

**Sitzung vom 10. Dezember 1924.**

Vorsitzender: Herr Krüger. Herr Dahm:

**Pflanze und Reaktion ihres Substrates.**

(Gekürzt veröffentlicht.)

Zahlreiche Untersuchungen sind in der letzten Zeit ausgeführt worden, die die Beziehung der Pflanze zur Reaktion ihres Substrates zum Gegenstand haben. Daß letzthin gerade so viel auf diesem Gebiet gearbeitet worden ist, dürfte wohl ein Beweis dafür sein, welche Bedeutung man heute diesem Forschungszweige beimißt. Ermöglicht wurden diese Arbeiten erst dadurch, daß, in der Hauptsache von Michaelis und Sörrensen, Methoden ausgearbeitet wurden, um die Wasserstoffionenkonzentration zu messen. Da nun die Bodenreaktion direkt durch die vorhandenen Wasserstoffionen bedingt wird, so hat man in deren Messung ein vorzügliches Mittel an der Hand, um sich ein genaues Bild von dem Säure- bzw. Alkalitätsgrad eines Bodens zu machen. Es soll nun im folgenden meine Aufgabe sein darzulegen, wie wir uns nach den neueren Arbeiten die Beziehung der Pflanze zur Reaktion ihres Substrates zu denken haben. Zwei Fragen liegen in der Hauptsache den auf diesem Gebiete ausgeführten Untersuchungen zu Grunde: I. Welchen Einfluß hat die Reaktion auf die Pflanze? II. Wie verändert die Pflanze die Reaktion ihres Substrates während ihres Wachstums?

## I.

Man glaubte früher, daß die neutrale Bodenreaktion für die Pflanze am günstigsten sei; neuere Untersuchungen haben aber gezeigt, daß jede Pflanze einen gewissen pH-Bereich bevorzugt. Dabei kann man ein Minimum, ein Maximum und ein oder mehrere Optima unterscheiden; vergl. u. a. die Zusammenstellungen bei O. Arrhenius (3) S. 12 und F. Chodat (14) S. 26 ff, ferner O. C. Bryan (13). Wenn auch die Ergebnisse der verschiedenen Forscher für die gleichen Pflanzen nicht immer einheitlich sind, so dürften sie, wie erwähnt, doch soviel zeigen, daß es eine für jede Pflanze optimale Substratreaktion gibt und daß diese vielfach nicht die neutrale ist.

Zahlreiche Autoren gehen so weit, der Bodenreaktion eine große Bedeutung für die Verteilung der Gewächse auf der Erde zuzuschreiben. So sollen nach Arrhenius (3) S. 12 die Zwergstrauchformation auf stark saurem, die Kräuter auf fast neutralem Boden stehen, die Gräser eine Mittelstellung einnehmen. Arrhenius will aus der Formation direkt die Bodenreaktion bestimmen können. Wenn auch nun tatsächlich in zahlreichen Fällen gezeigt worden ist, daß gewisse Formationen immer auf Böden von derselben Reaktion vorkommen, so spricht das doch, wie Arrhenius glaubt (3) S. 12, noch keineswegs dafür, daß die Verteilung der Pflanzenassoziationen von der Bodenreaktion abhängig ist. Es ist doch

wohl in zahlreichen Fällen nicht daran zu zweifeln (z. B. bei der Zwergstrauchformation und den Sphagneteten), daß die Reaktion durch die Lebensfunktion der Pflanzen sekundär auf den gefundenen Wert verschoben worden ist. Auch bin ich im Gegensatz zu Arrhenius der Meinung, daß man aus der geologischen Formation einen gewissen Rückschluß auf den ph-Wert des Bodens ziehen kann. Für die Bodenreaktion der genannten beiden Pflanzenformationen hat allerdings die geologische Formation wenig Bedeutung. Das rührt aber daher, daß sowohl die Zwergstrauchformation wie auch das Sphagnetum über dem Urboden eine neue Decke gebildet haben, die nun allein für das Zustandekommen der Bodenreaktion maßgebend ist. Bei den meisten Mineralböden werden aber die Verhältnisse so liegen, daß letzten Endes die mineralische Zusammensetzung des Bodens für dessen Reaktion ausschlaggebend ist. Diese stellt aber nur einen der für die Ansiedlung der Pflanzen wichtigen Faktoren dar, der aber nicht konstant ist, sondern infolge von Einwirkung äußerer Umstände (Feuchtigkeit, Durchlüftung, Kohlensäure u. a. m.) dauernden Schwankungen unterworfen ist, die um so größer sein werden, je weniger der Boden gepuffert ist.

Bei Besprechung der Bodenreaktion und ihrer Bedeutung für die Verteilung der Gewächse seien von wichtigen Arbeiten auf diesem Gebiete vor allem noch die von C. Olsen (32) und F. Chodat (14) erwähnt. Olsen hat in ausgedehnten Landstrichen Dänemarks den ph-Wert des Bodens untersucht und dabei weitgehende Übereinstimmung zwischen Bodenreaktion und Pflanzenwuchs festgestellt. Chodat hat derartige Untersuchungen in der Nähe des Genfer Sees vorgenommen und gibt für zahlreiche Arten den ph-Bereich des Bodens an, innerhalb dessen sie vorkamen. So fand er z. B. Sphagnum auf saurem Boden. Das ist eine Tatsache, die ich auch selbst immer bestätigt gefunden habe. Besonders auffallend war das im Walde südwestlich von Bergisch-Gladbach. Bei Wassertümpeln, die nur wenige Schritte auseinander lagen, enthielten die einen Sphagnum; deren Wasser zeigte mit Bromthymolblau Gelbfärbung, sie waren also sauer. Das Wasser von anderen Tümpel, die kein Sphagnum enthielten, färbte dagegen den genannten Indikator blau, sie waren also zum wenigsten schwach-alkalisch. Dieser Befund kann ja auch nicht wunder nehmen, nachdem u. a. Paul (33) und Mevius (28, 29) gezeigt haben, daß Sphagnum gegen Alkalien besonders empfindlich ist. Zusammenfassend kann man über die ökologische Bedeutung der Bodenreaktion sagen, daß sie sicher ein für die Ansiedlung von Pflanzen wichtiger Faktor ist, wie weitgehend ihre Bedeutung aber ist, darüber gestatten die vorliegenden Untersuchungen noch kein klares Bild.

