

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 45 (1936)

Artikel: Beiträge zur Kenntnis der Calcium-Wirkung auf das Keimlingswachstum von Weizen
Autor: Aulich, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-30320>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Beiträge zur Kenntnis der Calcium-Wirkung auf das Keimlingswachstum von Weizen.

Von Kurt Aulich.

(Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der Eidg. Technischen Hochschule
in Zürich.)

Eingegangen am 6. März 1936.

Inhaltsverzeichnis.	Seite
Einleitung	335
Untersuchungsmethode	338
Ca Cl ₂ -Serie :	
Die Trockensubstanzverhältnisse	341
Ca-Aufnahme und Ca-Verteilung	350
Wechselwirkung Ca-Trockensubstanz	353
Permutitversuche	362
Zusammenfassung	367
Literaturverzeichnis	370

Einleitung.

Schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts legte de Saussure in seinen « Recherches chimiques sur la végétation » die Unerlässlichkeit der Mineralstoffe für die Pflanze dar. Später betonte Liebig¹ ihre Notwendigkeit auch für das Tier. Heute ist jeder Physiologe von der grossen Bedeutung der Salze für alle Lebewesen überzeugt. Es ist aber vielfach noch nicht klar, welche Rolle die einzelnen Elemente, besonders die als Kationen auftretenden Metalle, im Organismus spielen. So ist es nur eine Vermutung, dass B, Mn, Cu und Zn, welche in neuerer Zeit für die Pflanze als lebenswichtig erkannt wurden (Pirschle 1934, Frey-Wyssling 1935), sich ähnlich wie Fe als Katalysatoren betätigen. Von K, Mg und Ca wissen wir wohl, dass sie die physiologisch-chemischen Eigenschaften des Plasmas regulieren (Mg auch im Chlorophyll, Ca im Ca-Pektat) und dass sie auf solchem Wege den Ablauf der Lebensprozesse beeinflussen können. Aber auch dieser Teil der Forschung steht noch mitten in der Entwicklung. Was auf botanischem Gebiet nottut, bevor eine Diskussion über die Abhängigkeit der Lebensvorgänge vom Salzhaushalt mit Erfolg geführt werden kann, sind vor allem quantitative Untersuchungen über Wanderung und Verteilung der

¹ Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie, 1. Aufl. 1840.

wichtigeren Ionen im Körper der höheren Pflanze. L u n d e g a r d h 1932 hat in dieser Richtung gearbeitet. Wertvoll sind seine Befunde über die Verteilung von K und Ca in der Haferpflanze. Der Quotient K/Ca nimmt nach oben zu. L u n d e g a r d h erklärt dies durch schnellere K-Wanderung und Verdrängung des Ca aus den Kolloidflächen bei höherer K-Konzentration (« Antagonismus »). Das Wachstum der Triebe war besonders durch K bestimmt. B u r s t r o e m 1934 führt weitere Untersuchungen aus über die Ionenwanderung in der Haferpflanze und findet, dass diejenigen Faktoren, welche die Wanderung erleichtern (besonders NO₃) den Quotienten Blattgewicht/Wurzelgewicht erhöhen. Calcium dagegen, das den Ionentransport erschwert, begünstigt das relative Wurzelwachstum. B u r s t r o e m macht also auch den Versuch, die seit H a n s t e e n - C r a n n e r (1910, 1914) viel diskutierte, durch Ca bewirkte Senkung des Trieb-Wurzel-Verhältnisses auf die Ionenverteilung im Pflanzeninnern zurückzuführen. Seine Erklärung gilt für den Fall, dass der kleine Trieb-Wurzel-Quotient durch Steigerung der Ca-Konzentration in einer vollständigen Nährlösung bewirkt wird. Dann können die mit dem Ca wandernden Ionen durch seine Bremswirkung angehäuft werden.

Die vorliegende Arbeit soll nun zeigen, ob die *Förderung des relativen Wurzelwachstums auf reinen Ca-Lösungen* ebenfalls auf Grund der Ionenverteilung im Pflanzeninnern erklärt werden kann. Eine Anhäufung der verschiedenen Ionen in der Wurzel durch die Erschwerung ihrer Wanderung fällt hier ausser Betracht, weil Ca (mit einem Anion) allein aus der Lösung einwandert. Die fehlenden Ionen können nur aus andern Pflanzenteilen geliefert werden, beim Keimling aus dem Samen. Sie bewegen sich dann entgegengesetzt wie das aufgenommene Ca. Weil auf reiner Lösung trotzdem die bekannte Ca-Wirkung auftritt, kann sie also auch auf andere Art zustande kommen, als dies B u r s t r o e m für die ausgeglichene Lösung fand. In beiden Fällen ist die primäre Ursache für die Änderung des Trieb-Wurzel-Verhältnisses die gesteigerte Ca-Konzentration der Lösung, welche eine Erhöhung der Aufnahme zur Folge hat.

Reine Lösungen sind mit einem Nachteil verbunden: Sie entfernen sich zu weit von den natürlichen Verhältnissen und wirken meist schon in relativ geringer Konzentration giftig. Gerade die Ca-Salze sind aber die harmlosesten. Interessanterweise fand P i r s c h l e (1930, 1932) einen Zusammenhang zwischen geringer Giftwirkung und Ionenbau in der Alkali-, Erdalkali- und Halogengruppe. K, Ca und Cl zeigen gleichbesetzte Elektronenschalen (Argontypus). Neben den erwähnten Nachteilen bieten die Einsalz-Lösungen den grossen Vorteil, dass sie dem nur theoretisch möglichen Fall einer Lösung mit einem einzelnen Ion nahekommen. Ihre Wirkung lässt sich besser überblicken als diejenige von Mehrsalz-Lösungen.

Der eben erwähnte Vorteil bietet sich gleichfalls, wenn wir das zu prüfende Ion in adsorbierter Form verwenden. Es wurden auch Versuche dieser Art mit *Ca-Permutit* ausgeführt. Es soll geprüft werden, in welchem Masse der Permutit das Trieb-Wurzel-Verhältnis im Vergleich mit der reinen Lösung heruntersetzt, und ob es möglich ist, die Permutit-Wirkung auf die Wirkung einer Lösung zurückzuführen. J e n n y und C o w a n 1933 haben Untersuchungen über den Einfluss freier und adsorbierter (auch im Kristallgitter festgelegter) Ca-Ionen auf den Trockengewichtsertrag von Sojabohnen-Pflanzen angestellt. Über das Verhältnis der einzelnen Pflanzenteile zueinander machen sie keine Angaben. Dagegen ist für spätere Ableitungen in der vorliegenden Arbeit ihre Beobachtung, dass in den Kulturen das Ca des Permutit durch H ersetzt wird, bedeutungsvoll.

Alle Experimente wurden mit jungen Weizenkeimlingen ausgeführt: Gräser eignen sich gut für Untersuchungen über die Ca-Verteilung, weil sie nur wenig Oxalat bilden (K o s t y t s c h e w 1926, L u n d e g a r d h 1932). So brauchen wir auf ein eventuelles Verschwinden wesentlicher Ca-Mengen aus dem Ionengleichgewicht keine Rücksicht zu nehmen. Die gewählte Versuchspflanze bietet ferner den Vorteil, dass sie schnell wächst, in kurzer Zeit relativ grosse Ionenmengen aufnimmt und genügende Reserven besitzt, deren Verteilung auf Trieb und Wurzel unter dem Einfluss des Ca untersucht werden soll. Besonders günstig ist auch der geringe Ca-Gehalt der Samen.

Dem *Samenrest* wird oft nicht die gebührende Beachtung geschenkt. Wohl darf man ihn bei älteren Pflanzen vernachlässigen. Bei jungen Keimlingen aber ist er als Anzeiger des Reservestandes wertvoll. Auf unvollständigen Lösungen liefert er vor allem die fehlenden Ionen. Es ist dann das Schildchen der Gräser in seiner Bedeutung an die Seite der Wurzel zu stellen. Zu beachten ist, wie schon bemerkt, dass die für das Wurzelwachstum nötigen Mineralstoffe aus entgegengesetzten Richtungen eintreffen, von der Lösung und vom Samenrest her. Im Trieb fallen die beiden Richtungen zusammen.

Der Wert von Untersuchungen wie der vorliegenden hängt in hohem Masse von der angewandten Methodik ab. Sie wird in einem besonderen Kapitel eingehend erörtert. Einiges sei jedoch vorweggenommen. Es wurde als Vorteil der reinen Salzlösung erwähnt, dass sie dem Idealfall einer Einionen-Lösung am nächsten kommt. Dieser Vorteil kann besonders ausgenützt werden, wenn wir dem zu prüfenden Ca ein möglichst indifferentes Anion mitgeben. Als solches wurde Cl gewählt, ein sich immer in der Pflanze vorfindendes Ion, das sie gut erträgt, für den Aufbau organischer Substanz aber nicht verwenden kann. Wie weit Cl die kolloidchemische Wirkung des Ca auf das Plasma beeinflusst, ist schwer abzuschätzen. Aber auch diese « Störung » fällt kaum ins Gewicht, wenn wir bedenken, dass die Zellkolloide über-

wiegend negativ geladen sind, und dass das Ca als guter Antagonist und sehr kolloidaktives Ion bekannt ist. Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass sich Ca auch gegenüber der Ionen-Wanderung in der Pflanze neutral verhält, im Gegensatz zu dem in Ca-Versuchen häufig verwendeten NO_3 .

Wenn als Ca-Salz CaCl_2 verwendet wird, ist also nach obigen Ausführungen die « störende » Wirkung des Anions auf ein Mindestmass reduziert, und als wirksame primäre Ursache beobachteter Wachstumsveränderungen muss nur die Variation des Ca berücksichtigt werden. Die hierzu notwendigen *Analysen* erforderten ziemlich viel Material, weil besonders die auf destilliertem Wasser gewachsenen Keimlinge in ihren Organen sehr kleine absolute Ca-Mengen besitzen.

Nach der Methode von Lundegårdh 1932 genügt schon eine kleine Zahl von Pflanzen für eine hinreichend genaue Bestimmung. Die für die Spektralanalyse notwendigen kostspieligen Apparate standen mir aber nicht zur Verfügung. So wurden denn in den CaCl_2 -Versuchen für jede Konz. 2000 Keimlinge angesetzt, was auch der Forderung nach Ausgleich der individuellen Unterschiede entspricht.

Als wesentlich für die Lösung der gestellten Aufgaben wurde gutes Versuchsmaterial und Konstanz der Aussenbedingungen betrachtet. Es ist darauf besondere Sorgfalt verwendet worden.

Untersuchungsmethode.

Als *Versuchspflanze* wurde Sommerweizen gewählt. Es handelt sich um eine in der französischen Schweiz unter dem Namen « Carré vaudois » bekannte Sorte, die das Institut schon seit Jahren kultiviert. Das von Spelzen usw. gereinigte Körnermaterial wurde zuerst einer peinlichen Auslese unterworfen. Beschädigte, aber auch besonders kleine oder grosse Körner wurden entfernt. So blieb ein gesund aussehendes, gleichmässiges Saatgut zurück. Jeder Versuch begann damit, dass eine abgewogene Körnermenge, etwa doppelt soviel Körner, als Keimlinge erforderlich waren, in einem Erlenmeyerkolben mehrmals mit destilliertem Wasser unter kräftigem Schütteln gewaschen wurde. Es sollten lose an der Oberfläche haftende Unreinigkeiten entfernt werden. Eine Samenbeize kam nicht zur Anwendung, weil immer zurückbleibende Spuren des Desinfiziens beim Keimen oft stimulierend wirken und dadurch die Versuchsergebnisse verändern können. Bei Schwermetallspuren kommen auch antagonistische Effekte in Frage. Das gewaschene Saatmaterial kam in den *Quellungsapparat*, der sich im Versuchszimmer, einem Thermostaten von 25 Grad C., befand. Es wurde einfach der Erlenmeyerkolben mit den Körnern in destilliertem Wasser auf einen Klinostaten in schiefer Stellung montiert und Druckluft aus einer Wasserstrahlpumpe eingeleitet. 18 Stunden wurde auf diese Weise ge-

quollen. Der Klinostat besorgte das Wenden, der starke, ins Wasser eingeleitete Luftstrom lieferte den nötigen Sauerstoff und trieb gleichzeitig die Atmungs-Kohlensäure aus. Am Ende der Quellungszeit wurden, wie zu Beginn, die Körner mit destilliertem Wasser gewaschen zur Entfernung exosmierter Substanzen. Dann fand die Aussaat auf die vorbereiteten *Kulturgefässe* statt. Als solche dienten Glasschalen von zirka $\frac{1}{4}$ Liter Inhalt, welche mit mehrmals ausgekochtem und paraffiniertem Tüllnetz überspannt (Gummiring) und mit schwarzem Papier umwickelt waren. Zirka 24 Stunden nach Aussaat der gequollenen Körner auf die Netze hatten die unterdessen durchgebrochenen Wurzeln den zirka 5 mm betragenden Raum zwischen Netz und Lösung durchgewachsen. Bis zu dieser Zeit blieben die Gefässe zugedeckt (Petrischale), und die Saat wurde oft mit destilliertem Wasser mit Hilfe eines Zerstäubers besprüht. Noch bevor die Wurzeln die Lösung erreichten, fand eine zweite Auslese statt (Entfernung des bei der Aussaat gegebenen Körnerüberschusses). War durch die erste Selektion ein äusserlich gleichmässiges Material gewonnen worden, so gestattete die nach der Auskeimung erfolgte zweite, Individuen zu entfernen, die sich trotz gleichem Aussehen des ursprünglichen Korns physiologisch abweichend verhielten. Auf einer Schale wurden schliesslich etwa 100 Keimlinge belassen, die dann ein schön ausgeglichenes und gesundes Material darstellten. Oft wird bei Versuchen mit reinen Lösungen auf Filtrierpapier vorgekeimt. Dies habe ich durch Aussaat auf die paraffinierten Netze, die sich im feuchten Raum der Kulturgefässe befinden, vermieden. Es hätte mich das Vorkeimen auch auf aschefreiem Filtrierpapier nicht befriedigt, weil bei der Entnahme der Keimlinge die Wurzeln leicht beschädigt werden, oder es wird die Versuchslösung durch mitgenommene Substratteilchen verunreinigt. Ferner wollte ich die Keimlinge möglichst bald der Einwirkung der Lösungen aussetzen. Als *Ca-Lieferant* wurde in den Wasserkulturen CaCl_2 verwendet ($\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, zur Analyse, Siegfried), weil Cl von der Pflanze beim Aufbau organischer Substanz nicht gebraucht wird.¹ In Sandkulturen kam neben CaCl_2 Ca-Permutit zur Anwendung. Er wurde aus dem in der Technik erhältlichen Na-Permutit (Permutit AG., Berlin-Rathenow) durch Umsetzen mit CaCl_2 dargestellt. Wichtig scheint mir dabei eine der Behandlung vorausgehende gute Reinigung durch Auslese zu sein (eisen-schüssige Stücke, Holzsplitter usw.). Der gut ausgewaschene Ca-Permutit zeigte bei der Analyse pro g 3,35 Milli-Aequivalente umtauschfähiges Ca^2 . Der für die Sandkulturen verwendete *Quarzsand* wurde von der Schamottefabrik Henneberg & Co. in Bad Freienwalde a. d. Oder geliefert. Als Korngrösse habe ich 0,5—0,9 mm gewählt. Ein zu

¹ Siehe auch Einleitung !

