

(Aus dem Botanischen Institut Münster i. W.)

DIE WIRKUNG DER AMMONIUMSALZE
IN IHRER ABHÄNGIGKEIT VON DER
WASSERSTOFFIONENKONZENTRATION.

Von

WALTER MEVIUS.

Mit 24 Textabbildungen.

(Eingegangen am 23. Mai 1928.)

Einleitung.

Von LIEBIG war bekanntlich 1840 die Ansicht vertreten worden, daß das in der Luft vorhandene Ammoniak die Hauptstickstoffquelle für die höheren Pflanzen darstelle. „Kein Schluß kann wohl besser begründet sein als der, daß das Ammoniak der Atmosphäre es ist, welches den Pflanzen ihren Stickstoff liefert.“ „In keiner anderen Form als in der Form von Ammoniak bietet sich den wildwachsenden Pflanzen assimilierbarer Stickstoff dar, es ist das Ammoniak, was sich im Tabak, der Sonnenblume, dem *Chenopodium*, dem *Borrago officinalis* in Salpetersäure verwandelt.“ Die Salze der Salpetersäure sollen nach LIEBIG als sehr viel weniger bedeutende N-Quellen für die Pflanzen anzusehen sein. Er zieht sogar den Schluß, „daß die Salpetersäure oder ihre Salze von der Natur nicht dazu bestimmt sind, den Pflanzen Stickstoff zu liefern.“ Eine strenge Beweisführung, ob nicht doch die salpetersauren Salze ebenfalls vollständig den N-Bedarf der Pflanzen decken können, war natürlich mit Hilfe von Vegetationsversuchen, bei denen Erdboden benutzt wurde, nicht möglich. Erst mit Einführung der Sandkulturen und der Wasserkulturen durch SACHS (1859, 1860) und KNOP (1859, 1860) war endlich die Möglichkeit gegeben, die Frage zu prüfen, in welcher Form der Stickstoff den höheren, grünen Pflanzen dargeboten werden muß, um ein normales Wachstum zu ermöglichen. BOUSSINGAULT (1860), der seine Versuchspflanzen in ausgeglühtem Sand zog, erbrachte den sicheren Beweis, daß die Salze der Salpetersäure eine sehr wohl geeignete N-Quelle für höhere Pflanzen sind. Bei den vergleichenden Untersuchungen zwischen Nitraten und Ammoniumsalzen mit Hilfe von Wasserkulturen ergaben sich aber sehr bald die widersprechendsten Ergebnisse. SACHS (1861) berichtet von der ungünstigen Wirkung des Ammoniumsulfates auf die Schminkbohne und Runkelrübe. KNOP (1860) beobachtete eben-