Welcher Art sind nun aber die Einflüsse der Bodenreaktion oder besser der H- und OH-Ionen auf die Pflanze? Wir müssen dabei zwei verschiedene Möglichkeiten ins Auge fassen: eine direkte und eine indirekte Wirkung. Bei der direkten muß man zunächst daran denken, daß die Löslichkeit der

Pflanzeneiweißstoffe stark von der Reaktion des Lösungsmittels abhängig ist, worauf auch Chodat (14) hinweist. Da die Eiweiße Ampholyte sind, so haben sie einen isoelektrischen Punkt, an dem sie besonders leicht ausflocken. Nun liegen die isoelektrischen Punkte vieler untersuchter Eiweißverbindungen zwischen  $\text{ph}$  4 und 5. Bringen wir nun eine Pflanze in eine Lösung von dieser H-Ionenkonzentration, so könnten die H-Ionen auf die Eiweiße des Plasmas derart wirken, daß sie diese ausfällen. Danach müßte der Tod oder wenigstens eine schwere Schädigung der Pflanze eintreten, wenn man sie in H-Ionenkonzentrationen bringt, durch die der isoelektrische Punkt ihrer Eiweißverbindungen erreicht wird. Untersuchungen in dieser Richtung fehlen noch fast gänzlich. Eine Arbeit von Addoms (1) mag hier erwähnt werden, die vielleicht für die von Chodat geäußerte Auffassung zu sprechen scheint. Bei Dunkelfeldbeleuchtung untersuchte er die Wurzelhaare von Weizenkeimlingen. Bei  $\text{ph}$  3,9—4 war das Plasma noch normal, bei  $\text{ph}$  3,85—3,68 trat Vakuolenbildung auf; bei  $\text{ph}$  3,6 sah Addoms Koagulation und bei  $\text{ph}$  3,47 starke Koagulation. Diese Ergebnisse machen vielleicht auch die Angaben anderer Autoren (6, 13) verständlich, die zwischen 3,5 und 4 die Grenze für das Wachstum zahlreicher Kulturgewächse fanden. In eigenen Beobachtungen habe ich das bestätigt gefunden. Maispflanzen zeigten in Nährlösung mit dem  $\text{ph}$ -Wert 3,4—4 nur geringes Wurzelwachstum. (Vgl. später Tabelle 2.) Dieses wurde erst wieder üppiger, nachdem die Pflanze den  $\text{ph}$ -Wert der Nährlösung bis auf über 4 verschoben hatte.

Hier sollen weiter noch einige Versuche von Arrhenius<sup>1)</sup> erwähnt werden, in denen er feststellte, daß bei Wasserkulturen mit Weizen und Rettich in Lösungen mit verschiedenen H-Ionenkonzentrationen das Maximum für das Wachstum mit dem Minimum für die Salzaufnahme zusammenfällt. Auf Grund dieser Tatsache und an Hand eigener Versuche mit Sphagnum kommt Mevius (29) zu der Auffassung, daß die Schädigung von Pflanzen in Lösungen mit ungünstiger H-Ionenkonzentration keine direkte Wirkung der H- und OH-Ionen ist. Diese sollen vielmehr die Permeabilität der Plasmaschicht erhöhen, wodurch eine Ueberschwemmung des Protoplasten mit anderen in der Lösung befindlichen Ionen herbeigeführt wird.

Chodat faßt weiterhin die Möglichkeit ins Auge, daß die Reaktion des Substrates die Reaktion des Zellinneren beeinflussen könnte. Hierbei wäre die Wasserstoffionenkonzentration für die in der Zelle sich abspielenden Enzymvorgänge von größter Bedeutung, eine Möglichkeit, die auch Atkins (8) in Erwägung zieht. Nun fand aber Arrhenius<sup>2)</sup> durch Messungen an lebenden Zellen, daß  $\text{ph}$  des Zellsaftes im weitesten Maße von der Reaktion des Mediums unabhängig ist. Dieser Befund

<sup>1)</sup> vgl. Journ. gen. phys. 1922. 5, 81.

<sup>2)</sup> Zitiert bei Mevius (29).

spricht aber gegen eine Beeinflussung der Enzymvorgänge in den Zellen durch die Reaktion des Substrates, wenigstens soweit sie sich im Zellsaft abspielen. Wie weit andererseits die Reaktion des Plasmas durch die des Mediums verändert werden kann, darüber wissen wir leider noch nichts Bestimmtes.

Außer einer direkten Beeinflussung der Pflanze durch die Bodenreaktion kommt alsdann noch eine indirekte in Frage. Dabei muß man in erster Linie an die Löslichkeitsverhältnisse der Salze im Substrat denken. So finden sich in der neueren Literatur eine Fülle von Angaben über die Abhängigkeit der Löslichkeit der Mineralien vom pH-Wert der Lösung. Hier ist wieder vor allem die Löslichkeit des Eisens und dessen Aufnahme bei verschiedenen H-Ionenkonzentrationen geprüft worden. Diese eingehenden Untersuchungen über die Eisenaufnahme sind deshalb vorgenommen worden, weil bei Nährlösungsversuchen gerade das Aussuchen der Eisenquelle die größte Schwierigkeit bereitet. Denn die Eisensalze werden gewöhnlich durch die ebenfalls in der Lösung befindlichen Phosphate gefällt. Wenn man Wasserkulturen in einer der bekannten Nährlösungen ansetzt, so sieht man in der Regel im Anfang die Pflanzen gut gedeihen. Es bilden sich mehrere wohlentwickelte Blätter. Nach 3—4 Wochen macht man aber häufig die Beobachtung, daß die jetzt entstehenden Blätter chlorotisch sind. Das genaue Studium der Chlorose in Nährlösungen ist durch von der Crone (15) akut geworden, der im Jahre 1902 in einer Sitzung dieser Gesellschaft darüber berichtete, daß er in Nährlösungen, die Eisenphosphat neben anderen löslichen Phosphaten enthielten, Chlorose auftreten sah. Ein Hinzufügen von weiterem Eisen heilte diese nicht. Eingehende Versuche des Forschers (16), die hier Klarheit schaffen sollten, ergaben, daß bei Eisenphosphat als Eisenquelle keine Chlorose auftrat, wenn außer diesem auch die anderen Phosphate in Form unlöslicher Salze zugesetzt wurden. Von der Crone nahm daher an, daß die Chlorose durch die in

Tabelle 1.