² Die Analyse hat mir in freundlicher Weise Herr Dr. Renold vom agrikulturchem. Institut ausgeführt.

feiner Sand wird beim Versetzen mit Wasser leicht zu einer kompakten Masse. Auch bietet feiner Sand bei der Ernte der Versuchspflanzen, beim Loslösen der Wurzeln, grössere Schwierigkeiten. Der CaO-Gehalt des ungereinigten Sandes betrug 0,02%¹. Der Sand wurde einer Salzsäurebehandlung ausgesetzt und ausgiebig mit destilliertem Wasser gewaschen, auch mit destilliertem Wasser gekocht. Ebenso wichtig wie gutes Versuchsmaterial schien mir die Konstanz der *Aussenbedingungen*

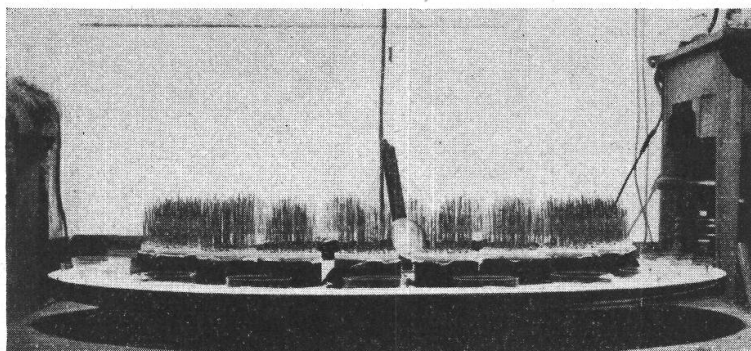


Abbildung 1.

gen zu sein. Ein in dieser Hinsicht besonders geeigneter Raum im Erdgeschoss des Landwirtschaftlich-forstwirtschaftlichen Gebäudes wurde in einen Thermostaten umgewandelt. Alle Versuche fanden bei 25 Grad Celsius statt. Die Temperaturschwankungen betrugen maximal 1 Grad. Das Licht lieferte eine an der Decke befestigte 1000-Watt-Lampe, und die Feuchtigkeit wurde durch eine Brause und eine mit der Lampe verbundene Verdampfungseinrichtung auf 60—65% gehalten. Ein Ventilator sorgte für Durchmischung der Luft. Die mit lichtdichtem schwarzem Tuch abgeschlossene Fensteröffnung ermöglichte den Luftaustausch mit der Aussenwelt. Um noch grössere Gleichmässigkeit der Wachstumsbedingungen zu erreichen, wurden die Kulturen auf einem langsam rotierenden Tisch aufgestellt (Abb. 1).

Ein Mass für die erreichte Gleichmässigkeit gibt Abb. 2. Sie stellt 5 Schalen eines CaCl_2 -Versuches dar (1/800 n) vor der Ernte. Die Auswahl erfolgte « blind », d. h. es wurde schon vor Versuchsbeginn bestimmt, welche Nummern photographiert werden sollten (die schwarzen Umhüllungspapiere sind entfernt).

Bei der *Ernte* wurden der Samenrest, der Trieb und die Wurzel stets gesondert gewonnen und sogleich gewogen. Die Wurzeln spülte ich mehrmals mit destilliertem Wasser und trocknete sie dann mit Filtrierpapier ab. Nach der Wägung kam das frische Material in einen 50° warmen² Schrank, wo es eine Woche, bis zur Trockengewichts-

¹ Die Analyse hat mir in freundlicher Weise Herr Dr. Renold vom agrikulturchem. Institut ausgeführt.

² Vermeidung von Gewichtsverlust durch Substanzzersetzung.

bestimmung, verblieb. Endlich wurden die Pflanzenteile für die Ca-Analysen in Quarzschalen verbrannt. Das Ca ist als Oxalat gefällt und mit 1/10 n Permanganat titriert worden. Der Analysengang war der übliche (König 1923, Treadwell 1927). Es sei jedoch bemerkt, dass mit Vorteil bei der Einstellung des für die Oxalatfällung günstigen pH Fe als Indikator verwendet wurde. — Der mittlere Fehler der Einzelbestimmung beträgt 1—2%.

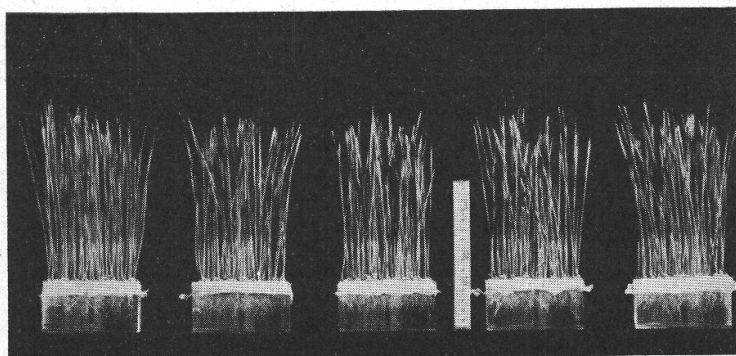


Abbildung 2.

Wie oben erwähnt, wurden immer auch die *Frischgewichte* bestimmt. Es war von Interesse zu wissen, ob sich die ungünstige Wasserbilanz von Pflanzen, die einseitiger Ca-Wirkung ausgesetzt sind (herabgesetzte Aufnahme, erhöhte Transpiration), in einer Vergrößerung des Verhältnisses Trockensubstanz zu Frischsubstanz widerspiegelt. Es zeigt sich aber, unter Berücksichtigung des Entwicklungszustandes¹ der Keimlinge, weder für die ganze Pflanze noch für einen Teil derselben ein solcher Effekt. Deshalb werden im folgenden die Frischgewichte nicht weiter berücksichtigt.

Die Trockensubstanzverhältnisse in der CaCl_2 -Serie.

Was an Hand der CaCl_2 -Serie erreicht werden soll, ist eine möglichst weitgehende Deutung der speziellen Trockensubstanzverhältnisse, wie sie sich auf reinen Ca-Lösungen einstellen. Eine solche Deutung kann aber erst gegeben werden, wenn diese Verhältnisse selbst bekannt sind.

Abb. 3 (nach Tab. 1) stellt das Trockengewicht der ganzen Pflanze samt Samenrest dar, ausgedrückt in % des ungekeimten Kornes (1000 Körner = 31,80 g). Die Konzentrationen der Lösungen sind nach Ergebnissen von Vorversuchen ausgewählt worden.

Für *alle Lösungen* liegt der dargestellte Wert unter 100. Es ist also unter den gewählten Versuchsbedingungen der Atmungsverlust überall grösser ausgefallen als der Substanzgewinn durch Assimilation.

¹ S. Seite 342.

Tabelle 1.

% des ungekeimten Kornes	DW	800	200	50	NL ¹
Ganze Pflanze, trocken .	81,6	73,5	72,9	80,3	67,3
Veratmete Substanz . .	18,4	26,5	27,1	19,7	32,7

¹ Statt destilliertes Wasser wird nun meist DW geschrieben, statt $\frac{1}{800}$ n, $\frac{1}{200}$ n und $\frac{1}{50}$ n CaCl_2 einfach 800, 200 und 50. Die Pfeffersche Nährlösung mit der Ca-Konz. $\frac{1}{200}$ n wird mit NL bezeichnet.

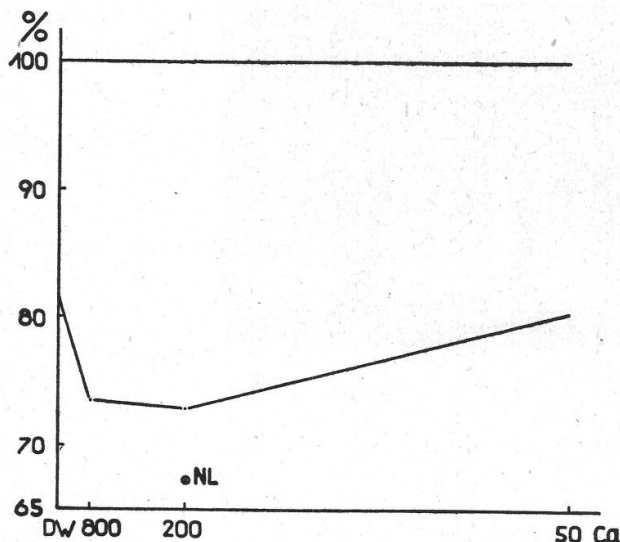


Abb. 3.

Trockengewicht der ganzen Pflanze samt Samenrest nach 7 Tagen. Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung in reziproker Normalität. DW = destilliertes Wasser. NL = Pfeffersche Nährlösung (Ca-Konz. = $\frac{1}{200}$ n). Ordinate: Gewicht in Prozent des ungekeimten Kornes.

Eine nennenswerte Assimilation scheint überhaupt nicht stattgefunden zu haben. Wenigstens brauchen wir sie neben der viel bedeutenderen Atmung nicht zu berücksichtigen. Für die *Ca-Lösungen 800 und 200* ergibt sich ein kleineres Trockengewicht als für DW. Es ist in diesen Lösungen in der gleichen Zeit (7 Tage) mehr Material veratmet worden als in destilliertem Wasser. Die *starke Konzentration 1/50 n* ist jedoch weniger wirksam als die beiden schwächeren Konzentrationen. Es muss eine Ca-Lösung geben, für welche die pro Zeiteinheit veratmete Menge am grössten ist. Die Kurve besitzt einen Extremwert. — Den grössten Atmungsverlust erlitten die Pflanzen in der *Nährlösung*.

Wir stellen also fest, dass die Ca-Lösungen die Trockensubstanzabnahme beschleunigen, verglichen mit DW. Daraus darf aber nicht ohne weiteres geschlossen werden, dass eine direkte Beeinflussung der Atmung durch das Ca vorliegt. Die Atmung ist mit anderen Lebensprozessen gekoppelt. Sie wird sich auch ändern, wenn das Ca in einen dieser anderen Lebensvorgänge eingreift. Auf eine solche Koppelung von ausserordentlicher Bedeutung stossen wir, wenn wir die Atmung nicht für sich, sondern zusammen mit dem Entwicklungszustand der Keimlinge in den verschiedenen Lösungen betrachten.

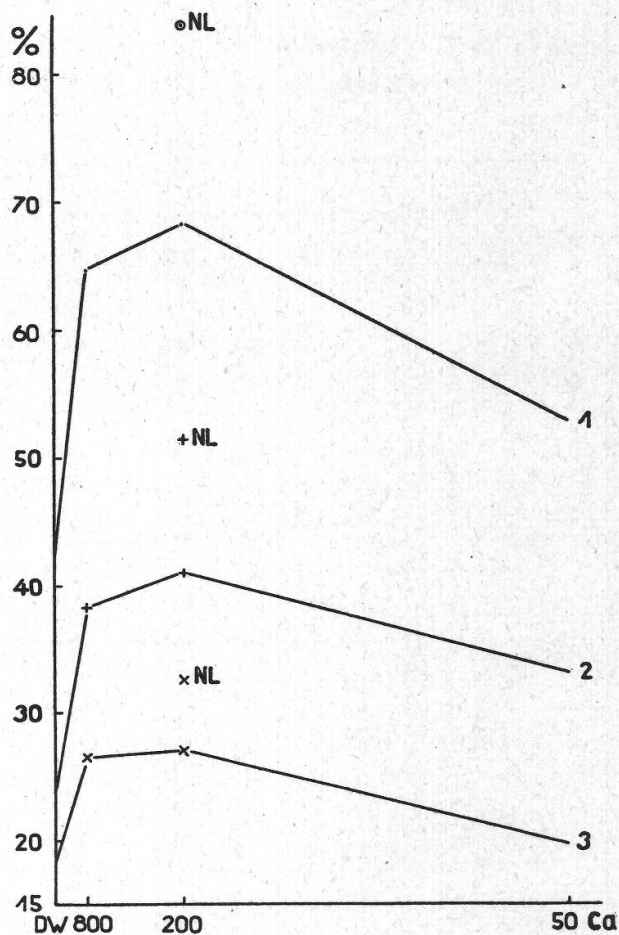
Als Mass für den *Entwicklungszustand* brauche ich in meinen Versuchen die ausgewanderte Reservemenge = ungekeimtes Korn —

Samenrest, ausgedrückt in Prozenten des ungekeimten Korns. Den Entwicklungszustand der Keimlinge der zur Diskussion stehenden Versuchsserie zeigen Tab. 2 und die dazugehörige Kurve « ausgewanderte Reserve », Nr. 1 in Abb. 4.

Tabelle 2.

% des ungekeimten Korns	DW	800	200	50	NL
Samenrest	57,9	35,3	31,8	47,4	16,0
Ausgewanderte Reserve	42,1	64,7	68,2	52,6	84,0
Keimlinge ohne Samenrest	23,8	38,2	41,0	33,0	51,4

Abb. 4.
Ausgewanderte Reserve (1), Keimling ohne Samenrest (2) und veratmete Substanz (3) nach 7 Tagen. Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung (rezipr. Normalität). Ordinate: Prozent des ungekeimten Korns.



42 bis 84 % von der Substanz des ungekeimten Korns wanderten in 7 Tagen in den Keimling hinüber. Am weitesten fortgeschritten in der Entwicklung sind die Pflanzen in NL. Sie sind nicht mehr weit von der grösstmöglichen Leerung der Samenreste entfernt. Das zeigte ein Hungerversuch auf DW. Nach dem Absterben der Pflanzen betrug das Gewicht ihrer Samenreste noch 12,6 % von dem der ursprünglichen Körner. 87,4 % der Substanz waren ausgewandert. In normaler Pfeffer-scher Lösung gezogene Keimlinge brachten es bei kräftigem

Wachstum sogar auf 88,5%. Im letzteren Falle blieben vom Korn also nur 11,5 % übrig, praktisch nur noch Zellwandmaterial, die Verpackung! Als maximal mögliche Auswanderung dürfen wir zirka 90 % annehmen. In den Samenresten unserer NL-Pflanzen waren also höchstens noch $90 - 84 = 6$ % auswanderbare Stoffe vorhanden, dagegen bei DW noch $90 - 42 = 48$ %. Die Ca-Lösungen liegen zwischen DW und NL. Sie bewirken, verglichen mit DW, eine beträchtliche Erhöhung der pro Zeiteinheit auswandernden Reservemengen. Die optimal wirkende Ca-Konzentration liegt in der Gegend von 200.

Vergleichen wir die eben besprochene Kurve mit 2 und 3¹ in Abb. 4, dann fällt uns auf, dass sie alle weitgehend ähnlich sind. (Beachte immer auch die Lage des NL-Wertes!) Die Zusammenhänge, die sich hier offenbaren, sollen ausgehend von Abb. 5 (nach Tab. 3) näher erörtert werden.

Tabelle 3.

	DW	800	200	50	NL
Veratmet in % der ausgewanderten Reserve	43,8	41,0	39,8	37,5	39,0

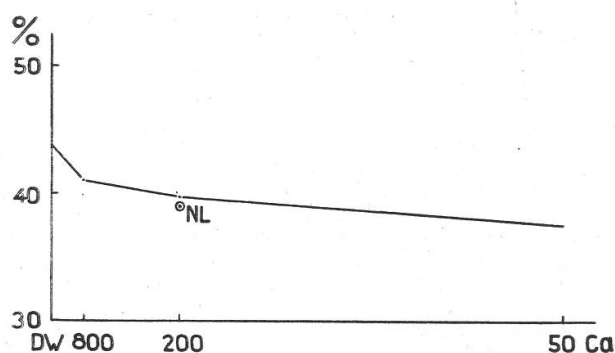


Abb. 5.