falls keine günstige Wirkung bei seinen Vegetationsversuchen mit NH_4 -Salzen. „So erreichte ich z. B. bei Anwendung von Ammoniaksalzen jeder Art im Grunde nicht mehr, als bei Anwendung von bloßem Brunnenwasser zu erreichen ist, dagegen brachte ich die Bohne bis zur Fruchtbildung, wenn die Lösung Salpetersäure enthielt.“ STOKMANN (1862) erhielt in Wasserkulturen andererseits nur dann normale Maispflanzen, wenn Ammoniak und Salpetersäure gleichzeitig gegeben wurden. Fehlte eine von den beiden N-Quellen, so ließen sich keine normalen Pflanzen ziehen. 1864 berichtet derselbe Forscher, daß sich Mais am besten *ohne* Ammoniumsalze entwickelt habe, und daß Ammoniak zum Leben der Pflanzen nicht erforderlich sei. Eine ähnliche Ansicht vertrat 1865 KNOP: „Daß Ammoniak, wenn es bei der Pflanzenernährung noch irgendeine noch zu ermittelnde Rolle spielen sollte, doch höchstens zu den förderlichen, keinesfalls zu den notwendigen Stoffen gehöre.“ Wieder eine andere Stellung nimmt HELLRIEGEL (1861, 1863) ein: „Nach diesen Zahlen scheint es der Kleepflanze gleichgültig zu sein, ob sie den Stickstoff mit Wasserstoff zu Ammoniak oder mit Sauerstoff zu Salpetersäure verbunden im Boden vorfindet, jedenfalls wenigstens wirkt ein Äquivalent Stickstoff als Salpetersäure nicht günstiger, als die gleiche Menge in der Form von Ammoniak.“ „Die Verbindung, in welcher der Stickstoff dem Boden zugeführt wird, scheint für die Wirkung dieses Elements nicht von großer Bedeutung zu sein, wenn sie auch gewiß nicht ohne allen Einfluß ist.“ RAUTENBERG und KÜHN (1864) beobachteten, daß Ammoniumchlorid besonders schädlich für *Vicia faba* war. Mais erwies sich als etwas widerstandsfähiger. Mit NH_4NO_3 wurden hingegen sehr viel günstigere Ergebnisse erhalten. BIRNER und LUKANUS (1866) machten beim Hafer die Beobachtung, daß die Versuchspflanzen in Gegenwart von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bzw. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ nur sehr kümmerlich wuchsen, chlorotisch wurden und stark kränkelten. Sie kamen daher zu folgender Ansicht: „Für die Haferpflanze ist die Salpetersäure höchst wahrscheinlich die einzige Stickstoffquelle; ob sie auch den Stickstoff des Ammoniaks, wenn ihr dieser neben Salpetersäure gleichzeitig dargeboten wird, zu assimilieren vermag, muß zuvörderst eine noch offene Frage bleiben.“ BEYER (1867) erhielt bei derselben Versuchspflanze sehr schlechte Ergebnisse, wenn der Stickstoff als $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ gegeben wurde. Erst wenn fast alles Ammoniak in der Lösung verschwunden war, setzte Erholung der Pflanzen ein. HAMPE (1867) bekam andererseits beim Mais günstiges Wachstum, wenn als (NH_4) -Salz neutrales phosphorsaures Ammoniak gegeben wurde. Auch nach WAGNER (1869) kann der Mais seinen N-Bedarf vollständig aus $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ decken; allerdings machten die Pflanzen zunächst eine Zeit großer Empfindlichkeit durch, wobei starke Chlorose auftrat. Ammoniumkarbonat erwies sich auch dann als sehr giftig, wenn die Lösung alle 3 Tage mit CO_2 gesättigt wurde. Die Pflanzen

bekamen eine sehr starke Chlorose und starben bald ab. **MAYER** (1874) ist der Ansicht, daß die Pflanzen leben können, wenn ihnen nur Ammoniak als N-Quelle dargeboten wird. Es „ist allerdings zu beachten, daß auch bei Ammoniakernährung durch die Wurzel für die meisten Pflanzen keine so günstigen Resultate erreicht werden, als wenn man Stickstoff in der Form von salpetersauren Salzen gibt“. Dieselbe Beobachtung machte **FRANK** (1887, 1888) bei Bohnenpflanzen, und er schließt, „daß Ammoniaksalz die Pflanze zwar bis zu einem gewissen Grade mit Stickstoff versorgen kann, daß dasselbe aber als einzige Stickstoffquelle in seiner Wirkung der Salpetersäure weitaus nachsteht und wenigstens für gewisse Pflanzen eine hinreichende Ernährung nicht zu bieten vermag.“ Dieses konnte er 1892 mit Hilfe von Quarzsandkulturen bestätigen. Erbsen konnten in Gegenwart von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ überhaupt nicht gezogen werden. Bei der gelben Lupine erhielt er ein ganz unregelmäßiges Wachstum. Die Trockensubstanzen der Kulturen $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ bzw. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ verhielten sich wie 27,5:14,7.