## Verwandte Nährlösungen.

	gr pro Liter	
	v. d. Cronesche	modifizierte v. d. Cronesche
Magnesiumsulfat . . . . .	0,5	0,5
Kaliumnitrat . . . . .	1,0	1,0
Kaliummonophosphat . . . . .	—	0,33
Kaliumtriphosphat . . . . .	0,25	—
Kalksulfat . . . . .	0,5	0,5
Ferrophosphat . . . . .	0,25	0,25
Phosphorsäure (1 molig) . . . . .	—	1 ccm

der Lösung vorhanden gewesenen löslichen Phosphate verursacht worden sei. Er stellte eine neue Nährlösung zusammen, die nur unlösliche Phosphate enthielt und heute noch unter dem Namen von der Cronese Nährlösung im Gebrauch ist. (Vgl. Tabelle 1.) Benecke (11) zeigte später, daß die bei von der Crone erwähnte Chlorose dadurch verursacht worden war, daß die löslichen Phosphate die Löslichkeit der Eisensalze herabgesetzt hatten. Er sah Maispflanzen in der von der Cronese Nährlösung ebenfalls zur Chlorose neigen und beugte ihr durch Hinzufügen einiger Tropfen Salpetersäure vor. Die Ansicht Beneckes über die Verminderung der Eisenlöslichkeit ist zwar später angezweifelt worden (18), da Benecke bei seiner Versuchsanordnung auch kolloidales Eisen als echt gelöst habe finden müssen. Allerdings könnte man ja daran denken, daß die Pflanze das Eisen auch in kolloidaler Form aufzunehmen imstande ist<sup>1)</sup>.

Detmer (17) berichtet, daß sein Schüler Schleichert mit der von der Cronese Nährlösung die besten Ergebnisse erzielt habe. Appel (2) hat in von der Cronese Nährlösung Maispflanzen züchten können, die während des ganzen Wachstums dunkelgrüne Blätter zeigten und reife Kolben mit keimungsfähigen Samen ergaben.

Ich habe selbst in von der Cronese Nährlösung häufig Chlorose auftreten sehen und bin der Frage nach deren Ursachen nachgegangen. Zahlreiche Arbeiten der neueren Zeit (u. a. 10, 18, 20, 21, 22) hatten erwiesen, daß ein direkter Zusammenhang besteht zwischen Reaktion der Nährlösung, Löslichkeit des verwandten Eisensalzes und Auftreten von Chlorose. Tottigham und Rankin (41) machten genaue Messungen über die Abhängigkeit der Eisenlöslichkeit von  $pH$  ihrer Nährlösungen. Es ergab sich, daß höhere H-Ionenkonzentration die Löslichkeit gewisser Eisensalze bedeutend erhöht. Knop (25) hatte gute Erfahrungen damit gemacht, wenn er zur Vermeidung der Chlorose der Nährlösung Phosphorsäure zusetzte. Ich nahm daher Versuche vor, bei denen ich die von der Cronese Nährlösung ebenfalls mit Phosphorsäure ansäuerte, weil ich mir davon eine Erhöhung der Eisenlöslichkeit versprach. Daß diese tatsächlich durch Zusatz von Phosphorsäure bei der von der Cronese Nährlösung einzutreten scheint, kann man mit der von Benecke (11) benutzten Methode nachweisen. Wie weit es sich auch hier um kolloidal gelöstes Eisen handelt und wie weit dieses bei der Pflanze das echt gelöste ersetzen kann, muß dahin gestellt bleiben. Außer dem Zusatz der Phosphorsäure nahm ich noch eine weitere Aenderung an der von der Cronese Nährlösung vor. (Vgl. Tabelle 1.) Ich benutzte nämlich an Stelle des tertiären Calciumphosphat das primäre

1) Die Versuche von Gile P. S. und Carrero J. O. Journ. agr. res. 3, 205 scheinen mir nicht dagegen zu sprechen, da die Wachstumsunterschiede in den Versuchen auch durch verschiedene H-Ionenkonzentration hervorgerufen worden sein können.

Natriumphosphat. Durch den Zusatz der Phosphorsäure wäre das erstere ohne dies in das primäre Salz verwandelt worden. Dadurch wäre eine unverhältnismäßig starke Erhöhung der Calciumionen eingetreten, während so nur eine geringe Erhöhung der K-Ionen eintrat. Ich brachte nun 5 Maispflanzen in diese modifizierte von der Cronesehen Nährlösung. Außerdem wurden 2 Kontrollpflanzen in einfacher von der Cronesehen Nährlösung angesetzt. (Vgl. Tabelle 2.)

Tabelle 2.

angesetzt am 25. 4. Datum	1—5 modifizierte v. d. Cronesehe Nährlösung Versuch-Nummer					6 und 7 v. d. Cronesehe Nährlösung Versuch-Nummer	
	1	2	3	4	5	6	7
26. 4. ph	Versuche 1—5 3,4					6 u. 7 6,5	
29. 6. ph	dgl.					dgl.	
3. 5. ph	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	6,85	6,5
	Wurzelwachstum beim Eintritt in die Nährlösung bedeutend verringert.					Wurzelbildung reichlich	
12. 5. ph	4,0	3,96	3,96	3,85	3,85	6,85	6,85
	Zahlreiche verzweigte Haupt- und Nebenwurzeln, Wurzelbildung reichlicher, aber noch nicht so üppig wie bei 6 und 7.					Üppiges Wurzelwachstum, Sproß stärker entwickelt als bei 1—5, aber stark chlorotisch	
13. 5.						25 mg Eisencitrat zuge- setzt	1 ccm molige Phosphorsäure zuge- setzt. Ph. nachher 5,5
20. 5. ph	4,2	4,2	3,9	4,0	4,0	6,8 chlorotisch, nochmals 25 mg Eisencitrat zuge- setzt	6,6
4. 6. ph	5,5	6,5	6,4	5,9	6,1	6,6 chlorotisch	6,5
	Sprosse und Wurzeln üppiger wie bei 6 und 7.						

Nach 2 Wochen waren die Pflanzen in der von der Cronesehen Nährlösung vollkommen verblaßt, während die anderen 5 Pflanzen in der modifizierten Lösung dunkelgrüne Blätter aufwiesen. Es wurde nun zu der in einer von der Cronesehen Nährlösung stehenden Pflanze N. 6 25 mg Eisencitrat hinzugefügt, das ja nach Tottigham