Das Verhältnis von Atmung zu Auswanderung. Abszisse: Ca-Konz. der Lösung (rezipr. Normalität). Ordinate: Veratmet in Prozent der ausgewanderten Reserve.

Dargestellt ist das Verhältnis Trockensubstanzverlust zu ausgewandelter Reserve. Welch geringe Ordinatendifferenzen verglichen mit den Kurven 1 und 3 in Abb. 4! Alle grossen Ausschläge sind verschwunden. Der erste Eindruck ist derjenige der Konstanz. Das *Verhältnis von Atmung zu Auswanderung* bleibt gleich, ob wir Weizen unter den gegebenen Bedingungen in dest. Wasser, in CaCl_2 -Lösungen verschiedenster Konzentration oder in kompletter Nährlösung ziehen, ob wir 40 % oder über 80 % der Reserve aus dem Korn in den Keimling einwandern lassen. Diese Beziehung muss für das Leben des Weizenkeimlings von fundamentaler Bedeutung sein. Da ganz allgemein im Tier- und Pflanzenreich Atmung mit Energiebelieferung gleichzusetzen ist, suchen wir auch im vorliegenden Falle eine Erklärung auf energetischer Grundlage. Die nächstliegende Annahme wäre die, dass die Auswande-

¹ Die umgekehrte Kurve von Fig. 1.

nung der Stoffe selbst wesentlicher Energiemengen bedarf. So müssten wir in der Atmungskurve die Grundzüge der Auswanderungskurve wieder finden. Warum sollte sich das Schildchen, welches die Aufnahme der Reserve besorgt, nicht ähnlich verhalten wie die Wurzeln? An Weizenwurzeln ist von Lundegårdh und Burstroem 1934 wenigstens für die Anionenaufnahme eine Atmungssteigerung nachgewiesen und quantitativ festgelegt worden.¹

Aber wesentlich grösser als der bei der Reserveaufnahme durch das Schildchen möglicherweise aufzuwendende Energiebetrag dürften die Energiemengen sein, welche für die mannigfachen Synthesen, für den Aufbau der Blätter und Wurzeln schon rein theoretisch gefordert werden müssen. Stellen wir auf diese, für Synthesen verwendeten Beträge ab, berücksichtigen wir nicht den nur vermuteten Arbeitsaufwand bei der Stoffaufnahme aus dem Samenrest, dann kommen wir zu folgendem Bild: Experimentell ergibt sich ein weitgehender Parallelismus zwischen Auswanderung, Atmung und Keimlingstrockengewicht (Abb. 4). (Dass auch das Keimlingstrockengewicht parallel geht, ist ohne weiteres aus der Beziehung Keimlingstrockengewicht = Auswanderung — Atmung ersichtlich.) Wir stellen fest, dass immer annähernd der gleiche Bruchteil des auswandernden Materials für Atmung verbraucht worden ist, im Mittel zirka 40 %. Aus den restlichen 60 % wurde der Keimling aufgebaut, mitgerechnet die schon eingewanderte, aber noch unverbrauchte Reserve. *Aufbau* und *Atmung* sind *gekoppelt*. Das muss in erster Linie aus Abb. 5 herausgelesen werden. Mit dieser Feststellung, dass Atmung und Aufbau eng zusammenhängen, befinden wir uns in Einklang mit Wasniewski 1914, der bei Weizen fand, dass die Atmung unter verschiedenen Versuchsbedingungen immer den gleichen Prozentsatz (zirka 70 %) der seit Keimungsbeginn verschwundenen Kohlehydrate verbrauchte. Der Rest (zirka 30 %) wurde als Baumaterial verwendet. Dass bei hoher Bautätigkeit (Wachstum) zugleich auch der energieliefernde Abbau, die Atmung, bedeutend ist, weiss man schon lange. Keimende Grasfrüchte und Blütenknospen sind Parade-material für Atmungsversuche! Der enge Zusammenhang wird aber viel zu wenig betont.

Was wir zuerst aus Abb. 5 schliessen mussten, ist unbedingt die Konstanz, verglichen mit den verschiedenen Entwicklungsstadien und extrem voneinander abweichenden Lösungen, in denen die Keimlinge gezogen wurden: Dest. Wasser, reine Ca-Lösungen im Gebiet 1/800 bis 1/50 n, wobei 1/50 n ja 16mal konzentrierter ist als 1/800 n, und altbewährte ausbalancierte Pfeffersche Lösung! Erst jetzt ist es am Platze, auch die *geringen*, aber immerhin *deutlichen Änderungen* zu

¹ Für die Abhängigkeit der Salzabsorption von der Atmung bei Kartoffelspeichergewebe und bei Valonia vergleiche Steward.

registrieren, welche das Verhältnis Atmung zu Auswanderung zeigt. Gehen wir aus von dem den höchsten Wert präsentierenden dest. Wasser. Alle Punkte für Ca liegen tiefer. Verglichen mit DW erhöht Ca sowohl die Auswanderung als auch die Atmung pro Zeiteinheit. Auf erstere ist aber der Einfluss grösser. So resultiert ein kleineres Verhältnis Atmung zu Auswanderung. Wir könnten auch sagen, dass die Keimlinge in den Ca-Lösungen ökonomischer bauen als diejenigen auf DW. Von der ausgewanderten Reserve sind bei 1/50 n zirka 6 % weniger veratmet worden als bei DW. Dies ist die grösste Differenz in Tab. 3. Eine Optimumwirkung tritt im beobachteten Ca-Gebiet nicht hervor.

Die Nährlösung liegt nahe bei 1/200 n ($NL = 39,0$, $1/200$ n $CaCl_2 = 39,8$).

Was meine Versuche nicht zeigen können, ist die *Wirkung einer Temperaturänderung* auf das betrachtete Verhältnis. Ich habe sie aus Daten in G ä u m a n n 1932 errechnet und in Abb. 6 dargestellt. Die Daten beziehen sich auf 5 cm lange Weizenkeimlinge in DW.

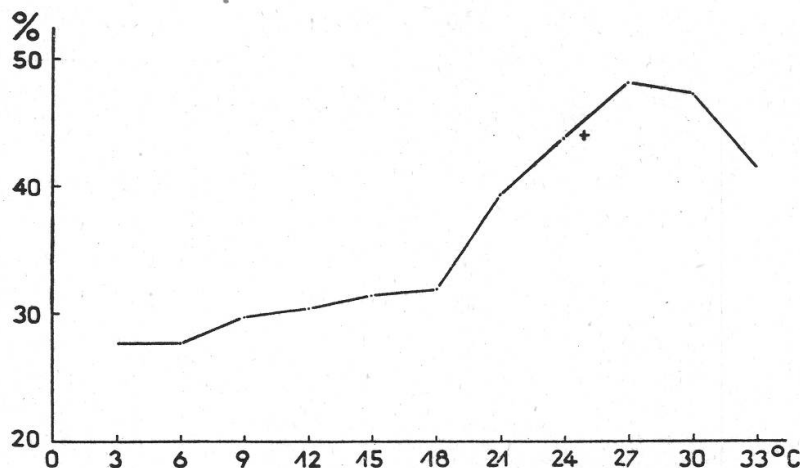


Abb. 6.

Einfluss der Temperatur auf das Verhältnis Atmung zu Auswanderung, errechnet und dargestellt nach Daten aus G ä u m a n n 1932. Näheres s. Text. Abszisse: Temperatur in °C. Ordinate: Veratmet in Prozent von ausgewandert.

Die Übereinstimmung meines DW-Wertes für 25 Grad (+) mit der Kurve Abb. 6 zeigt zunächst, dass diese Werte gut reproduzierbar sind. Das beweisen auch folgende Zahlen für DW und 25 Grad, die ich späteren, zu verschiedener Zeit angestellten eigenen Versuchen entnehme:

Tabelle 4.

Wasserkultur:	Sandkulturen:			
44,4	44,4	44,0	44,2	44,3 %

Interessant ist dabei die Tatsache, dass der in den Sandkulturen verwendete gut gereinigte Quarzsand die Wirkung des dest. Wassers nicht geändert hat. Betrachten wir die Kurve Abb. 6. Von 3 bis 18 Grad steigt sie langsam an, eine Erhöhung der Temperatur um 15 Grad gibt nur ein Anwachsen der Ordinate um 4. Dagegen erfolgt kräftiger Anstieg von 18 bis 27 Grad. Differenz 9 Grad. Ordinatenzunahme 16 ! Bis in die Gegend von 18 Grad vermag also die Temperatur das Verhältnis

Atmung zu Auswanderung nicht wesentlich zu beeinflussen. Über 18 Grad aber finden wir starke Erhöhung der Atmung, verglichen mit der Auswanderung. Bei 27 Grad liegt das Maximum. Gleich dem Ca erhöht auch der Temperaturanstieg die pro Zeiteinheit veratmete, wie die pro Zeiteinheit ausgewanderte Substanzmenge, und alle vier Kurven besitzen ein Maximum. Während aber bei Ca die Auswanderung stärker steigt, ist dies bei Temperaturanstieg die Atmung. Die Verhältniskurve sinkt also unter Ca-Einfluss, steigt bei Temperaturzunahme. In dieser Beziehung wirken Ca und Temperatur entgegengesetzt.

Nach Besprechung der Atmung und des Zusammenhanges Atmung—Auswanderung gehen wir zur Betrachtung von *Triebmasse*, *Wurzelmasse*, und *Trieb-Wurzel-Verhältnis* über (Abb. 7 und Tab. 5).

Tabelle 5.

	DW	800	200	50	NL
Trieb trocken, % des ungekeimten Kornes .	19,2	29,8	29,8	26,6	41,2
Wurzeln trocken, % des ungekeimten Kornes	4,56	8,42	11,2	6,35	10,2
Trieb trocken/Wurzeln trocken	4,21	3,54	2,66	4,19	4,04

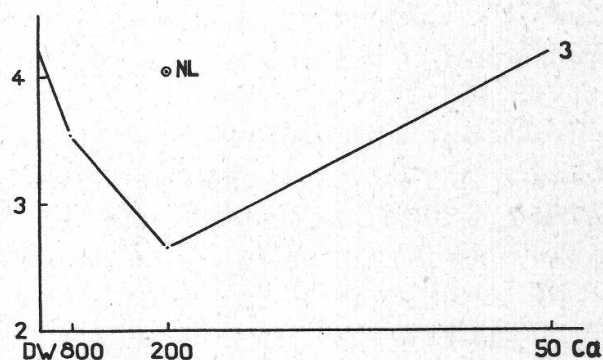
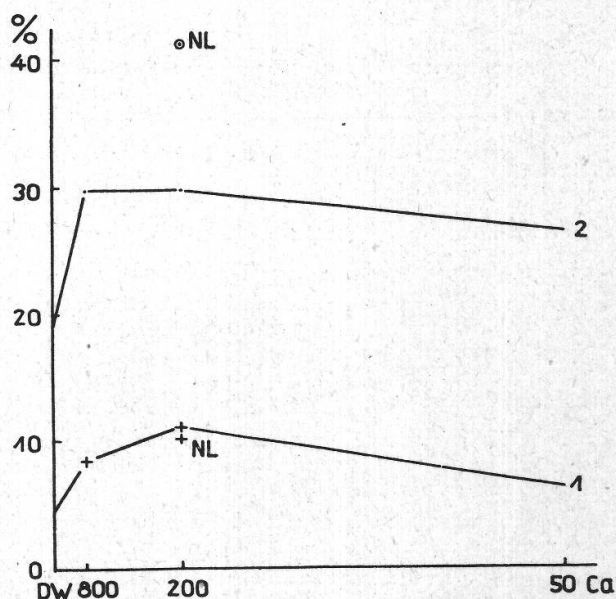


Abb. 7.

Wurzeltrockengewicht (1), Trieb-trockengewicht (2) und Trieb/Wurzel-Verhältnis (3) nach 7 Tagen. Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung (rezipr. Normalität). Ordinate (Kurven 1 und 2): Gewicht in Prozent des ungekeimten Kornes.



Es zeigt sich die allbekannte günstige Wirkung des Ca auf das Wurzelsystem : Schlechte *Wurzeln* bei DW, auffallende Besserung durch Ca schon in der Konz. 800, Optimum in der Gegend von 200, wo der Wert der Nährlösung erreicht wird. Die *Triebkurve* zeichnet sich gleichfalls durch ein Optimum aus, welches von 200 bis 800 zu suchen ist. Es scheint bei kleinerer Konz. zu liegen als das Wurzel-Optimum. Auch die günstigste Ca-Lösung bleibt aber in der Triebentwicklung weit hinter NL zurück. Als typisch für Ca-Wirkung gilt nicht nur die gute Wurzelentwicklung an sich, sondern auch das kleine *Trieb-Wurzel—Verhältnis* (oberste Kurve, Abb. 7). Verglichen mit DW sind in den Ca-Lösungen nicht nur die Wurzeln gefördert worden, sondern auch die Triebe, aber weniger stark als die Wurzeln. So ergibt sich das kleine Verhältnis. Es ist also nicht so, dass Ca nur für die Wurzeln förderlich, für die Triebe aber hinderlich wäre. Jenseits des Wurzel-Optimums wird bei 50 wieder der Wert von DW erreicht. Dies wird weiter unten erörtert werden.

Bei dynamischer Auffassung verrät uns das Trieb-Wurzel—Verhältnis die bei der Auswanderung erfolgende Verteilung der Reserve auf die Stoffströme nach dem Trieb- und nach dem Wurzelsystem, weil sich die Weizenkeimlinge in meinen Versuchen praktisch ganz aus der Substanz des Kornes aufgebaut haben. Das Material, das bei der Ernte in Trieb und Wurzel gefunden wird, zusammen mit dem veratmeten Anteil, hat das Korn durch das Schildchen verlassen und ist auf oberirdische und unterirdische Organe so verteilt worden, wie das Trieb-Wurzel—Verhältnis angibt. Die Atmung darf ohne weiteres einbezogen werden, weil sie sich verteilt wie das Wachstum. Tabelle 6 und Abb. 8 stellen den prozentualen Anteil der beiden Stoffströme dar. (In Abb. 8 ist die Triebkurve weggelassen. Sie würde spiegelbildlich zur Wurzelkurve verlaufen.)

Tabelle 6.

Total ausgewanderte Reserve = 100	DW	800	200	50	NL
Stoffstrom nach dem Trieb . .	80,7	78,0	72,7	80,5	80,2
Stoffstrom nach der Wurzel	19,3	22,0	27,3	19,5	19,8

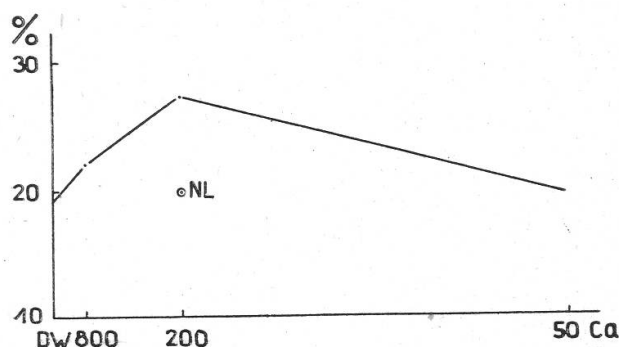


Abb. 8.