Neben den Versuchen, mit Hilfe von Nährlösungen bzw. von Quarzsandkulturen die Wirkung der Nitrate und Ammoniumsalsze vergleichend festzustellen, wurden in den verschiedensten Teilen Deutschlands sehr zahlreiche vergleichende Felddüngungsversuche angestellt. Aber auch diese führten zu den widersprechendsten Beobachtungen. Es soll dieses nur an wenigen Beispielen gezeigt werden. Nach **HARZ** (1887, 1888) war bei Tabak, Hirse, Roggen, Reis, Buchweizen, Erbse und Inkarnatklce das Ammoniumsulfat die günstigere N-Quelle, während beim Mais und Hafer der Chilisalpeter bessere Ergebnisse zeitigte. Bei der Gerste und beim Weizen wurden bei beiden N-Quellen dieselben Ernten erzielt, **MAERCKER** (1889), der über eine große Zahl von Düngungsversuchen berichtet, die auf Veranlassung der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft in den verschiedensten Gegenden Deutschlands angestellt worden sind, teilt mit, daß bei schwachen Stickstoffgaben die Wirkung des Ammoniumsulfates vollständig an die des Salpeters herankam. Bei stärkeren Gaben wurde bei den Körnerfrüchten ebenfalls kein Unterschied festgestellt; dagegen war bei den Wurzelfrüchten die stärkere Ammoniakdüngung der entsprechenden Chilisalpeterdüngung unterlegen. Bei Versuchen von **F. WAGNER**, über die **MAERCKER** ebenfalls berichtet, ließ sich beim Sommerroggen und Hafer eine deutliche Überlegenheit des Ammoniumsulfates über den Salpeter feststellen. Bei der Runkel und bei der Kartoffel lagen die Verhältnisse gerade umgekehrt. **WAGNER** ist allerdings bei seinen späteren Versuchen (1892, 1903, 1905) zu erheblich anderen Resultaten gekommen. Von 127 Fällen erwies sich nur in 13 Fällen das $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ günstiger als das NaNO_3 . Sonst war es immer unterlegen. Wurde die Salpeterausnutzung gleich 100 gesetzt, so bekam **WAGNER** für das Ammoniumsulfat folgende Werte:

| | 1903 | 1905 |
|----------------------|------|------|
| Gerste | 70 | 72 |
| Roggen | 73 | 76 |
| Hafer | 83 | 91 |
| Weizen | — | 98 |
| Futerrübe | 65 | 53 |
| Zuckerrübe | 57 | 73 |
| Kartoffel | 76 | 88 |
| | | 26* |

Weiterhin machte auch WAGNER die Beobachtung, daß mit steigendem Kalkgehalt der Böden die $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Wirkung abnahm. Betrug bei weniger als 0,25% Kalk die $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Wirkung 80%, so ging sie bei mehr als 0,25% CaCO_3 auf 63% herab. Vollständig anders lautende Werte erhielt PAGNOUL (1896). Wurde das Erntegewicht in einer N-freien Nährlösung gleich 100 gesetzt, so verhielten sich die Ernten in der KNO_3 - bzw. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösung bei der Runkelrübe wie 625 zu 1128, beim Leindotter wie 1062 : 3047 und beim Klee wie 215 : 414. NAGAOKA (1904) fand bei Versuchen mit Sumpfpflanzen in saurem Boden ebenfalls eine erhebliche Überlegenheit der $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Kulturen über die NaNitratkulturen:

| | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | NaNO_3 |
|--|------------------------------|-----------------|
| Sumpfreis | 100 | 40 |
| <i>Juncus effusus</i> | 100 | 37 |
| <i>Sagittaria sagittifolia</i> | 100 | 33 |

Die Unterlegenheit der Nitratkulturen führt NAGAOKA auf folgende Ursachen zurück:

1. Paddy plants do not accumulate a sufficient quantity of sugar in the leaves to convert all the nitric acid, absorbed into protein. The pale yellowish colour of the rice plants supplied with nitrate is probably due to the physiological influence of accumulated nitrate.