und Rankin (41) besonders leicht löslich ist. Ph der Nährlösung änderte sich durch diesen Zusatz nicht, aber am 20. 6. trat wieder Chlorose ein. Eine abermalige Zugabe von 25 mg Eisencitrat heilte diese wieder vorübergehend. Zu der Maispflanze N. 7, die in von der Cronaschen Nährlösung stand, wurde am 13. 5. 1 ccm molige Phosphorsäure zugesetzt, wodurch der ph-Wert von 6,85 auf 5,35 gebracht wurde. Am 14. 5. begann die Pflanze zu ergrünen und blieb grün bis zum Ende des Versuches. Wie schon erwähnt, blieben die in der modifizierten Nährlösung stehenden Pflanzen während des ganzen Wachstums grün. Ich habe bis zur Blüte der Pflanzen keine Nährlösung nachgefüllt, sondern die fehlende Flüssigkeit nur mit destilliertem Wasser ergänzt, um die ph-Werte besser beobachten zu können. Auf diese komme ich an einer anderen Stelle nochmals zurück. Nach dem Aufblühen habe ich die Versuche alsdann abgebrochen. Die in der sauren modifizierten Nährlösung stehenden Pflanzen waren am Ende des Versuches etwa doppelt so stark entwickelt wie die in der neutralen von der Cronaschen gewachsenen. Diese hatten durch die Chlorose stark gelitten und wären wohl ganz zugrunde gegangen, wenn nicht die Gabe Eisen bzw. Säure zugefügt worden wäre. Meine Befunde, daß die saure Nährlösung der fast neutralen vorzuziehen ist, stehen im Gegensatz zu den Ansichten von Toole und Tottigham (40). Diese Autoren fanden nämlich, daß bei Gerste und Bohnen der Ertrag in Nährlösungen anstieg, wenn man zu der sauren Knopschen Nährlösung Eisenhydroxyd zusetzte. Sie suchten die Wirkung des Zusatzes in der Neutralisation der Nährlösung, die ihrerseits die Wachstumsförderung hervorgerufen haben soll.

Ich möchte nun noch die Frage aufwerfen, wie es kommt, daß die Resultate mit ein und derselben Nährlösung bei den einzelnen Forschern so verschieden sind. Zur Erklärung kann man 3 Möglichkeiten ins Auge fassen. 1. Der Eisengehalt des Samens kann großen Schwankungen unterworfen sein. Es ist ja zur Genüge bekannt, daß der Aschengehalt von Pflanzen und Pflanzenteilen sehr verschieden ist, je nach der Beschaffenheit des Bodens, auf dem die Pflanze wächst (vgl. z. B. für Calcium bei Schimper (38) S. 110). 2. Der Eisengehalt der verwendeten Salze kann eine große Rolle spielen. So fand Ruhland (36) in den „reinsten“ noch genügend Eisen, um seine Wasserstoffbakterien darin züchten zu können. 3. Der Kohlendioxydgehalt des Wassers kann verschieden groß gewesen sein, was für die Löslichkeit der Eisensalze von Bedeutung ist, wie ja schon Benecke (11) gezeigt hat. Denkt man sich nun alle diese Faktoren einmal in dem für die Eisenaufnahme günstigem Sinne, das andere Mal im ungünstigen Sinne verschoben, so lassen sich die verschiedenen Ergebnisse mit der von der Cronaschen Nährlösung vielleicht erklären. Im übrigen dürfte die von der Cronaschen Nährlösung sehr an Bedeutung verloren haben, seit man weiß, daß die neutrale Reaktion bei vielen Pflanzen nicht die optimale ist und daß

die Löslichkeit der Eisensalze meistens bei Vermehrung der H-Ionen zunimmt.

Auf der alkalischen Seite liegen die Verhältnisse für die Eisenlöslichkeit noch viel ungünstiger. Denn hier ist alles Eisen als Hydroxyd gefällt. Daß die OH-Ionen wirklich durch Ausfällen des Eisens aus der Nährlösung wirken, zeigen Versuche von Gile und Carrero (18). In Nährlösungsversuchen gedieh Reis bei alkalischer Reaktion gut, wenn man nur nebenbei Eisenweinstein, ein in Gegenwart von OH-Ionen beständiges Eisenkomplexsalz, als Eisenquelle bot. Die OH-Ionen wirkten hier also nicht als solche, sondern nur durch Ausfällung der Eisensalze.

Die Bedeutung der Bodenreaktion bei der Eisenaufnahme der Pflanze ergibt sich weiter aus dem Zustandekommen der Blütenfarbe der Hortensie. Atkins (9) konnte zeigen, daß in der Regel die rotblühenden Exemplare auf alkalischem Boden vorkommen, die blaublühenden dagegen auf saurem Boden wachsen. Bei der Analyse der Asche der blauen Blüten ergaben sich 140 pro Million Eisen, bei den roten dagegen nur 60 pro Million. Wenn also die Bodenreaktion günstig ist, so wird viel Eisen aufgenommen, die Blüten werden blau; ist die Reaktion ungünstig, so ist die Eisenaufnahme gering, die Blüten werden rot. Die alte Gärtnerpraxis, Eisennägel in die Hortensientöpfe zu legen, um blaue Blüten zu erzeugen, hat damit auch ihre exakte wissenschaftliche Erklärung gefunden. Danach müßte man auch bei Ansäuerung der Erde (wodurch ja die Eisenlöslichkeit in der Erde erhöht wird) blaue Hortensienblüten erhalten können. Ob solche Versuche schon ausgeführt worden sind, ist mir nicht bekannt, doch ist es eine alte Gärtnererfahrung, daß Hortensien auf gewissen Moorböden blau blühen, was wahrscheinlich auch als eine Folge der sauren Reaktion dieser Böden zu betrachten ist. Vielleicht wirkt auch der Zusatz von Aluminiumsalzen, mit dem Molisch (31) bei roten Hortensienblüten Blaufärbung erzielte, nur durch Ansäuerung des Substrates.

Die erwähnten Versuche haben wohl zur Genüge gezeigt, wie sehr die Löslichkeit der Eisensalze von der Bodenreaktion abhängig ist. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei zahlreichen anderen Mineralien, z. B. bei den Phosphaten, doch soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

Weiter ist die Bodenreaktion von größter Bedeutung für das Leben der Mikroorganismen. Diese bevorzugen nämlich wie die höheren Pflanzen eine bestimmte H-Ionenkonzentration. So sind u. a. für Azotobakter chroococcum zahlreiche Untersuchungen angestellt worden. Dieser Organismus, der deshalb so wichtig ist, weil er den Stickstoff der Luft zu assimilieren vermag, hat sein Optimum zwischen pH 6 und 7. Fehlt er im Boden, so bedeutet das für diesen eine Verarmung an Stickstoff. Damit wird auch das Leben der höheren Pflanzen immer schwieriger. Wir haben also hier neben einer direkten Wirkung der Bodenreaktion auf die niedrigen Pflanzen zugleich eine indirekte auf die höheren. Nun weiß man aber, daß außer Azotobakter noch zahlreiche andere Mikroorganismen für das

Leben der höheren Pflanzen von Bedeutung sind. Neuerdings konnten Stoklasa und seine Mitarbeiter (39) zeigen, daß in Kulturen mit gemahlenem Basalt, Gneis, Gipsphosphat und mit Phonolith bei Halbfrüchten die Ernte gesteigert war, wenn die Kulturen mit Bakterien der Rhizosphären dieser Organismen im Freiland geimpft werden. Daher läßt sich allgemein sagen: Wenn die Reaktion des Bodens für die Mikroorganismen ungünstig ist und diese fehlen, so leiden auch wieder die höheren Pflanzen darunter.