Der Stoffstrom nach der Wurzel.
Abszisse : Ca-Konz. der Lösung
(rezipr. Normalität). Ordinate: Pro-
zent der ausgewanderten Reserve.

Eine merkliche Abweichung von DW zeigt sich, wie auch aus Abb. 7 ersichtlich, nur in 800 und 200, in Lösungen mit « typischer » Ca-Wirkung. Nur 800 und 200 haben die Verteilung auf die beiden Stoffströme nach dem Trieb und nach der Wurzel zugunsten der letzteren deutlich geändert.

Die Frage nach dem Zustandekommen des kleinen Trieb-Wurzel-Verhältnisses ist besonders interessant, weil dasselbe oft als Reaktion gegen die ungünstige Wasserbilanz auf reinen Ca-Lösungen betrachtet wird. Ca erschwert die Wasseraufnahme und erhöht die Transpiration (H a n s t e e n - C r a n n e r 1914, K i s s e r 1927).

Der erschwerten Aufnahme wirkt das üppige Wurzelwachstum, der erhöhten Transpiration der relativ zur Wurzel kleine Trieb entgegen.

Es ergibt sich in der Art der Wirkung auf den Trieb-Wurzel-Quotienten eine Parallele zum Verhältnis Atmung—Auswanderung. Auch dort sahen wir, wie das Ca beide Vorgänge verstärkt, die Atmung aber weniger als die Auswanderung, so dass das Verhältnis beider sinkt. Wir stellten auch fest, wie Temperaturerhöhung die gleichen Prozesse beschleunigt, in diesem Fall die Atmung stärker als die Auswanderung, so dass das Verhältnis steigt. Was lehren uns die eben angestellten Vergleiche? Wohl gelingt es uns leicht, durch Ca das Wachstum des Keimlings, speziell dasjenige der Wurzel, zu steigern oder durch Temperaturerhöhung die Atmung zu vergrößern. Mit der Wachstumssteigerung der Wurzel geht aber eine solche des Triebes einher, mit der allgemeinen Erhöhung des Wachstums eine solche der Atmung. Auch bei Temperaturerhöhung werden beide, Atmung und Wachstum, erhöht. So wird das Verhältnis der Pflanzenteile zueinander weniger geändert, als ein Teil selbst, und im Zusammenspiel der Lebensprozesse ist die Verschiebung geringer als bei einem einzelnen Prozess. Trotz starken Eingriffen in das Leben des Weizenkeimlings, wie Verweigerung der Salzaufnahme (dest. Wasser), Behandlung mit einem einzelnen Salz bis zu hoher Konzentration, Erhöhung der Temperatur bis über 30 Grad, verändert sich an den grossen Linien des Bauplanes nichts.

Die trotz ganz verschiedener Mineralbelieferung weitgehende Konstanz in der inneren Organisation der Weizenkeimlinge sollen Tab. 7 und Abb. 9 nochmals deutlich vor Augen führen.

Tabelle 7.

Ausgewanderte Reserve = 100	DW	800	200	50	NL
Veratmete Substanz . .	43,8	41,0	39,8	37,5	39,0
Trieb + Wurzel . . .	56,2	59,0	60,2	62,5	61,0
Trieb	45,5	45,9	43,7	50,5	49,0
Wurzel	10,8	13,0	16,4	12,1	12,1

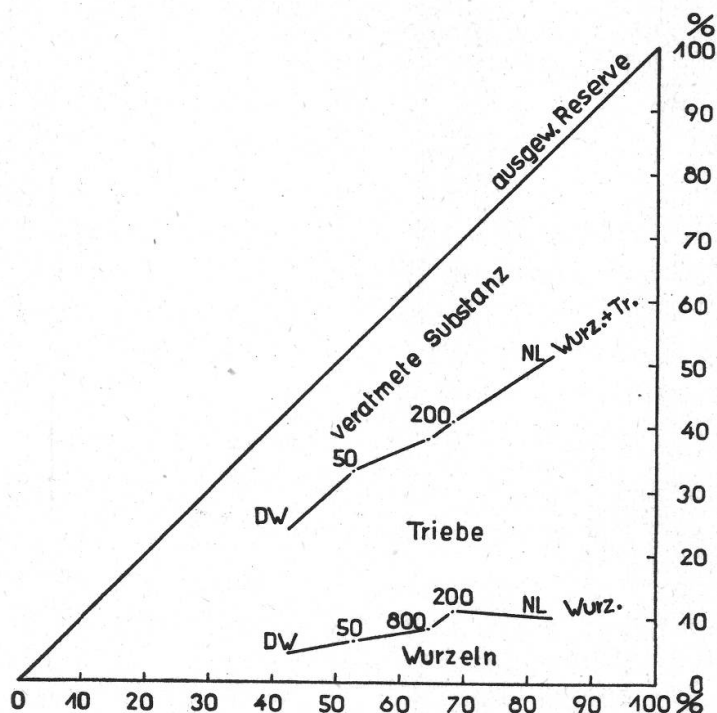


Abb. 9.

Flächenmässige Darstellung der Reserveverteilung. Abszisse: ausgewanderte Reserve in Prozent des ungekeimten Kornes. Ordinate: Prozent des ungekeimten Kornes.

In Tab. 7 sind die Grössen veratmete Substanz, Trieb und Wurzel bezogen auf die ausgewanderte Reserve, damit die Zahlen von einer Beeinflussung durch den Entwicklungszustand möglichst frei sind. Man sieht, in welchem engen Rahmen sich die durch das Ca bewirkten Verschiebungen bewegen. Relativ gross sind die Änderungen der Wurzelwerte. Der grösste Wurzelwert liegt bei 200. — Die flächenmässige Darstellung Abb. 9 möchte auf anschauliche Art ebenfalls die relativ geringe Wirkung unserer Eingriffe auf die Verteilung der Reserve zeigen.

Ca-Aufnahme und Ca-Verteilung in der CaCl_2 -Serie.

Die Trockensubstanz verrät uns wohl einige Geheimnisse über die Art der Ca-Wirkung. Der Weg, auf dem beobachtete Endeffekte zustande kommen, bleibt aber doch im wesentlichen dunkel. Erst wenn wir auch Aufnahme und Verteilung des Ca kennen, können wir ihn erhellen. Tab. 8 und Abb. 10 zeigen die aufgenommenen Ca-Mengen, bezogen auf Ca in ungekeimt = 1.

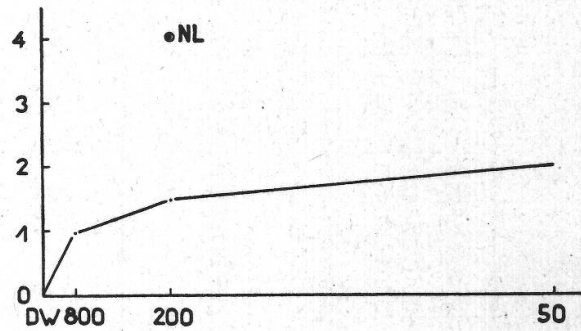
Tabelle 8.

Ca-Gehalt des ungekeimten Kornes = 1	800	200	50	NL
Ca-Gewinn des Keimlings in 7 Tagen	0,984	1,482	2,00	4,02

Es sind in 7 Tagen in allen Ca-haltigen Lösungen relativ sehr grosse Mengen Ca aufgenommen worden, so in 800 etwa gleichviel wie der Keimling in seiner Reserve schon besass, so dass sein Besitz aufs Doppelte stieg. In 50 aber beträgt der Gewinn 2 Einheiten, in NL so-

Abb. 10.

Ca-Gewinn des Keimlings in 7 Tagen.
Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung (rezipr. Normalität). Ordinate: Ca-Gewinn (Gehalt des ungekeimten Kornes = 1).



gar 4! Da in den reinen Ca-Lösungen das Ca nicht gemeinsam mit Mg, K und Na, sondern als einziges Kation eindringt (ausser H), müssen in diesen Pflanzen auch beträchtliche Verschiebungen im gegenseitigen Verhältnis der Ionen eintreten. Sowohl stark veränderte absolute Ca-Mengen wie verändertes Ionen-Verhältnis können auf die Plasmakolloide nicht ohne Wirkung sein. Es wäre also falsch, die an der Trockensubstanz beobachteten Erscheinungen in Ca-Lösungen einfach auf eine Oberflächenwirkung an der Wurzel zurückzuführen. Weil derart grosse Verschiebungen in der Ionenbilanz des Pflanzeninnern vorliegen, werden wir die Trockensubstanzverhältnisse auf Grund dieser Verschiebungen zu erklären versuchen.

Im Konz.gebiet 800 bis 50 der reinen Ca-Lösungen ist kein Maximum zu bemerken. Je konzentrierter die Lösung war, um so mehr nahm der Keimling in 7 Tagen auf. Diese Menge stieg auf das Doppelte bei Erhöhung der Konz. von 800 auf 50 (16fach). Die Ca-Aufnahme und somit der totale Ca-Gehalt der Pflanze ist also durch Variation des Lösungs-Ca leicht beeinflussbar. Weit aus die grösste Aufnahme zeigt die Pfeffersche Nährlösung NL, welche das Ca in der Konz. 1/200 enthält. Es wurde zirka 2½mal soviel aufgenommen wie in der gleich konzentrierten reinen Ca-Lösung. Daran dürfte vor allem das, verglichen mit Cl, schnell wandernde NO₃-Ion schuld sein.

Die Werte in Abb. 8 sind, wie oben angegeben, auf den Ca-Gehalt des ungekeimten Kornes, nicht wie sonst üblich, auf das Wurzelgewicht bezogen. Wenn das Wurzelwachstum während der Beobachtung der Aufnahme nennenswerte Beträge erreicht, sind die auf mittleres Wurzelgewicht bezogenen Werte unsicher. Nur in ganz kurzfristigen Versuchen sind sie brauchbar. Zudem ist für uns wertvoll, wenn aus den Aufnahmezahlen sofort hervorgeht, welche Bedeutung der aufgenommenen Ionenmenge im Innern der Pflanze zukommt.

Nachdem wir festgestellt haben, dass die in den Keimling eingewanderten Ca-Mengen gross sind, und dass zwischen den einzelnen Lösungen deutliche Unterschiede bestehen, soll geprüft werden, wie sich das aufgenommene Ca im Pflanzeninnern verteilt. Tab. 9 und Abb. 11 (Seite 353) geben die Ca-Gehalte der ganzen Pflanze und der einzelnen Teile.

Tabelle 9.

Ca-Gehalte nach 7 Tagen Gehalt des ungekeimten Kornes = 1	DW	800	200	50	NL
Trieb	0,294	0,864	0,832	0,370	2,94
Samenrest	0,655	0,779	0,851	1,916	0,708
Wurzel	0,0745	0,345	0,800	0,718	1,372
ganze Pflanze	1,022	1,984	2,482	3,003	5,02

Alle Werte sind bezogen auf den Ca-Gehalt des ungekeimten Kornes = 1 (1000 Körner enthielten 15,30 mg Ca). Betrachten wir zuerst das mit der Lösung direkt in Kontakt stehende Aufnahmeorgan, die *Wurzel*. Der erste Eindruck ist der, dass ihr Ca-Gehalt von DW bis NL steigt, also mit wachsender Aufnahme. Je mehr Ca die Pflanze als Ganzes erhält, um so grösser ist auch die der Wurzel zukommende Menge. Bei der *Trieb*+*Samenrest*-Kurve zeigt sich dasselbe. Nicht nur die Wurzeln erhielten immer mehr Ca, es gelangten auch immer grössere Mengen nach den oberen Pflanzenteilen. Dies ist die allgemeine Regel, die wir aus den beiden Kurven herauslesen. Gehen wir auf Einzelheiten ein, dann muss der verglichen mit 800 und 50 zu hoch erscheinende Wurzelwert von 200 erwähnt werden, über den wir im nächsten Kapitel Klarheit verschaffen.

Fragen wir nun, was mit dem nach oben aus der Wurzel auswandernden Ca geschieht, dann geben uns die Samenrest- und die Triebkurve eine bemerkenswerte Antwort. Erstens beweist der Wert für 50 in der *Samenrestkurve*, dass Ca nicht nur aus dem keimenden Korn ausgewandert ist, sondern auch der Reserveströmung entgegen in dasselbe einwandern kann. Dieser Samenrest enthielt bei der Ernte zirka doppelt soviel Ca wie das ungekeimte Korn!¹ Zweitens zeigt die *Triebkurve* gerade bei 50 einen sehr niedrigen Wert. Die Sprosse von 50 unterscheiden sich im Ca-Gehalt nur wenig von denjenigen auf DW. Wir sehen also, dass das nach oben auswandernde Ca nicht einfach als für den Trieb gewonnen angesehen werden darf. Es können beträchtliche Mengen in den Samenrest einwandern. Ungefähr das Gegenteil von 50 stellt NL dar, wo der Ca-Gehalt des Triebes sehr gross, derjenige des Samenrests klein ist. In 800 und 200 ist die Ca-Verteilung zwischen Samenrest und Spross etwa gleich.

Aus Abb. 11 ging hervor, dass mit wachsender Aufnahme nicht nur der Ca-Gehalt der Wurzel ansteigt, sondern auch die nach oben auswandernde Ca-Menge. Die quantitativen Beziehungen zwischen der Aufnahme und den Ca-Gehalten der Pflanzenteile zeigt uns Abb. 12

¹ Für komplette Nährlösung ist von Burstroem 1934 an Haferkeimlingen ebenfalls Ionenspeicherung im Samenrest beobachtet worden.

Abb. 11 (links).

Ca-Gehalt nach 7 Tagen, dargestellt als Funktion der Lösungskonzentration. Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung in rezipr. Normalität. Ordinate: Ca-Gehalt (ungekeimtes Korn = 1). Wz = Wurzeln, Tr = Trieb, Sa = Samenrest, g. Pfl. = ganze Pflanze.

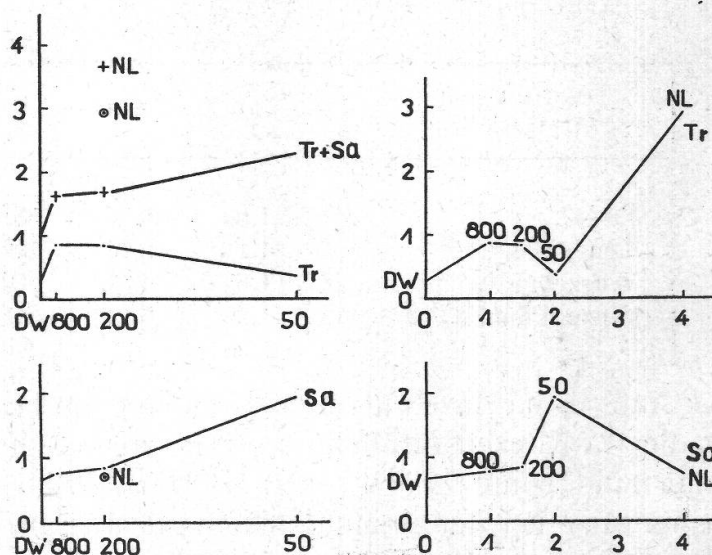
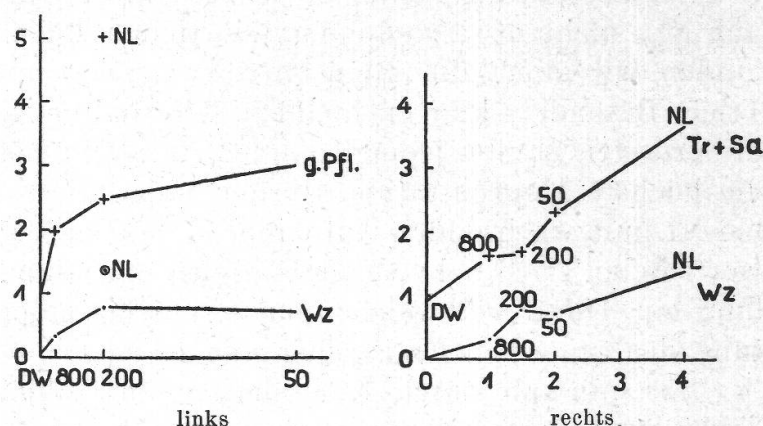


Abb. 12 (rechts).

