffliche Einflüsse auf die Kohlensäureassimilation bei submersen Pflanzen 49-76