Es bleibt noch zu erwähnen, daß die Bodenreaktion das Auftreten von Pflanzenkrankheiten günstig oder ungünstig beeinflussen kann. Hopkins (19) fand, daß Weizenschorf bei den Pflanzen am wenigsten auftrat, die auf Boden mit  $\text{pH}$  5,5—6 wuchsen. Eine interessante Feststellung will neuerdings Arrhenius (5) gemacht haben. Rostunempfindliche Weizensorten sollen nämlich mehr H-Ionen im Zellsaft haben als die anderen.

## II.

Nachdem wir gehört haben, wie die Bodenreaktion das Pflanzenwachstum beeinflusst, komme ich zur zweiten Frage: Wie beeinflusst die Pflanze die Bodenreaktion? Auch über diese Frage finden sich in der neueren Literatur zahlreiche Arbeiten. Bei den von mir ausgeführten Versuchen (Tabelle 2) sahen wir schon, daß in Wasserkulturen der  $\text{pH}$ -Wert durch die Versuchspflanze verschoben werden kann. Es fragt sich nun, wodurch das veranlaßt wird. Man könnte ja zunächst daran denken, daß die Pflanze aus ihren Wurzeln einen Stoff ausschiede, hier also einen alkalisch reagierenden. Das ist aber nicht der Fall, wie man durch Analysen der Versuchsflüssigkeit vor und nach dem Versuch zeigen kann. Vielmehr ist für die Verschiebung die elektive Auswahl der verschiedenen Ionen bei der Aufnahme das Entscheidende. Bietet man den Pflanzen zum Beispiel den Stickstoff als  $\text{NO}_3$ , wie in den Versuchen (Tabelle 2), so wird  $\text{pH}$  der Lösung zum Neutralitätspunkt hin verschoben. Das Anion  $\text{NO}_3$  wird von der Pflanze schneller aufgenommen als das zugehörige Kation  $\text{K}$ . Dieses bleibt übrig und verbindet sich mit der Kohlensäure zum Karbonat, wobei auch die Ionen des Wassers beteiligt sind. Dadurch wird die Nährlösung natürlich alkalischer. Diese Tatsache ist von zahlreichen Forschern (u. a. 20, 21, 22, 35, 43) in der neueren Zeit bestätigt worden. Nun ist auch verständlich, daß die Pflanzen in Wasserkulturen nach einer gewissen Zeit so leicht zu Chlorose neigen. Wird nämlich  $\text{pH}$  zum Neutralitätspunkt hin verschoben, so nimmt damit die Löslichkeit des Eisensalzes ab, und bald leidet die Pflanze an Eisenmangel. Das umgekehrte geht vor, wenn wir der Pflanze als Stickstoffquelle Ammoniumsalze bieten. Jetzt muß das Substrat durch die fortwährend  $\text{NH}_4$  Aufnahme sauer werden, und bald wird die Pflanze durch die entstandene Säure geschädigt (vgl. u. a. 10, 12, 20, 21, 22, 35). Die

Richtigkeit dieser Ueberlegung beweisen u. a. auch Versuche von Willis und Carrero (43). Düngten sie Reis auf Kalkboden mit Natrium- und Calciumnitrat, so trat Chlorose, auf, bei Düngung mit Ammoniumnitrat wurde diese dagegen nicht beobachtet. Ueberhaupt neigt Reis auf alkalischem Boden leicht zu Chlorose, alles wieder eine Folge der Eisenlöslichkeit und deren Abhängigkeit von  $\text{ph}$  des Bodens.

Die Abhängigkeit der Bodenreaktion von der Art des Stickstoffdüngers zeigt sich auch bei unseren Kulturböden. Düngt man diese nämlich fortwährend mit „physiologisch sauren“ Ammoniumsalzen, ohne Kalk zuzugeben, so tritt bald Sauerwerden der Böden ein. Insbesondere die Untersuchungen Kappens (u. a. 23) gewähren uns einen tieferen Einblick in dieses wichtige Gebiet der Agrikulturforschung.

Somit haben wir in der elektiven Auswahl der Ionen das erste Mittel kennen gelernt, das es der Pflanze ermöglicht, die H-Ionenkonzentration ihres Substrates zu verschieben. In zweiter Linie könnte man, wie gesagt, an Ausscheiden von Alkalien und Säuren durch die Pflanzen denken. Was das Ausscheiden von Säuren angeht, so ist es eine stark umstrittene Frage, ob die höheren Pflanzen aus ihren Wurzeln andere Säuren als Kohlensäure auszuschcheiden vermögen. Einige Forscher denken an Säuren, die durch Absterben der Wurzelhaare frei werden. Wie Stoklasa und seine Mitarbeiter (39) neuerdings nachweisen konnten, haben die Zellsäfte der von ihnen untersuchten Kulturpflanzen Mais, Gerste, Roggen, Hafer und andere aber nur einen  $\text{ph}$ -Wert von 6—7, während frühere Autoren viel höhere Konzentrationen fanden. Solche Säuremengen sind aber so gering, daß ihre Ausscheidung in den Boden kaum bemerkbar wäre. Dafür daß die höheren Pflanzen weiterhin aktiv organische Säuren ausscheiden, scheinen noch keine sicheren Beweise vorzuliegen. Jedenfalls dürften die meisten Autoren, so auch Stoklasa und seine Mitarbeiter der Ansicht zuneigen, daß von den höheren Pflanzen aktiv nur Kohlensäure abgegeben wird.

Ganz anders ist es mit der Säureausscheidung der Mikroorganismen und einiger anderer niederer Pflanzen. Wenn z. B. aus Alkohol Essigsäure entsteht, so muß damit natürlich eine Ansäuerung des Bodens einhergehen. Hier müssen auch die Flechten erwähnt werden, die ja durch die von ihnen gebildeten Säuren befähigt sind, an Stellen zu wachsen, auf denen andere Pflanzen nicht leben können. Kurz hinweisen möchte ich noch auf die Ansäuerung des Bodens durch die bei der Zersetzung toter Pflanzensubstanz entstehenden Humusstoffe. Wie weit die Mikroorganismen bei deren Bildung mitspielen, läßt sich noch nicht genau übersehen.

Scheiden die Pflanzen nun auch alkalische Stoffe aus? Prianičnikow (34) will beobachtet haben, daß die Lupine eine geringprozentige Schwefelsäurelösung durch Abgabe von Ammoniak zu neutralisieren vermöge. Diese Angaben werden neuerdings von Krull (26) für Erbsen bestätigt. Das Ammoniak wurde nach zehntägiger Kultur mit Neßlers Reagens nachgewiesen. Krull will sogar festgestellt haben, daß Lösungen mit mehr

Schwefelsäure auch eine stärkere Reaktion mit Neßlers Reagens ergeben hätten. Wir müssen abwarten, ob diese Angaben sich für andere Pflanzen bestätigen.