Ca-Gehalt nach 7 Tagen, dargestellt als Funktion der Aufnahme. Abszisse: Ca-Aufnahme bezogen auf Ca-Gehalt des ungekeimten Kornes = 1. Ordinate: Ca-Gehalt (ungekeimtes Korn = 1). Wz = Wurzeln, Tr = Trieb, Sa = Samenrest.



(Seite 353 rechts). Die Ca-Gehalte sind als Funktion der Aufnahmemenge dargestellt. Man sieht, wie die Verteilung des aufgenommenen Ca auf Wurzel und Trieb + Samenrest nur relativ geringen Schwankungen unterworfen ist. Dagegen erfolgt die Verteilung des nach oben auswandernden Ca auf Samenrest und Trieb sehr verschieden. Wir werden im nächsten Abschnitt die Bedeutung des Samenrestes für den Salzhaushalt des jungen Keimlings, besonders für das Gedeihen des Triebes, eingehender behandeln.

Wechselwirkung Ca-Trockensubstanz in der CaCl_2 -Serie.

Nachdem wir die Trockensubstanz und das Ca für sich betrachtet haben, sollen nun die Beziehungen beider zueinander erörtert werden. Wir gehen aus von Tab. 10, welche die Ca-Konzentrationen darstellt, wie sie sich nach 7 Tagen in den verschiedenen Pflanzenteilen finden.

Die Tabelle gibt die Werte Ca-Gehalt über Trockensubstanz für Trieb, Samenrest, Wurzel und ganze Pflanze. Das ursprüngliche Verhältnis im Korn ist = 1 gesetzt. Wir sehen, dass alle Zahlen grösser

Tabelle 10

Ca/Trockensubstanz Ursprüngl. Verh. = 1	DW	800	200	50	NL
Trieb	1,53	3,50	3,40	1,69	8,66
Samenrest	1,13	2,68	3,24	4,89	5,38
Wurzel	1,63	4,96	8,62	13,72	16,35
ganze Pflanze	1,25	3,27	4,13	4,53	9,04

als 1 sind, d. h., dass auf allen Lösungen in Trieb, Wurzel und Samenrest die Ca-Konzentration grösser ist als ursprünglich. Auch die DW-Zahlen sind somit grösser als 1. Dies erklärt sich durch Substanzverringerung bei der Atmung. Es wird aber in keinem Pflanzenteil auf DW der entsprechende Wert einer Ca-Lösung erreicht. Die DW-Werte jeder Zeile sind die kleinsten. Die grösste Ca-Überschwemmung erfolgte auf NL, nicht etwa auf einer der reinen Lösungen. Für DW und NL fanden wir auch die kleinsten bzw. grössten Gehalte in Wurzel und Trieb. Besonders klar erscheint das Verhalten der Wurzelwerte. Es sind die grössten Zahlen jeder Kolonne. Auf allen Lösungen zeigt die Wurzel die höchste Konzentration. Ferner steigt diese Konzentration von DW bis NL mit wachsender Aufnahme. Das gleiche gilt für den Samenrestwert. Beim Trieb nehmen die einseitigen Lösungen eine besondere Stellung ein. Diese « Abweichungen » sind besonders wertvoll für die Deutung der typischen Ca-Erscheinungen.

Es soll nun durch Kombination der Tabellen 9 und 10 mit den Trockensubstanzergebnissen ein möglichst klares, einfaches Bild von der Ca-Wirkung gegeben werden. Wir gehen dabei so vor, dass wir das Ca auf seiner Wanderung in der Pflanze verfolgen bis in den Trieb. Ein Tag nach der Aussaat der gequollenen Weizenkörner auf die paraffinierten Netze dringen die Wurzeln in die Lösungen ein. Die noch gleich beschaffenen Aufnahmeorgane, ein besonders an Ca armes Kolloidsystem, werden dem Ionenbombardement verschiedener Intensität und Zusammensetzung ausgeliefert. Schon nach kurzer Zeit müssen wenigstens die äusseren Schichten der Wurzel eine ebenso verschiedene Besetzung der negativen Kolloidteilchen mit Kationen aufweisen. Die Kolloide selbst werden sich dabei verändern. Durch die starke einseitige Ca-Zufuhr dürfte Dispersitätsvergrößerung, vielleicht auch Verminderung der Quellung, eintreten. Auf NL wirkt dem Ca besonders K entgegen. Eine Änderung der Kolloidnatur beeinflusst nun auch die enzymatischen Vorgänge, welche auf diesem Substrat sich abspielen. Atmung und Kondensationsprozesse des Wachstums (besonders Cellulosebau) werden durch Ca-Zufuhr gesteigert (energetische Kuppelung, siehe Abb. 5 !). Der grössere Materialverbrauch an den Stellen erhöhter Ca-Konzentration in der Wurzel verdünnt das Reservegemisch und erhöht

so die Geschwindigkeit des Stoffstromes nach dem Verbrauchsort Wachstum, Atmung und Wurzelstrom steigen. Die schon vorhandenen Kolloidflächen werden durch aufgenommenes Ca immer dichter besetzt und andere Ionen verdrängt. Durch Wachstum neu geschaffene, nur schwach besiedelte Flächen bieten neuen Platz und erhöhen so die Aufnahmemenge. Ein Teil des Ca verlässt die Wurzel und tritt in den Samenrest und Trieb ein, wo die Ca-Besetzung noch gering ist. Ohne Wachstum und Abwanderung müsste sich schliesslich bei fortgesetzter Aufnahme Gleichgewicht einstellen zwischen Wurzel und Lösung wie bei einem Adsorptionsversuch mit einem toten System. Es müsste die bekannte *Freundlich*sche Gleichung $x/m = k \cdot c^{1/p}$ erfüllt sein. Interessanterweise genügen meine Zahlen für die einseitigen Lösungen dieser Bedingung, trotzdem ja Wachstum und Abwanderung stattfanden. In Abb. 13 ist die Wurzelkonzentration $(x/m)^1$ als Funktion der Lösungskonzentration (c) bei der Ernte dargestellt. Logarithmiert ergibt die Kurve eine Gerade.

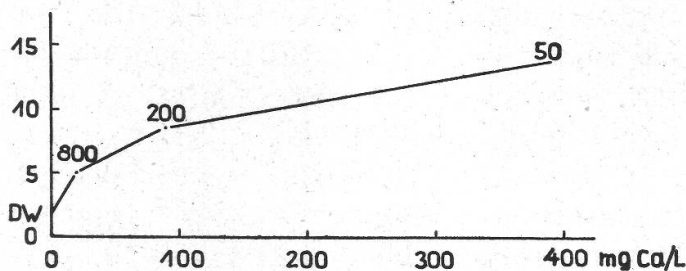


Abb. 13.
Die Ca-«Konzentration» der Wurzel als Funktion der Lösungskonzentration. Abszisse: Ca-Konzentration der Lösung bei der Ernte in mg Ca/L. Ordinate: Verhältnis Ca-Gehalt der Wurzel/Trockensubstanz der Wurzel (s. Tab. 10).

(Ca-Gehalt des ungekeimten Kornes / Trockensubstanz des ungekeimten Kornes = 1.)

Ich erkläre dieses Verhalten durch langsame Ca-Abwanderung (Als Beweis für die langsame Wanderung mag die auf Ca-Lösungen beobachtete überragende Stellung der Wurzelkonzentration gelten: Tab. 10) und relativ schnelle Besetzung der durch Wachstum neu geschaffenen Kolloidflächen, welche ja nur in geringer Entfernung von der Lösung und von konzentrierteren Wurzelteilen liegen. So spiegeln dann die Wurzelkonzentrationen den Adsorptionsvorgang wieder. Es sind Zahlen auf dem Wege zum Adsorptionsgleichgewicht, welche in ihren gegenseitigen Beziehungen der Formel von *Freundlich* genügen. In NL wurden neben Ca gleichzeitig die Kationen K, Mg und Fe aufgenommen. Die Besetzung und Änderung der Wurzelkolloide erfolgt hier anders als bei der an Ca gleichkonzentrierten Lösung 200. Die Wurzelkonz. auf der Nährlösung NL ist 1,9mal so gross wie auf der einseitigen Lösung 200, und passt somit in Kurve Abb. 13 nicht hinein. Für Nährlösungen, in welchen nur Ca variiert wurde, ist von *Burström* 1934 an Haferkeimlingen für die Ca-Wurzelkonzentration das Verhältnis

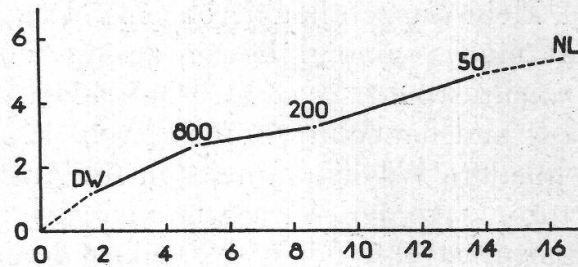
¹ Ca-Gehalt der Wurzel / Trockensubstanz der Wurzel (Tab. 10).

1 : 4,9 : 29 gefunden worden, bei einem Ca-Konzentrationsverhältnis der Lösungen von 1 : 5 : 25, « also annähernde Proportionalität zwischen Aussen- und Innenkonzentration » und nicht wie in meinen reinen Ca-Lösungen bei Weizen eine Exponentialbeziehung. Der Unterschied zwischen Burstroems Befunden und den meinigen ist wohl abgesehen von der sich vielleicht etwas anders verhaltenden Versuchspflanze auf die Differenz in der Wirkung von kompletter Nährlösung und reiner Ca-Lösung zurückzuführen. Die ganze Schar der mit dem Ca einwandernden Ionen hat das Bild verändert. Dabei sind auch Anionen wesentlich beteiligt. Nach Burstroem wirkt besonders NO_3 transportfördernd, also störend auf die Einstellung des Ca-Adsorptionsgleichgewichtes. Wurzelkonzentrationen und Lösungskonzentrationen verraten keine Exponentialbeziehung. Dagegen konnte eine solche zutage treten in meinen Versuchen, wo dem Ca nur Cl mitgegeben wurde. Aber auch hier sind es nicht die eigentlichen Gleichgewichtswerte, sondern Zahlen auf dem Wege dazu. Auf die Frage, wie die Proportionalität in den Versuchen Burstroems zu erklären ist, gibt er selbst die Antwort, dass es sich nur um « scheinbare, durch Adsorptions- und Wachstumsgeschwindigkeit bedingte, bewegliche Gleichgewichte » handle, « deren theoretische Interpretation kaum möglich wäre ». NL lässt sich also nicht unter die einseitigen Lösungen einreihen, wenn Lösungskonzentration und Wurzelkonzentration betrachtet werden. Dagegen zeigt Tabelle 10, dass die Wurzelkonzentration von DW bis NL, also mit wachsender Aufnahme, zunimmt. Das Verhalten der einseitigen Lösungen können wir verstehen : Je konzentrierter die Aussenlösung, desto grösser die Adsorption, desto grösser die Aufnahme. Bei NL konkurrieren K, Mg und Fe mit dem Ca und sollten, wenn sich das Kolloid nicht verändert, die Ca-Adsorption herunterdrücken (Verdrängung), also die Aufnahme verkleinern. Wenn wir auf dem Standpunkt stehen, dass letztere von Adsorptionsvorgängen beherrscht wird, fordert ihr tatsächlich hoher Wert eine andere Beschaffenheit der Kolloide. Vielleicht ist es der höhere Dispersitätsgrad, der die grössere Aufnahme ergibt.

Wir haben das Aufnahmeorgan, die Wurzel, als ein in die Salzlösung eingetauchtes, kolloidales System betrachtet, die Aufnahme als einen im wesentlichen auf Adsorption beruhenden Vorgang und die Wurzelkonzentration als einen Wert, der auf ein Gleichgewicht hinzielt. Diesem kolloidalen System stehen nun zwei weitere gegenüber, der Samenrest und der Trieb. Das Ca soll jetzt auf seinem weiteren Weg nach diesen Organen betrachtet werden. Weil der Samenrest seine Trockensubstanz auf kleinem Raum vereinigt (Distanzen gering) und direkt am Wege von der Wurzel zum Trieb steht, ausserdem nicht wächst, sondern ständig kleiner wird und dadurch konzentrierend wirkt, vermuten wir zum vornherein einen engen Zusammenhang Samenrest—Wurzel, was Abb. 14 auch beweist.

Abb. 14.

Die Ca-«Konzentration» des Samenrestes als Funktion der Ca-«Konzentration» der Wurzel (Ca-Konz. des ungekeimten Kornes = 1). Abszisse: Ca-Konzentration der Wurzel. Ordinate: Ca-Konzentration des Samenrestes.



Je höher die Konzentration in der Wurzel steigt, um so grösser wird sie im Samenrest. Sie bleibt aber überall unter der Wurzelkonzentration. Der Grund dafür dürfte der sein, dass die Samenrestkolloide schon weiter von der Lösung entfernt sind als diejenigen der Wurzel, und dass der Ausgleich (Wanderung) nur langsam erfolgt. Auf allen Lösungen ist natürlich zuerst Ca mit den Stoffströmen nach Trieb und Wurzel ausgewandert. Mit zunehmender Wurzelkonzentration setzt dann auf den Ca-Lösungen eine entgegengesetzte Wanderung ein, weil der Samenrest unter der Gleichgewichtskonzentration liegt. Wahrscheinlich hält aber die Ca-Wanderung vom Samenrest mit dem Stoffstrom nach der Wurzel trotzdem an. Weil der Samenrest so wenig wie die Wurzel etwas Konstantes und Abgeschlossenes darstellt, wird es auch hier nie zu einem vollständigen Gleichgewicht kommen.

Der Samenrest erscheint als « Ionenfänger » am Wege von der Wurzel zum Trieb. Als solcher muss er für die Deutung der Triebsergebnisse herangezogen werden. Je mehr organisches Reservematerial er noch enthält und je intensiver die Ionenaufnahme ist, um so mehr fällt seine Abfangtätigkeit ins Gewicht. Erst wenn er praktisch geleert ist, in späteren Keimlingsstadien, darf er vernachlässigt werden. In 800 ist gegenüber DW eine wesentliche Wachstumssteigerung sowohl der Wurzel wie des Triebes eingetreten (Abb. 7). Wir betrachten beides als eine Folge der besseren Ca-Versorgung: Dichtere Besetzung der Kolloide mit Ca, Änderung ihrer Eigenschaften in für Wachstum und Atmung günstigem Sinne, gesteigerte Stoffströme. Der Ca-Gehalt des uns jetzt interessierenden Triebes (Abb. 12) ist in 800 bei der Ernte 2,9mal so gross wie auf DW. Es ist also 2,9mal soviel Ca in den Trieb gelangt. Sein Trockengewicht stieg auf das 1,6fache. Einen Teil des nach oben aus der Wurzel ausgewanderten Ca hat der Samenrest abgefangen. Sein Ca-Gehalt ist 1,2mal so gross wie bei DW, trotz der grösseren Substanzabnahme, die einen kleineren Gehalt erwarten liesse. Das Trieb-Ca macht 53 % desjenigen von Samenrest + Trieb aus. Erhöhen wir jetzt die Lösungskonzentration, gehen wir über zu 200, dann wird die Wurzelkonz. grösser und das Wurzelwachstum intensiver. Der innere Bedarf an Ca steigt also (Besiedelung von neugeschaffenen Flächen). Dies hat, wie Abb. 13 zeigt, die endgültige Wurzelkonz. nicht erniedrigt. Dagegen ist auf 200 die Samenrestkonz. deutlich

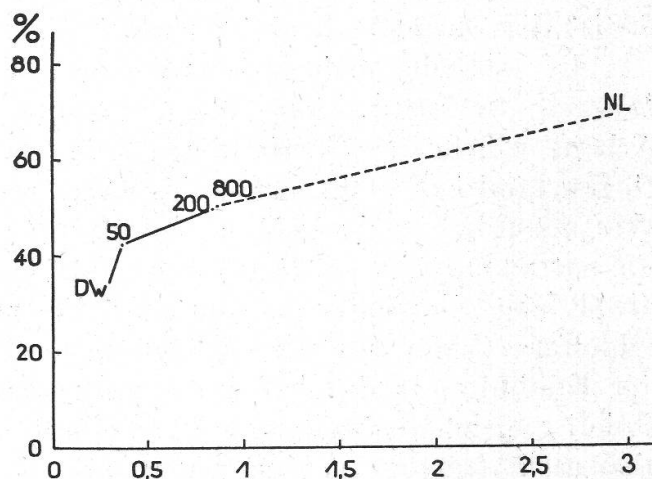
zu klein ausgefallen (Abb. 14). Das hier sehr starke Wurzelwachstum hat eine Senkung, besser gesagt, eine weniger grosse Zunahme der Samenrestkonz. bewirkt. Das erklärt auch den Knick der Trieb+Samenrest- und der Wurzelkurve (Abb. 12). Das im Verhältnis zur Aufnahme schnellere Wachstum hat den für Auswanderung nach oben erreichbaren Prozentsatz der Aufnahme erniedrigt. So finden wir dann auf 200 in Samenrest + Trieb nicht mehr Ca als bei 800, sondern nur gleichviel, für 800 164% von ungekeimt, für 200 168%.

Wir gehen nun zur Frage über, wie die Triebe auf 200 ausfallen müssen. Durch das intensive Wurzelwachstum muss der Samenrest kleiner werden. Bei der Ernte ist er für 800 35,3% des ungekeimten Kornes, für 200 31,8%. Trotz der höheren Konzentration ist dann sein Gehalt zirka gleich wie bei 800 (Abb. 12). Beide Samenreste haben annähernd gleichviel von dem aus der Wurzel auswandernden Ca weggefangen, und weil aus den obenerwähnten Gründen die gesamte ausgewanderte Ca-Menge auf 200 nicht höher ist als bei 800, sondern gleich gross, bleibt für die Triebe auf 200 gleichviel Ca übrig wie auf 800. Als Folge davon ist auch ihre Trockensubstanz gleich. Erhöhen wir die Ca-Konzentration der Lösung noch mehr (50), dann steigt auch die Wurzelkonz. weiter an. Das Wurzelwachstum jedoch verlangsamt sich wieder (Abb. 7). Der für Atmung und Wachstum günstigste Kolloidzustand ist überschritten. Ca dominiert nun zu sehr. Wegen des langsameren Wurzelwachstums bleibt der Samenrest ziemlich gross (Tab. 2), also sehr aufnahmefähig. Zudem muss wegen der hohen Wurzelkonz. auch die Samenrestkonz. hoch ausfallen. Die beiden Bedingungen für starke Abfangtätigkeit sind in extremer Weise erfüllt. Wir erwarten einen hohen Ca-Gehalt des Samenrestes und einen geringen des Triebes. Abb. 12 gibt die Bestätigung. Der Samenrestgehalt ist doppelt so gross wie im ungekeimten Korn, der Triebgehalt nur etwas grösser als bei DW! Damit fällt dann auch der Trieb kleiner aus als bei 200 und 800. Schöner als mit diesem letzten Beispiel könnte die Bedeutung des Samenrestes für die Ca-Verteilung nicht gezeigt werden. Von der Ca-Verteilung hängt aber die Reserveverteilung, die Wachstumsverteilung ab. Wir wollen nun auch noch NL einer gleichen Betrachtung unterwerfen, wie sie für die reinen Lösungen angewendet wurde. Nach der hohen Ca-Konz. in der Wurzel (16,4) müsste auf einer einseitigen Lösung das Wurzelwachstum gering sein, sicher unter demjenigen von 50 (Konz. = 13,7). In Wirklichkeit liegt es in der Nähe von 200. Die Ca-Wirkung auf die Kolloide wird eben durch die übrigen Kationen, wahrscheinlich besonders K, abgeschwächt. So ist dann der Zustand der Kolloide für Wachstum und Atmung ein günstiger, trotz der hohen absoluten Ca-Konz. Durch das gute Wurzelwachstum wird der Samenrest klein. Seine Konz. muss aber hoch ausfallen, wegen der hohen Wurzelkonz. Die Prognose für das Trieb-Ca dürfen wir nur

stellen unter Berücksichtigung der leichteren Wanderung (NO_3 !). Nicht nur der Samenrest, sondern auch der Trieb wird schon früh, früher als dies bei den einseitigen Lösungen der Fall ist, merkliche Ca-Mengen erhalten, dazu erst noch aus der Wurzel geliefertes K, Mg usw. So muss der Trieb bald mit schnellerem Wachstum einsetzen. Gerade dieses verkleinert aber den schon durch die Wurzel stark beanspruchten Samenrest weiterhin. Seine Bedeutung als Ionenfänger wird immer geringer, was wieder dem Trieb zugute kommt. Bei der Ernte macht schliesslich der Samenrest noch 16% des ungekeimten Kornes aus. Sein Ca-Gehalt ist dann trotz der hohen Konzentration nur 0,71, nicht grösser als bei DW, 800 und 200. Der Triebgehalt ist aber 2,9, zirka $3\frac{1}{2}$ mal so gross wie auf 800, 8mal so gross wie auf 50 und 10mal so gross wie auf DW. Bei der nicht nur hinsichtlich der Menge, sondern auch in Rücksicht auf die Zusammensetzung guten Salzversorgung des Triebes, ist sein hoher Trockensubstanzgehalt von 41,2 (Tab. 5) nicht verwunderlich. Die fördernde Wirkung muss man sich wohl auch beim NL-Trieb besonders als günstige Beeinflussung des Kolloidzustandes vorstellen. Einer eventuellen Nährwirkung durch stärkere NO_3^- , PO_4^- und SO_4^- -Zufuhr (gesteigerter N-, P- und S-Verbrauch) dürfte in meinen Versuchen nur geringe Bedeutung zukommen.¹ Dagegen stehen der Aufbau von Zellulose und Eiweiss aus Bausteinen, die vom Samenrest geliefert werden, also eben vom Kolloidzustand abhängige, enzymatische Prozesse im Vordergrund.

Abb. 15.

Die Abhängigkeit des Triebwachstums vom zugeführten Ca. Abszisse: Ca ausgewandert nach Trieb (= Triebgehalt). Ordinate: Triebstrom in Prozent von ungekeimt.



Es wurde bei den reinen Lösungen das Gedeihen des Triebes, gleich wie dasjenige der Wurzel, durch verschiedene Ca-Versorgung erklärt. Abb. 15 gibt den Zusammenhang zwischen dem nach dem Trieb ausgewanderten Ca (Tab. 9) und dem durch grösseren Materialverbrauch gesteigerten Triebstrom. NL ist ebenfalls in die Figur aufgenommen.

¹ Wasniewsky 1914.

Nehmen wir an, auf irgendeiner der einseitigen Lösungen sei soviel Ca in einen Triebteil eingewandert, dass dort eine für die Wachstumsvorgänge günstige Kolloidbesetzung resultiert. Schliessen wir jetzt diese Triebstelle von weiterer Ca-Zufuhr ab, dann tritt durch das Wachstum Verdünnung ein. Mit dem Sinken der Ca-Konz. ändert sich aber die Kolloidbeschaffenheit. War sie vorher besonders günstig, dann wird sie jetzt schlechter sein und die Wachstumsvorgänge wieder abbremsen. Kontinuierlich gutes Wachstum ist also nur gewährt bei ständiger Ca-Belieferung. Es sieht so aus, wie wenn beim Wachstum das Ca verbraucht würde. Je mehr Ca in der Zeiteinheit in den Trieb gelangen konnte, um so grösser wird der Trieb sein bei der Ernte. In Abb. 15 ist auch das veratmete Material berücksichtigt. Die für Wachstum und Atmung verbrauchte, aus dem Samenrest eingewanderte Substanz ist dort als Triebstrom bezeichnet, wie in einem früheren Kapitel der Arbeit. — Von DW über 50 und 200 nach 800 steigt mit wachsender Ca-Einwanderung der Materialverbrauch und damit der Triebstrom. Der für NL eingetragene Punkt setzt die Kurve so fort, wie wenn auch dort das Triebwachstum vorwiegend durch Ca bestimmt worden wäre. Wir könnten das verstehen, weil im jungen Trieb vor der Einwanderung von aufgenommenem Salz besonders das Ca fehlt. Auch ist ja Ca weniger leicht beweglich als beispielsweise K, wird also wenigstens zu Beginn spärlicher eintreffen, so dass der Trieb von der Ca-Zufuhr abhängt. Ein ähnliches Bild wie die Triebe geben die Wurzeln. Bei 50 erscheint aber der Wurzelstrom als zu klein im Verhältnis zum Ca-Gehalt. Bei 50 ist der optimale Kolloidzustand überschritten.

Es soll nun noch geprüft werden, wie eigentlich das *kleine Trieb-Wurzel-Verhältnis* auf reinen Lösungen zustande kommt. In jeder Arbeit, welche das Verhalten von Keimlingen auf Ca-Lösungen zum Gegenstand hat, steht sicher der Satz: Ca fördert das Wurzelwachstum. Wie meine Versuche zeigen, fördert Ca aber auch das Triebwachstum. Ca hat sich nicht als indifferent, oder gar als ungünstig erwiesen für die Triebe. Sie fielen im Gegenteil um so grösser aus, je mehr Ca sie erhielten. Wenn wir die Wachstumsbeschleunigung auf die Änderung der Kolloidnatur durch das Ca zurückführen, erscheint uns eine prinzipiell gleiche Reaktion von Wurzel und Trieb verständlich. Wir dürfen also nicht fragen: Warum wirkt das Ca auf die Wurzeln günstig, auf den Trieb schlecht, sondern: Warum wird die Wurzel auf reinen Ca-Lösungen mehr gefördert als der Trieb? Ich gebe zur Antwort: Weil die Ca-Belieferung der Wurzel besser ist als diejenige der Triebe. Schon zu Beginn erwächst der Wurzel dadurch ein Vorteil, dass sie direkt an die Lösung angrenzt. Dazu kommt die schlechte Wanderung des Ca. Sie gibt sich durch die einem Gleichgewicht mit der Lösung zustrebende, überragende Wurzelkonz. zu erkennen. Die Aufnahme von Ca aus der Lösung vermag den durch Abwanderung bedingten Verlust mehr als

auszugleichen. Die Wurzel steht also, was die Ca-Belieferung anbetrifft, günstig da. Anders verhält es sich mit dem Trieb. Er kann sich nicht direkt von der Lösung aus versorgen. Das Ca muss einen längeren Weg im Innern der Pflanze zurücklegen. Die für die Wurzel günstige, langsame Fortbewegung des Ca benachteiligt den Trieb. Aber auch die grosse Wachstumsbeschleunigung der Wurzel setzt die nach oben auswandernde Ca-Menge herunter. Das zeigte uns 200. Nicht genug damit! Vom auswandernden Ca tritt erst noch ein Teil in den Samenrest ein. Dieser Anteil kann sehr beträchtlich sein wie 50 lehrt. Die geringe Wanderungsgeschwindigkeit des Ca, das intensive Wurzelwachstum und die Abfangtätigkeit des Samenrestes haben also in meinen Versuchen die Ca-Zufuhr zu den Trieben erniedrigt. Kleinere Ca-Zufuhr hat aber, wie wir sahen, kleinere Wachstumsgeschwindigkeit zur Folge. Gute Ca-Belieferung der Wurzel, herabgeminderte des Triebes, das gibt das kleinere Trieb-Wurzel—Verhältnis. Die Bedeutung jedes einzelnen der oben angeführten Gründe muss natürlich von Fall zu Fall abgewogen werden.

Nachdem es uns gelungen ist, das kleine Trieb-Wurzel—Verhältnis auf einseitigen Ca-Lösungen zu erklären, wollen wir unsere diesbezüglichen Befunde mit denjenigen B u r s t r o e m s 1934 vergleichen, die an Hafer auf kompletten Lösungen durch Variierung des Ca gewonnen sind. Auch auf der kompletten Nährlösung findet B u r s t r o e m ein Sinken des Trieb-Wurzel—Verhältnisses unter zunehmendem Ca-Einfluss. Die Effekte sind aber relativ gering, was wahrscheinlich besonders auf das transportfördernde NO_3 zurückzuführen ist. Eine maximale Wirkung, wie in meinen Versuchen bei 200, tritt nicht auf. Die von B u r s t r o e m angewandte Ca-Konz. $1/40$ n zeigt einen noch etwas kleineren Quotienten als $1/200$ n im gleichen Versuch. Hätte man aber die Ca-Konz. noch weiter erhöht, oder die Konz. aller übrigen Ionen niedriger gewählt, dann wäre ebenfalls ein Extremwert aufgetreten. Die Beeinflussung der Kolloide durch Ca dürfte in kompletter Lösung vor allem durch K herabgemindert werden. Bis jetzt sahen wir, dass in B u r s t r o e m s Versuchen eine Variation der Ca-Konz. von geringerem Einfluss war, und dass ein minimales Trieb-Wurzel—Verhältnis (bei Konstanz aller Ionenkonz. ausser derjenigen von Ca) in höherem Konz.-Gebiet zu suchen ist. Für beides können Ionen, welche das Ca auf kompletter Nährlösung begleiten, verantwortlich gemacht werden.