Ganz anders und verhältnismäßig einfacher zu übersehen sind die Verhältnisse bei den grünen Wasserpflanzen. Hier sind es vor allem 2 physiologische Vorgänge, die die Reaktion des Wassers beeinflussen: die Kohlensäureassimilation und die Atmung. Wir wollen nur den Fall betrachten, daß das Wasser Kalziumkarbonat enthält. Dieses ist in reinem Wasser sehr schwer löslich. Gegen 130 mg lösen sich davon in 1 Liter Wasser. Ueber den ph-Wert einer solchen reinen Kalziumkarbonatlösung habe ich keine genauen Daten in der Literatur finden können. Ruttner (37) gibt an, daß eine solche Lösung Phenolphthaleinlösung schwach rot färbe. Das würde einem ph-Wert entsprechen, der zwischen 8,0—8,5 läge. Ich habe selbst den ph-Wert einer Kalziumkarbonatlösung bestimmt, indem ich durch eine Kalziumbikarbonatlösung in einem eigens dafür zusammengestellten Apparat kohlenstofffreie Luft mehrere Stunden lang durchleitete. An dem Apparat war eine Vorrichtung angebracht, die es gestattete, jederzeit den ph-Wert der Lösung zu messen, ohne daß diese mit der Luft in Berührung kam. Die Messung fand auf elektrometrischem Wege mit der Gaskette statt. Ich erhielt dabei für die gesättigte Kalziumkarbonatlösung Werte bis ph. 8,8. Aktins hält 9 für den höchsten ph-Wert einer reinen Kalziumkarbonatlösung. Dabei würde Phenolphthalein deutliche Rotfärbung zeigen. Danach scheinen mir die Angaben Ruttners (37), daß Elodea aus Kalziumkarbonat Kalziumhydroxyd zu bilden imstande sei, was er ja zum Teil aus dem Auftreten der deutlichen Rotfärbung in der mit Phenolphthalein versetzten Kulturflüssigkeit schließt, noch nicht ganz überzeugend zu sein. Auch wäre es empfehlenswert, einmal eine Messung der Leitfähigkeit einer Kalziumkarbonatlösung, durch die kohlenstofffreie Luft bis zur Konstanz der Leitfähigkeit geleitet worden ist, unter Ausschluß der Luft durchzuführen. Mir stand die Apparatur dazu nicht zur Verfügung. Ruttner gibt zwar an einer Stelle (S. 102) an, daß er durch Wasser aus dem Lunzer See 18 Stunden kohlenstofffreie Luft geleitet habe. Die danach gemessene Leitfähigkeit habe aber die unter dem Einfluß der Wasserpflanzen beobachteten Werte nie erreicht. Leider gibt er nicht an, ob dabei der Zutritt der Luft ausgeschaltet war<sup>1)</sup>.

Wie erwähnt, war der höchste ph-Wert einer Kalziumkarbonatlösung, durch die bis zur Konstanz von ph kohlenstofffreie Luft durchgeleitet worden war, etwa 9,0. Leitet man in eine solche reine Karbonatlösung Kohlensäure ein, so fällt ph allmählich und man bekommt Werte, die unter ph 5 liegen können. Läßt man diese Lösung dann wieder längere Zeit an der Luft stehen, so steigt ph langsam an. Dabei wird nach meinen Versuchen

---

1) Vgl. dazu den Nachtrag am Ende der Arbeit.

bei 18° ein ph-Wert erreicht werden, bei dem Phenolphthalein eben eine Spur Färbung zeigt, also etwa 8,0. Die widersprechenden Angaben Ruttners (S. 80) sind vielleicht darauf zurückzuführen, daß seine Lösungen nicht lang genug gestanden hatten. Auch spielt dabei die Temperatur eine große Rolle.

Wird nun in einem Wasser, das Kalziumbikarbonat enthält, assimiliert, so nimmt die Pflanze zuerst die als Gas vorhandene Kohlensäure auf. Dafür zerfällt wieder ein Teil des Bikarbonates in Kohlensäure und Karbonat. Das Wasser wird alkalischer. Die Gewässer werden also durch die Assimilation der Pflanzen alkalischer. Ich habe die Sache hier aus dem Grunde noch einmal so eingehend behandelt, weil neuerdings C. Lehmann (27) nicht ganz richtig angibt, die Assimilation verringere gerade die Alkalität.

Was geschieht nun, wenn die Pflanze atmet? Jetzt geht durch die von der Pflanze ausgeschiedene Kohlensäure Kalziumpikarbonat in Bikarbonat über, die Gewässer werden sauer, wie ja auch Ruttner durch Leitfähigkeitsmessungen zeigen konnte. Uhlela (42) macht andere Angaben. Durch die bei der Atmung freiwerdende Kohlensäure gehe Kalziumpikarbonat unter Bildung von Bikarbonat in Lösung. Dieses solle durch die nunmehr freiwerdenden OH-Ionen ph erhöhen. Das wäre aber nur dann richtig, wenn eine Kalziumpikarbonatlösung reichlich OH-Ionen abspaltete, worüber aber bisher meines Wissens noch keine Untersuchungen vorliegen. Außerdem könnte es nur dann gelten, wenn der Pflanze wirklich ungelöstes Karbonat zur Verfügung wäre. Ist das aber nicht der Fall, so wird sich die freiwerdende Kohlensäure mit dem schon in Lösung befindlichen Karbonat zu Bikarbonat verbinden und dadurch ph herabdrücken.

Daß Atmung den ph-Wert des Mediums unter Umständen verringert, ist auch wichtig für die Veränderung der Bodenreaktion, z. B. während einer Wachstumsperiode. Systematische Freilandversuche sind in dieser Richtung noch wenig gemacht worden, so z. B. von Kelly (24). Ich habe nun während des letzten Sommers laufend die Reaktionsveränderungen auf einem Haferfelde gemessen<sup>1)</sup>. Es war ein lehmiger Humusboden; das Jahr zuvor war das etwa 10 ar große Versuchsstück mit Weißklee bepflanzt gewesen und nicht gedüngt worden. Auch während meiner Versuche unterblieb natürlich jede Düngung. Von dem Stück wurden nun anfangs alle 3 Wochen, später alle 5 Wochen Proben entnommen. Diese wurden ziemlich nahe an der Wurzel etwa 10—20 cm unter der Oberfläche mit einem kleinen Spaten geschöpft und in einer Aufschwemmung davon ph bestimmt, und zwar nach der Methode von Michaelis mit Indikatoren ohne Puffer. Eine Einrichtung zur ph-Bestimmung auf elektrometrischem Wege stand mir zu diesen Versuchen noch nicht zur Verfügung.