In meinen Versuchen sind die Triebe in 200 nur gleich wie bei 800, in 50 deutlich schlechter ausgefallen. Wir haben das durch schnelles Wurzelwachstum und Abfangtätigkeit des Samenrestes erklären können. In B u r s t r o e m s Versuchen nun steigen die Triebwerte mit zunehmender Ca-Aussenkonz. ständig an. Die Triebe erhalten immer grössere Salzmengen, und wie die Analysen zeigen, auch immer mehr Ca. Sowohl das Wurzelwachstum wie der Samenrest haben die Ca-Beliefe-

rung des Triebes nirgends so weit heruntergesetzt, dass der Trieb weniger Ca erhalten hätte als bei einer schwächeren äusseren Ca-Konz. Auch diese Differenzen zwischen den Versuchen *Burstroems* und den vorliegenden sind wohl in erster Linie als Unterschiede im Verhalten von reiner Ca-Lösung und kompletter Lösung anzusehen. Auf kompletter Lösung sind Aufnahme und Fortleitung intensiver. Die oberen Pflanzenteile erhalten pro Zeiteinheit mehr Salze. Durch das bessere Triebwachstum nimmt der Samenrest schnell ab und ist dann als Ionenfänger weniger wirksam. Auch das Wurzelwachstum fällt wahrscheinlich wegen der besseren Beweglichkeit das Ca als ein für den Trieb ungünstiges Moment weniger in Betracht.

Burstroem erklärt das in seinen Versuchen bei Erhöhung der Ca-Konz. kleiner werdende Trieb-Wurzel-Verhältnis durch allgemein schlechteren Ionentransport. Das Ca hält die eingewanderten Salze zurück. Durch allgemein bessere Salzversorgung erwächst der Wurzel ein Vorteil gegenüber dem Trieb. In meinen Versuchen erhielten die Pflanzen ein einziges Salz, CaCl_2 . Wir dürfen deshalb die festgestellte Besserung der Wurzel und die Erniedrigung des Trieb-Wurzel-Verhältnisses direkt auf dieses Salz zurückführen. Das positive Ca-Ion hat durch Besetzen der negativen Kolloidflächen ein besseres Wachstum der Wurzel ermöglicht und der Trieb war ebenfalls abhängig von der Ca-Menge, die er erhalten konnte, also von der Wanderung des Ca selbst, vom Wurzelwachstum, vom Samenrest.

Permutitversuche.

In allen hier zu besprechenden Versuchen handelt es sich um Sandkulturen. Die Permutitkörner wurden gleichmässig in den Sand eingestreut, wenn nichts Besonderes bemerkt ist. Ihre Menge wurde so bemessen, dass den Wurzeln pro Volumeinheit der Sand-Wassermischung gleichviel Ca zur Verfügung stand, wie in einer Mischung von Sand mit CaCl_2 -Lösung der angegebenen Konzentration. Das verdunstete und das durch Transpiration verbrauchte Wasser wurde, wie übrigens auch in der CaCl_2 -Serie, alle 12 Stunden ersetzt (Wägung).

In einem ersten Versuch sollen Permutit- und CaCl_2 -Sandkulturen gleicher Konz. miteinander verglichen werden, um wesentliche, verschiedene oder gemeinsame Züge in der Beeinflussung des Wachstums durch adsorbiertes und freies Ca aufzudecken. Eine niedrige (400) und eine hohe (50) Konz. kamen zur Anwendung. Der Versuch dauerte 17 Tage. Tabelle 11 gibt die Resultate :

Tabelle 11.

	400	P 400	50	P 50 ¹
Triebe trocken, % des ungekeimten Kornes	42,3	41,2	36,0	47,2
Wurzeln trocken, % des ungekeimten Kornes	7,4	15,7	5,9	18,6
Triebe/Wurzeln	5,7	2,6	6,1	2,5

¹ 400 bedeutet CaCl_2 1/400 n, P 400 ist die entsprechende Permutitkonzentration.

Die Trockensubstanzwerte sind Mittel von 2 Schalen à 100 Pflanzen. Korngrösse des Permutits $< 0,16$ mm. Wir sehen, dass der Permutit, wie eine Lösung, die das Ca in freier Form enthält, besonders das *Wurzelwachstum* begünstigt und das *Trieb-Wurzel-Verhältnis* senkt. Ferner stellen wir fest, dass der *Permutit stärker* wirkt als die Ca-Cl_2 -Lösungen gleicher Konz.

Als nächstes wollen wir die Abhängigkeit des Wachstums von der Permutit-Konz. prüfen. Das Konz.-Gebiet wird sehr weit gewählt: niedrigste Konz. 1/12'800 n, höchste 1/3,12 n. Versuchsdauer 7 Tage. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse:

Tabelle 12.

	P 12'800	P 3'200	P 800	P 200	P 50	P 12,5	P 3,12
Triebe trocken, % des ungekeimten Kornes	22,3	23,0	25,4	26,6	28,0	29,1	33,4
Wurzeln trocken, % des ungekeimten Kornes	7,1	8,3	13,6	14,3	14,9	14,2	15,3
Triebe/Wurzeln	3,1	2,8	1,9	1,9	1,9	2,1	2,2

Es kam je 1 Schale à 100 Pflanzen zur Anwendung. Permutitkorngrösse $< 0,16$ mm. Die beste Wurzel und der beste Trieb liegen bei der höchsten Konz. P 3,12. Die Wurzelwerte verraten eine *S-Kurve*, während sie auf CaCl_2 -Lösungen bis zu einem Maximalwert ansteigen, um dann wieder abzufallen: Von P 12'800 bis P 3'200 geringer Anstieg, P 3'200 bis P 800 starkes Steigen, von P 800 an wird die Kurve wieder flacher. Bei den hohen Konzentrationen ist eine weitere Konzentrationssteigerung nur noch von geringer Wirkung. Im Gebiet des starken Anstiegs 3'200 bis 800 wird auch der Trieb wesentlich besser, doch lange nicht in dem Masse wie die Wurzel. So finden wir hier auch den grössten Sprung im Trieb-Wurzel-Verhältnis.

In den CaCl_2 -Versuchen sahen wir, wie die Wurzel in viel engerer Beziehung zur Lösung stand als der Trieb oder der Samenrest. Sie ist eben der mit der Lösung direkt in Kontakt stehende Teil der Pflanze. Wollen wir den Unterschied in der Wirkung von CaCl_2 -Lösung und Ca-Permutit verstehen, dann werden wir besonders das Verhalten der Wurzeln zu erklären versuchen.

Vor allem schien mir wichtig, zu entscheiden, ob ein *Kontakt* zwischen *Wurzel* und *Permutitteilchen* vorhanden sein muss, damit die beobachtete günstige Permutitwirkung zustande kommt. Gelingt es uns, zu zeigen, dass ein solcher Kontakt nicht notwendig ist, dann ist uns die Möglichkeit gegeben, das Verhalten der Keimlinge auf Permutit mit Hilfe der Erkenntnisse zu erklären, die an einfachen Lösungsversuchen gewonnen sind. Wir könnten dann die Permutitversuche auf Lösungsversuche zurückführen.

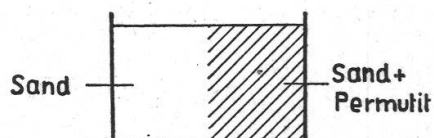


Abb. 16.

Schale mit Permutit-haltigem und Permutit-freiem Teil. Aufriss. S. Text.

In einem ersten Versuch zur Abklärung dieser Frage bin ich so vorgegangen, dass ich die Glasschalen nur zur Hälfte mit dem Permutit-Sandgemisch füllte, zur andern Hälfte aber mit reinem Sand : Abb. 16. Mit Hilfe einer Zwischenwand, die man nachher herauszieht, ist dies leicht zu erreichen. Weizenkörner wurden wie gewöhnlich auf die Schale ausgesät. Am Rand der Schale zeigten 2 Marken die Trennungslinie zwischen Permutit-haltigem und Permutit-freiem Sand. Die Permutitkörner wurden hier grösser gewählt als in den vorangehenden Versuchen : 0,45—0,32 mm. Die Trennung lässt sich so sicherer durchführen. Die Resultate des 18 Tage dauernden Versuches können Tabelle 13 entnommen werden (Mittelwerte von 2 Schalen à 100 Pflanzen).

Tabelle 13.

% des ungekeimten Kornes	Schalenhälfte ohne P	Schalenhälfte mit P 100
Trieb	40,3	43,4
Wurzel	12,3	17,8

Die Keimlinge fielen deutlich besser aus in der Permutithälfte der Schale, und es zeigte sich bei der Ernte nur eine ganz kurze Übergangszone von den durch Permutit begünstigten zu den in blossen Sand wachsenden schlechten Wurzeln. Dieser Versuch schien wegen der auch unter den Keimlingen deutlich ausgeprägten Scheidelinie für Kontakt zu sprechen. Nur dort, wo die Wurzeln die Permutitteilchen erreichen konnten, war die Permutitbegünstigung zu sehen.

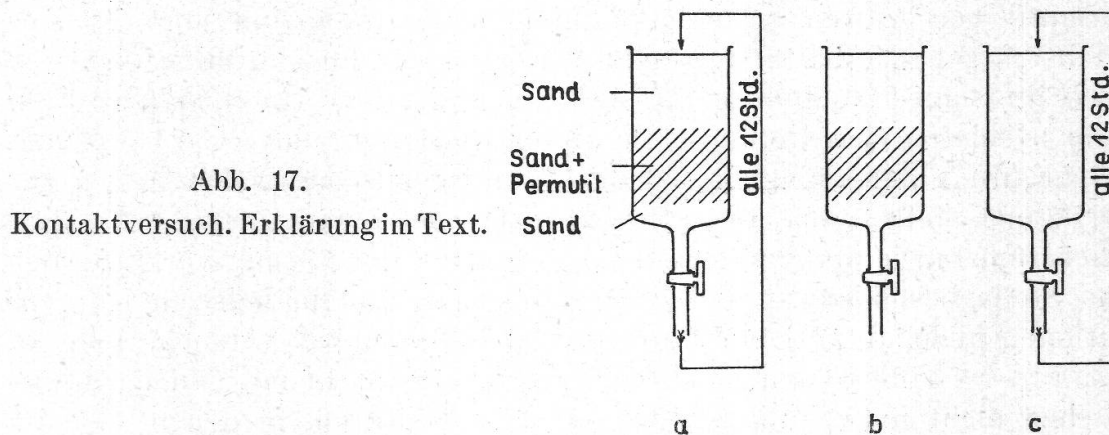
In einem nächsten Versuch streute ich den Permutit in einer Horizontalschicht ein. Diese wählte ich in verschiedenem Abstand von der Sandoberfläche : Die Wurzeln reagierten überhaupt nicht, wenn sich die Permutitlage am Boden der Schale befand. War sie in der Nähe der

Oberfläche, dann erfolgte kräftiger Ausschlag. Dieser Versuch gibt also die gleiche Antwort wie der vorhergehende.

Es besteht jedoch nach den Resultaten der beiden letzterwähnten Versuche immer noch die Möglichkeit, dass die Wurzeln bloss in die *Nähe der Permutitkörner* zu gelangen brauchen, sie selbst aber nicht berühren müssen, wenn sie besser gedeihen sollen. Wir hätten es dann doch nur mit einer Aufnahme aus der *Lösung* und einem Umtausch Lösung-Permutit zu tun, ohne irgendwelche Kontaktwirkung Pflanze-Permutit. Dass die Wurzeln in der *Nähe* des Permutits liegen müssen, würden wir so erklären, dass mit grösserer Entfernung der Umtausch wurzelnahe Lösung-Permutit durch den langen Diffusionsweg stark verzögert und unwirksam wird.

Um zu entscheiden, ob obige Versuche die Kontaktnotwendigkeit nur vorgetäuscht haben, in der Weise, wie es eben besprochen wurde, musste eine Anordnung getroffen werden, die nicht nur den Kontakt ausschliesst, sondern auch unabhängig von der Distanz den Umtausch zwischen wurzelnahe Lösung und Permutit garantiert.

In Abb. 17a sind diese Forderungen erfüllt.



Die Weizenkeimlinge wachsen auf einem mit Sand gefüllten Scheidetrichter (Quellung und Aussaat wie Schalenversuche. Siehe Methodik). In der unteren Hälfte des Gefässes befindet sich der Permutit, Korngrösse 0,32—0,45 mm, in einem für die Wurzeln bis Ende der Versuchszeit (9 Tage) unerreichbaren Abstand. Der Austausch wird so herbeigeführt, dass alle 12 Stunden der Wasserspiegel bis zur Oberfläche der Permutitschicht gesenkt wird durch Öffnen des Glashahns unter dem Gefäss. Die aufgefangene Flüssigkeit giesst man wieder oben hinein. Auf diese Art wird die Lösung, welche sich 12 Stunden in der Umgebung der Wurzeln befand, zum Permutit gebracht, um nach 12stündiger Austauschmöglichkeit wieder zu den Wurzeln zurückzukehren usw. Vergleichen wir in Tabelle 14 die auf a gewachsenen Pflanzen mit denjenigen von b, wo die Flüssigkeitsschichten nicht vertauscht wurden

(sonst genau gleiche Ausführung), dann finden wir eine wesentliche Besserung.

Tabelle 14.

% des ungekeimten Kornes	a	b	c
Trieb trocken	32,2	29,7	30,8
Wurzel trocken	14,9	6,3	8,4

Die Kultur a beweist, dass die *Permutitwirkung* auftreten kann *ohne Kontakt* mit den Wurzeln, und in Kultur b zeigt sie sich also nur deshalb nicht, weil es am Austausch fehlte, wie oben für die vorhergehenden Versuche in Betracht gezogen wurde.

Um sicher zu sein, dass die beobachtete gute Wirkung auf a nicht einfach durch bessere Durchlüftung gegenüber b zustande kommt, wurde c ausgeführt. In c befindet sich nur Sand, die Permutit-Kultur c wurde im übrigen behandelt wie a. Sie fiel etwas besser aus als b, ist aber noch weit entfernt von a. Mehrmalige Wiederholung des Versuches ergab immer wieder die überragende Stellung von a.

In den beiden Permutit-Versuchen sahen wir, dass sich auf Ca-Permutit bei Weizen besonders gutes Wurzelwachstum und kleines Trieb-Wurzel—Verhältnis einstellt wie auf einer Lösung mit freiem Ca. Als Unterschied stellten wir fest, dass wenigstens in den geprüften Konz.-Gebieten der Permutit in dieser Wirkung eine CaCl_2 -Lösung, welche pro Volumeinheit des Sand-Lösungsgemisches gleichviel Ca zur Verfügung stellt, noch übertrifft. Ferner fanden wir, dass die Wurzel-Wachstumskurve als Funktion der Konzentration S-förmig verläuft, also eine Stelle besonders steilen Anstiegs besitzt, und in höheren Konzentrationen nicht abfällt, nur flach wird. Die folgenden Versuche lehrten, dass für das gute Gedeihen der Wurzeln der Kontakt mit den Permutitteilchen nicht notwendig ist, dass aber in Kulturen, in denen sich die Lösung nur wenig bewegen kann, die Distanz Wurzel-Permutitteilchen von Bedeutung ist.

Es soll nun versucht werden, auf Grund dieser Resultate und im Zusammenhang mit Ergebnissen, die bei der CaCl_2 -Serie erhalten wurden, das Verhalten der Weizenkeimlinge auf Ca-Permutit zu verstehen.

Das wichtigste Resultat ist für uns, dass ein Kontakt Wurzel-Permutit nicht notwendig ist, um die gute Wirkung auf das Wurzelsystem hervorzubringen. Es darf also die Permutitkultur durchaus so betrachtet werden, wie wenn nur die in Lösung befindlichen freien Ionen auf die Wurzel wirken würden. Die ersten Kontaktversuche zeigten ferner, dass es auf die *Lösung in Wurzelnähe* ankommt. Bei Versuchsbeginn finden sich in der Lösung Kohlensäure und etwas Ca, das durch H-Ionen ausgetauscht wurde. Dringen die wachsenden Wurzeln in den Sand ein, dann steigt in ihrer Umgebung durch die Atmung die

Konz. der H-Ionen.¹ In der Nähe der Wurzel liegende Permutitteilchen werden durch diese Konz.-Zunahme gezwungen, mehr Ca auszutauschen. Es steigt also die Ca-Konz. in Wurzelnähe und damit die Ca-Aufnahme und das Wurzelwachstum. Der Grund dafür, dass wir die Wirkung auf die Wurzeln noch grösser fanden als bei CaCl_2 , dürfte besonders auf die Erniedrigung der H^+ -Konz. in der Lösung durch den Permutit beruhen, ist doch H^+ ein starker « Antagonist » des Ca^{++} . Bei geringerer K-Konz. erzeugen weniger Ca-Ionen den gleichen Effekt bei den Wurzelkolloiden. Steigern wir die Permutit-Konz., dann erhöhen wir die Zahl der in der Nähe der Wurzel liegenden Teilchen. In der gleichen Zeit werden insgesamt und pro Volumeinheit mehr H^+ abgefangen, mehr Ca abgegeben, die Lösungskonz., die Aufnahme und das Wurzelwachstum steigen. Durch Steigerung der Permutitmengen lässt sich aber die Lösungskonz. in der Wurzelumgebung und damit die Aufnahme nicht beliebig erhöhen. Es setzt die pro Zeiteinheit und Oberflächeneinheit der wachsenden Wurzelteile abgegebene Kohlensäuremenge eine Grenze. Der Austausch von Ca hängt ja von der H^+ -Konz. ab. Wohl steigt die insgesamt abgegebene CO_2 -Menge mit steigendem Wurzelwachstum. Das Verhältnis von Aufbau und Atmung ist aber nur geringen Schwankungen unterworfen. So dürfte die in der Zeiteinheit an die Volumeinheit der wurzelnahen Lösung abgegebene CO_2 -Menge sich nur wenig ändern und bald eine weitere Erhöhung der Ca-Konz. durch Permutitzugabe nicht mehr zulassen. Die Wurzelkurve muss dann flach werden. Wir sahen, dass dies schon vor P 200 eintritt. Nur von P 3'200—P 800 war Permutitzugabe von grosser Wirkung auf das Wurzelsystem. Was die typischen Erscheinungen der Wanderung und Verteilung des Ca im Innern der Pflanze anbetrifft, sind keine Änderungen gegenüber den Verhältnissen, wie wir sie auf den Ca-Cl_2 -Kulturen getroffen haben, zu erwarten. Die Pflanze wird kaum unterscheiden, ob ihre Ca-Ionen ursprünglich frei oder adsorbiert waren. Nur die Verschiedenheit des Anions bei der Permutitkultur (es muss besonders HCO_3 sein) wird kleine Verschiebungen bewirken. Weiteren Aufschluss könnte besonders ein Vergleich der Ca-Verhältnisse zwischen einer Bikarbonat- und einer Permutit-Kultur geben. Für uns war es wichtig, zu zeigen, dass sich wenigstens bei Weizen die Permutit-Kultur auf eine Kultur mit freien Ionen zurückführen lässt. Die Reaktion der Weizenpflanze auf Ca-Permutit kann als Reaktion auf die wurzelnahe Lösung betrachtet werden.

Zusammenfassung.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war, zu prüfen, ob das auf *reinen Ca-Lösungen* auftretende kleine Trieb-Wurzel—Verhältnis auf Grund

¹ Solberg 1935 zeigt, dass Bohnen, Mais und Lupinen auch schwerflüchtige Säuren ausscheiden.

der Ca-Verteilung im Pflanzeninnern erklärt werden kann. Ferner sollte untersucht werden, wie sich der gleiche Quotient bei Kultur mit adsorbiertem Ca verhält, d. h. ob die Wirkung des verwendeten *Ca-Permutit* auf diejenige reiner Lösungen zurückgeführt werden kann. Für Sommerweizen wurde unter den im Kapitel Methodik dargestellten Bedingungen folgendes gefunden :

Verglichen mit dest. Wasser beschleunigen CaCl_2 -Lösungen bis zur opt. Konzentration sowohl das Wachstum der *Wurzel* als auch dasjenige des *Triebes*. Beide Teile gedeihen um so besser, je mehr Ca sie erhalten. Die Bevorzugung der Wurzel bei der Versorgung mit diesem Ion ist die Ursache des kleinen Quotienten. Dem Aufnahmeorgan gereicht die langsame Ca-Wanderung zum Vorteil. Als Nachteile für den Trieb sind ausser der eben erwähnten Beweglichkeit des kolloidaktiven Ions die Konkurrenz des Samenrests und eine rasche Vergrösserung der Wurzel zu nennen. Wächst letztere schnell, dann setzt ihr starker Eigenverbrauch die nach oben auswandernde Ca-Menge herab. Der *Samenrest* vermindert den dem Spross zukommenden Anteil, indem er als kolloidales System Ionen abfängt. Wenn er noch grosse Reservemengen enthält, und an eine Ca-reichere Wurzel grenzt, fällt seine Tätigkeit besonders ins Gewicht : Der Ca-Gehalt eines auf starker Lösung (1/50 n) gewachsenen Triebes ist von demjenigen auf destilliertem Wasser gewachsenen kaum zu unterscheiden.

Auf CaCl_2 -Lösungen gedeihen sowohl die Wurzel wie der Trieb um so besser, je mehr Ca sie erhalten. Die *Reaktion des Wachstums auf das Ca* muss man sich wohl so vorstellen, dass dieses Ion die Eigenschaften der Plasmakolloide im Sinne von Dispersitätsvergrößerung und Entquellung ändert. Es greift in bedeutungsvolle enzymatische Prozesse ein, welche sich auf dem kolloidalen Substrat abspielen und von dessen Beschaffenheit abhängig sind. Alle diese Beeinflussungen sind natürlich, wie oben mehrfach betont, nicht als Wirkung des Ca allein aufzufassen, sondern stets als Folge der Verschiebungen des Zusammenspiels aller anwesenden Ionen. Auf destilliertem Wasser besteht im Innern des Weizenkeimlings ein grosses Übergewicht von K und Mg. Durch Ca-Zufuhr wird ein Teil dieser Ionen aus den Oberflächen verdrängt und ein für die Wachstumsvorgänge besser geeignetes Substrat geschaffen. Weil einmal erreichte günstige Konzentrationsverhältnisse wegen der mit der Vergrösserung eines Organs einhergehenden Verdünnung nur bestehen bleiben bei ständiger Zufuhr der wirksamen Ionen, hängt die Wachstumsgeschwindigkeit von der zugeführten Ca-Menge ab, wie wenn dieses Ion beim Aufbau verbraucht würde.

Bei starker Ca-Zufuhr kann die Konzentration im Wurzelinnern trotz der beim Wachstum erfolgenden Verdünnung und trotz der Abwanderung nach oben so hoch werden, dass Dispersitätsvergrößerung und Entquellung zu weit gehen : Die Wachstumsgeschwindigkeit nimmt

ab. Die Lösung, auf welcher eine optimale Konzentration im Wurzelinnern erreicht wird, liegt in der Gegend von 1/200 n.

Die CaCl_2 -Versuche haben ergeben, dass das kleine Trieb-Wurzel—Verhältnis auf reiner Lösung durch die Bevorzugung der Wurzel bei der Ca-Verteilung entsteht. Wir können die Kultur mit reiner Lösung als *Spezialfall* der Kultur mit kompletter Nährlösung betrachten, von der wir ausgegangen sind: In der *Wurzel der Nährlösungspflanze* findet bei gesteigerter Ca-Gabe infolge Erschwerung des Transportes (B u r s r o e m 1934¹) eine Anhäufung verschiedener lebenswichtiger Ionen statt. Wir verstehen so die Förderung des Wachstums, können aber nicht angeben, ob dies nur den allgemein besseren Ernährungsbedingungen zuzuschreiben ist oder ob dem Ca selbst ausser der Bremswirkung eine Funktion zufällt. In der *Wurzel der auf reiner Lösung gewachsenen Pflanze* häuft sich nur Ca (mit Anion) an. In diesem Falle lehrt die auftretende Beschleunigung, dass das Ca selbst in die Wachstumsprozesse eingreifen kann, in dem Sinne, wie es oben dargelegt wurde.

Wie in reinen Lösungen, gelangen auch auf *Ca-Permutit* ausser dem zu prüfenden Ca keine lebenswichtigen Ionen in die Pflanze und das Ca, das einmal eingedrungen ist, wird in beiden Fällen auf gleiche Art, besonders infolge seiner langsamen Wanderung, den Trieb-Wurzel—Quotienten erniedrigen. Bei den Verhältnissen im Innern der Keimlinge wäre nichts Besonderes zu erwarten. Dagegen scheinen die Aufnahmebedingungen in reiner Lösung und auf Permutit so verschieden, dass die Untersuchung mit Vorteil von dieser Seite her geführt wird. Nachdem sich gezeigt hatte, dass Ca-Permutit wie die CaCl_2 -Lösung besonders als Wurzelwachstum begünstigt und das *Trieb-Wurzel—Verhältnis* erniedrigt, wurden Experimente ausgeführt, welche die Frage, ob für das Zustandekommen der Ca-Wirkung die Wurzeln den Permutit berühren müssen, lösen sollten. Es ergab sich, dass ein solcher *Kontakt nicht notwendig* ist. Keimlinge, denen ein reichlicher Ionenaustausch mit dem Permutit ermöglicht war, unter sicherem Ausschluss jeder Berührung, verhielten sich wie gewöhnliche Permutit-Pflanzen. Es wurde ferner klargelegt, dass in Sandkulturen mit permutithaltigen und permutitlosen Schichten die ziemlich eng an die permutithaltigen gebundene Förderung des Wurzelwachstums den Kontakt nur vortäuscht wegen der schlechten Zirkulation der Lösung. Es hängt dann die Ca-Wirkung von der *Distanz Wurzel—Permutit* ab. Die Tatsache, dass ein Kontakt nicht notwendig ist und keine besondere Reaktion ergibt, beweist, dass man die Permutitwirkung auf eine solche der *wurzelnahen Lösung* zurückführen darf. Damit wird gezeigt, dass die besonderen Wachstumserscheinungen auf Ca-Permutit denjenigen auf reinen Ca-

¹ Siehe auch Kapitel « Wechselwirkung Ca-Trockensubstanz in der CaCl_2 -Serie ».

Lösungen gleichgesetzt werden können und der nämlichen Erklärung zugänglich sind.

In vergleichenden Versuchen zeigte sich, dass der Permutit deutlich wirksamer war als CaCl_2 . Bevor die Kontaktfrage gelöst war, hätte man an eine besondere direkte Wirkung des Permutits denken können. Jetzt lässt sich die Erscheinung durch Verminderung der H-Konz. in der wurzelnahen Lösung verstehen. Die bei der Wurzelatmung entstehenden H-Ionen werden zum Teil vom Permutit eingetauscht.

Breazeale 1928 zog Weizen auf künstlichem K-Zeolith unter Verwendung einer permeablen Membran. Er wollte die leichte Zugänglichkeit des K durch Hydrolyse darlegen. Leider war uns diese Arbeit nicht zugänglich. Jenny und Cowan 1933 haben bei Sojakeimlingen den theoretisch geforderten Austausch von Ca durch H am Permutit bewiesen, was für die vorliegende Arbeit von besonderem Interesse ist. Auf Grund ihrer Experimente mit Permutit und reiner Lösung neigen sie aber zur Anschauung, dass sich eine Kultur mit adsorbierten Ionen prinzipiell anders verhält als eine solche mit freibeweglichen Ionen. Die in meinen Ausführungen bezogene Stellungnahme gründet sich besonders auf das unmissverständliche Resultat des Kontaktversuches.

Vorliegende Arbeit wurde am pflanzenphysiologischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule unter Leitung von Herrn Prof. Dr. P. Jaccard und Herrn Privatdozenten Dr. A. Frey-Wyssling ausgeführt. Für das Wohlwollen und das Interesse, mit dem sie meine Studien verfolgten, sei ihnen mein bester Dank ausgesprochen. Auch Herrn Prof. Dr. A. Sprecher und Herrn Prof. Dr. H. Pallmann, die mir stets hilfsbereit zur Seite standen, möchte ich herzlich danken.

Zitierte Literatur.

- Breazeale, J. F. 1928. Arizona Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. 21. 499.
Burstroem, H. 1934. Über antagonistische Erscheinungen bei der Kationen-
aufnahme des Hafers. Svensk Botanisk Tidskrift 28, Heft 2, 157.
Frey-Wyssling, A. 1935. Die unentbehrlichen Elemente der Pflanzennahrung. Die Naturwiss. 23, Heft 45, 767.
Gäumann, E. 1932. Der Einfluss der Keimungstemperatur auf die chemische
Zusammensetzung der Getreidekeimlinge. I. Zeitschr. f. Bot. 25, 385.
Hansteen-Cranner, B. 1910. Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu
den Bodensalzen I und II, Jb. Bot. 47, 289.
— 1914. Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen III. Jb.
Bot. 53, 536.
Jenny, H. und Cowan, E. W. 1933. Über die Bedeutung der im Boden ad-
sorbierten Kationen für das Pflanzenwachstum. Zeitschr. f. Pflanz.ernährg.,
Düngung u. Bodenkunde 31, Heft 1/3, 57.

- Kisser, J. 1927. Untersuchungen über den Einfluss der Nährsalze auf die Wasserabgabe, Wasseraufnahme, relative Spross- und Wurzelmasse und die Blattstruktur. *Planta* 3, 562.
- Koenig, J. 1923. Die Untersuchung landw. wichtiger Stoffe.
- Kostytschew, S. 1926. Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. 1. Berlin.
- v. Liebig, J. 1840. Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. 1. Auflage.
- Lundegårdh, H. 1932. Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Jena.
- Pirschle, K. 1930. Zur physiologischen Wirkung homologer Jonenreihen. *Jb. Bot.* 72, 335.
- 1932. Untersuchungen über die physiologische Wirkung homologer Jonenreihen. II. *Jb. Bot.* 76, 1.
- 1934. Mineralstoffwechsel. *Fortschr. Bot.* 3, 105.
- 1935. Mineralstoffwechsel. *Fortschr. Bot.* 4, 190.
- De Saussure, Th. 1804. *Recherches chimiques sur la végétation.*
- Schimper, A. 1888. *Botan. Zeitschr.* 46, 65.
- Solberg, P. 1935. Untersuchungen über die Wurzelausscheidungen verschiedener Pflanzen bei ihrer Kultur ohne und mit Zusatz von Nährsalzen. *Landw. Jb.* 81, 891.
- Steward, F. C. 1933. Salt Absorption and Respiration of *Valonia*. *Carnegie Institution Year Book* 32, 281.
- Treadwell, F. P. 1922. Kurzes Lehrbuch der Analytischen Chemie, Bd. II.
- Wasniewsky, St. 1914. Der Einfluss der Temperatur, des Lichtes und der Ernährung mit Stickstoff und Mineralstoffen auf den Stoffwechsel in den Keimpflanzen des Weizens. *Anz. Wiss. Krakau, Math. nat. Kl. Reihe B*, 615.
-