1) Dem Eigentümer, Herrn Gutsbesitzer Broicher, möchte ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank für sein Entgegenkommen aussprechen.

Bei der ersten Probe habe ich auch die Pufferfähigkeit des Bodens bestimmt. Diese soll nach Arrhenius (46) von größter Bedeutung für die Fruchtbarkeit des Bodens sein; er stellt sogar an Hand seiner Untersuchungen den Satz auf: Je fruchtbarer ein Boden, desto größer seine Pufferfähigkeit. Meine Versuche, auch in diesem Falle die Pufferung des Bodens zu bestimmen, waren aber deshalb so schwierig, weil es mir nicht gelang, die Aufschwemmung, der Natronlauge zugesetzt worden war, so klar zu filtrieren, daß größere Fehler bei der H-Ionenbestimmung mit Indikatoren ausgeschlossen wurden. Auch ließen die Ergebnisse bei den beiden ersten Probenentnahmen soviel erkennen, daß große Schwankungen nicht zu erwarten waren. Ich habe solche Versuche deshalb später nicht mehr wiederholt. Die Ergebnisse der ph-Messungen während des Sommers sind nun folgende:

Tabelle 3.

Datum	ph-Wert	Bemerkungen
23. 3.	7,7	Boden gefroren
14. 4.	7,7	dgl.
4. 5.	7,3	—
2. 6.	7,3	—
6. 7.	7,3	—
18. 8.	7,1	kurz nach der Ernte

Die Reaktion des Bodens ging langsam dem Neutralitätspunkt zu, um ihn am Ende des Versuches zu erreichen. Die Abnahme der Alkalität ließ sich, wenn sie nur durch das Wachstum der Pflanzen verursacht worden wäre, leicht dadurch erklären, daß einmal die Pflanzenwurzeln bei der Atmung Kohlensäure ausgeschieden hätten, durch die, wie wir hörten, die Reaktion nach der sauren Seite hin verschoben worden wäre. Weiter käme eine Kalkaufnahme durch die Pflanze in Frage, die wohl auch die alkalische Reaktion des Bodens herabdrücken könnte. Ich habe die Versuche nun in der Hauptsache deswegen hier erwähnt, um auf die Schwierigkeiten und das Unlohnende solcher Messungen hinzuweisen. Bei der gemessenen Verschiebung des ph-Wertes ist es ja unmöglich zu übersehen, welchen Anteil die Pflanze, in diesem Falle der Hafer, welchen Anteil die Mikroflora und welchen die Verwitterung des Bodens und andere äußere Faktoren an dieser Verschiebung haben. Der verhältnismäßig hohe ph-Wert beim gefrorenen Boden kann ja mit einer verhältnismäßig geringen Atmung der Mikroflora zusammenhängen. Vielleicht verwehrt auch die obere, gefrorene Kruste der Luftkohlensäure den Zutritt und verhinderte so die Bildung des Bikarbonates. Wollte man also feststellen, wie groß der Anteil des Hafers an der Verschiebung von ph ist, und das wäre

gerade von größter theoretischer und praktischer Bedeutung, so müßte man zugleich die Atmung der Mikroflora und alle durch äußere Faktoren bedingte Veränderungen des Bodens feststellen, wofür ich allerdings zur Stunde noch keinen gangbaren Weg sehe. Aus den oben erwähnten Gründen kommt den Versuchen von Kelley (24) auch nur eine orientierende Bedeutung zu.

Zum Schluß möchte ich noch einige Worte über den Wert der verschiedenen Methoden sagen, mit denen bei den eben besprochenen Versuchen gearbeitet worden ist. Was die Wasserkulturen angeht, so sind sie meiner Meinung nach wichtig zur Ermittlung der für die Pflanzen notwendigen Aschensubstanzen. Zum Studium des Einflusses der Wasserstoffionen auf die Pflanze scheinen sie mir aber deshalb weniger geeignet zu sein, weil die Verhältnisse an der Wurzel hier ganz anders liegen wie am Standort. So bilden viele Pflanzen im Wasser keine Wurzelhaare aus, und gerade diese sind ja für die Stoffaufnahme von so großer Bedeutung. Dann ist am Standort die Menge der die Wurzel umgebenden Flüssigkeit viel geringer. Die Pflanze vermag also hier der Reaktion viel schneller zu ändern. Es kann hier also eine Förderung oder Schädigung der Pflanze eintreten, zu der es in Wasserversuchen nie kommt. Wenn die Pflanze es in Nährlösung z. B. nicht vermag, gewisse unlösliche Eisenverbindungen aufzunehmen, so liegen die Verhältnisse im Boden anders, weil hier insbesondere die bei der Atmung frei werdende Kohlensäure auf einen viel kleineren Raum hin wirksam ist. Dadurch kann ph leichter nach der sauren Seite hin verschoben und damit die Löslichkeit zahlreicher Salze und Mineralien erhöht worden. Besser als die Wasserkulturen sind die Quarzsandversuche oder Versuche in Töpfen mit Freilanderde. Das Ideal sind und bleiben Versuche am Standort; aber gerade hier sind, wie gesagt, die zu überwindenden Schwierigkeiten überaus groß. Mag also auch die Arbeit der letzten Jahre viel grundlegend Neues auf unserem Gebiete geschaffen haben, bei vielem stehen wir doch erst in den Anfängen einer neuen Arbeitsrichtung.

### Zitierte Literatur.

1. Addoms, R. M. The effect of the hydrogen ion on the protoplasm of the root hairs of wheat. Am. Journ. of Bot. 1923. 10, 211.
2. Appel, M. Ueber den Wert der von der Cronaschen Nährlösung. Zeitschr. f. Bot. 1918. 10, 145.
3. Arrhenius, O. Bodenreaktion und Pflanzenleben mit spezieller Berücksichtigung des Kalkbedarfs für die Pflanzenproduktion. Leipzig 1922.
4. — The potential acidity of soils. Soil sc. 1922. 14, 223.
5. — Untersuchungen über den Zusammenhang von Gelbrostresistenz und der aktuellen und potentiellen Azidität des Zellsaftes und der Gewebe. Zeitschr. f. Pflanzenk. 1924. 34, 97—101.

6. Arndt, H. Ch. The growth of field corn as affected by iron and aluminium salts. Am. Journ. of Bot. 1922. 9, 47.
7. Atkins, R. G. Some factors affecting the hydrogen ion concentration of the soil and its relation to plant distribution. Proc. R. Dublin. Soc. 1922. 16, 369.
8. — The hydrogen ion concentration of plant cells. Proc. R. Dublin. Soc. 1922. 16, 414.
9. — The hydrogen ion concentration of the soil in relation to the flower colour of *Hydrangea hortensis* W. and the availability of iron. Not. bot. school. Trinity Coll. Dublin 1924.
10. Barnette, R. M. and Shive, J. W. The influence of solution volume upon plant growth in relation to reaction change and iron availability in culture solution. Soil. sc. 1923. 15, 413.
11. Benecke, W. Die von der Cronese Nährsalzlösung. Zeitschr. f. Bot. 1909. 1, 235.
12. Bryan, O. C. Effect of reaction on growth, nodule formation and calcium content of Alfalfa, Alsike clover and Red clover. Soil. sc. 1923. 15, 23—29.
13. — The effect of different reactions on the growth and calcium content of oats and wheat. Soil. sc. 1923. 15, 375.
14. Chodat, F. La concentration en ions hydrogène du sol et son importance pour la constitution des formations végétales. Genf 1924.
15. Von der Crone, G. Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze. (Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. Nat. und Heilk., Bonn 1902.)
16. — Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze und eine neue Nährlösung. Diss. Bonn 1904.
17. Detmer, W. Das kleine pflanzenphysiologische Praktikum. Jena 1912. 4. Aufl.
18. Gile P. L. and Carrero I. O. Assimilation of iron by rice from certain nutrient solutions. Journ. of agric. res. 1916. 7. 503.
19. Hopkins, G. F. Hydrogen-ion concentration in its relation to wheat scab. Am. Journ. of Bot. 1922. 9, 159.
20. Jones, L. H. and Shive, J. W. Effect of ammonium sulfate upon plants in nutrient solutions supplied with ferric phosphate and ferrous sulfate as source of iron. Journ. agr. res 1921. 21, 701.
21. — Influence of ammonium sulphate on plant growth in nutrient solutions and iron availability Am. Journ. of Bot. 1923. 37, 355.
22. — Influence of ammonium sulphate on plant growth in nutrient solutions and its effect on hydrogen-ion concentration and iron availability. An. of Bot. 1923. 37, 355.

23. Kappen, H. Ueber Wesen und Bedeutung der Bodenazidität. Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung. Teil A. 3. Jahrg., Heft 4, S. 1.
24. Kelley, A. P. Soil acidity, an ecological factor. (Soil ac.) 1923. 16, 41.
25. Knop, W. Bereitung einer concentrirten Nährstofflösung für Pflanzen. Landw. Versuchsstation 1884. 30, 292.
26. Krull, Chr. Untersuchungen über die Reaktionsempfindlichkeit von Keimlingen. Bot. Arch. 1924. 6, 334.
27. Lehmann, C. Die Bedeutung der Alkalität im Stoffhaushalt der Gewässer unter besonderer Berücksichtigung ihres fischereibiologischen Wertes. Biol. Centralbl. 1924. 44, S. 560.
28. Mevius, W. Beiträge zur Physiologie „kalkfeindlicher“ Gewächse. Jahrb. f. wissensch. Bot. 1921. 60, 147.
29. — Wasserstoffionenkonzentration und Permeabilität bei „kalkfeindlichen“ Gewächsen. Zeitschr. f. Bot. 1924. 16, 643.
30. Michaelis, L. Praktikum der physikalischen Chemie. Berlin 1922.
31. Molisch, H. Der Einfluß des Bodens auf die Blütenfarbe der Hortensien. Bot. Ztg., I. Abt., 1897. 55, S. 49.
32. Olsen, C. Studier over Jordbundens. Brintionkonzentration og dens Betydning for Vegetationen, saerlig for Plantefordelingen in Naturen. Meddel. fra Carlsberg Labor. 1921. 15, 1.
33. Paul, H. Die Kalkfeindlichkeit der Spagna. Mitt. d. königl. bayr. Moorkulturanstalt. 1908. 2, 63.
34. Prianschnikow. Das Ammoniak als Anfangs- und Endprodukt des Stickstoffumsatzes in den Pflanzen. Landw. Versuchsstat. 1922. J. C. Heft 4—5.
35. — Sur l'assimilation de l'ammonique par les plantes supérieures. Rev. gen. de Bot. 1924. 36, 5.
36. Ruhland, W. Beiträge zur Physiologie der Knallgasbakterien. Jahrb. f. wiss. Bot. 1924. 63, 334.
37. Ruttner, Fr. Das elektrolytische Leitvermögen verdünnter Lösungen unter dem Einflusse submerser Gewächse I. Sitz. d. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathm. Naturw. Abteilung I. 130 Band, 1.—3. Heft.
38. Schimper, A. F. W. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898.
39. Stocklasa, J. Ueber die Resorption der Ionen durch das Wurzelsystem der Pflanzen aus dem Boden. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 1924. 42, 183.
40. Toole, E. H. and Tottigham, W. E. The influence of certain added solids upon the composition and efficiency of Knop's nutrient solution. Am. Journ. of Bot. 1918. 5, 452.

41. **Tottingham, W. E. and Rankin, G. J.** The availability of iron in nutrient solution for wheat. *Am. Journ. of Bot.* 1923. 10, 203.
42. **Uhlela, V.** Ueber CO<sub>2</sub>- und ph-Regelation des Wassers durch einige Süßwasseralgen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* 1923. 41, 20.
43. **Willis, L. G. and Carrero, J. L.** Influence of some nitrogenous fertilizers on the development of chlorosis in rice. *Journ. agr. res.* 1923. 24, 621.

Weitere Literatur bei Mevius (29) und Chodat (14).

---

**Nachtrag.** Nach meinen neueren, noch nicht veröffentlichten Untersuchungen scheint die Fähigkeit zur Carbonatausnutzung bei den untergetauchten Wasserpflanzen weit verbreitet zu sein. Wenigstens vermögen eine Reihe von ihnen im Licht den ph-Wert einer gesättigten Kalziumkarbonatlösung weit über die maximale Alkalität einer solchen Lösung hinaus zu erhöhen, was ja für Carbonatausnutzung bei der Assimilation spricht. Einwandfrei wurde das bisher festgestellt für *Elodea canadensis*, wodurch die Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen **R u t t n e r s** bestätigt und meine oben geäußerten Bedenken hinfällig werden, ferner für je eine Art von *Ceratophyllum*, *Chara*, *Cladophora*, *Oedogonium*, *Potamogeton*, *Spirogyra* und *Vallisneria*. Wie weit diese Carbonatausnutzung von ökologischer Bedeutung ist, müssen noch weitere Untersuchungen zeigen.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1925

Band/Volume: [81](#)

Autor(en)/Author(s): Dahm Carl

Artikel/Article: [Pflanze und Reaktion ihres Substrates. A022-A038](#)