2. In paddy soils, denitrification and also formation of poisonous nitrites may take place.

Auf weitere Düngungsversuche soll hier nicht eingegangen werden, es sei nur bemerkt, daß auch bei anderen Arbeiten die große Verschiedenartigkeit der Wirkung des Ammoniakstickstoffes auffällt. Zum Teil wurden die Pflanzen geschädigt und gingen zugrunde. In anderen Fällen wurde aber eine anfängliche Schädigung von einer mehr oder weniger starken Wachstumsförderung abgelöst, so daß bei der Ernte die Ammoniumsalze sich als den Nitraten gleichwertig, zum Teil sogar überlegen erwiesen.

Weder die bisher erwähnten Wasserkulturversuche, noch weniger aber die Felddüngungsversuche konnten die Frage nach der Brauchbarkeit von NH_4 -Salzen als N-Quelle für höhere Pflanzen einwandfrei beantworten, da eine Umwandlung von Ammoniak zu Salpetersäure durch nitrifizierende Bakterien nicht ausgeschlossen worden war. Daß auch in Wasserkulturen Nitrifikation erfolgen kann, hatte schon BEYER (1867) bei seinen Versuchen feststellen können. PRITSCH (1887, 1893, 1896) war der erste, der besondere Vorsichtsmaßregeln ergriff, um eine Nitratbildung zu unterbinden. Bei seinen Versuchen ließen sich niemals Nitrite und Nitrate im Boden nachweisen, trotzdem fand ein Wachstum der Versuchspflanzen (Gerste, Hafer, Weizen) statt. Allerdings kamen die $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Kulturen nicht an die NaNO_3 -Kulturen heran. „Während die mit Salpetersäure gedüngten aber Salpeterbakterien-freien Getreidepflanzen sich normal wie diejenigen auf dem freien Felde kultivierten entwickelten, trat bei denjenigen Pflanzen, welche im Boden keine Salpetersäure fanden und somit ihr Stickstoffbedürfnis durch andere Stickstoffverbindungen befriedigen mußten, nach Ablauf der Keimperiode

eine längere Stockung im Wachstum wenigstens der oberirdischen Organe ein. Es ist als müßte sich die Pflanze der ungewohnten Nahrung erst anpassen. Ist diese Periode kümmerlichen Existierens überwunden, so beginnt die Pflanze vollkommen normal und kräftig zu wachsen.“ „Zum Schluß sei noch bemerkt, daß die Entwicklung des Wurzelnetzes in den mit Salpetersäure gedüngten Erden eine außerordentlich kräftige, bis an die Randschicht des Siebbodens herabgehende war und daß das Wurzelnetz dieser Pflanzen dasjenige der nur mit Ammoniaksalz gedüngten Pflanzen weit übertraf.“ MÜNTZ (1889, 1896) und GRIFFITHS (1891) wiesen ebenfalls nach, daß Ammoniumsalze von den höheren Pflanzen als N-Quellen ausgenutzt werden können. Nach MAZÉ (1898, 1900, 1911, 1913), der ebenfalls bei seinen Versuchen Nitrifikation ausschloß, bewirkte $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ in der Konzentration 1:2000 sehr gutes Wachstum, und eine entsprechende NaNO_3 -Kultur lieferte keine bessere Ernte. Bei Konzentrationen über 1:2000 verschob sich die Stärke des Wachstums zugunsten der Salpeterkultur. KOSSOWITSCH (1901, 1904) hielt bei der Erbse und Gerste das Ammoniumsulfat für eine ebenso gute N-Quelle wie das NaNO_3 . GERLACH und VOGEL (1905) machten bei Mais dieselbe Beobachtung. Nach KRÜGER (1905) sind im sterilen Sand und Boden die Ammoniumsalze den Nitraten ebenbürtig bei Gerste, Hafer und Senf, überlegen bei der Kartoffel und unterlegen bei der Rübe. EHRENBURG (1907), der ebenfalls bei seinen Versuchen Nitrifikation ausschloß, kam zu ganz abweichenden Ergebnissen: „Auf jedem wenig absorptionsfähigen Boden ist Nitrifikation Vorbedingung für nutzbringende Verwertung von Ammoniumverbindungen durch höhere Pflanzen.“ Ferner heißt es bei EHRENBURG: „Demnach muß ich auch in kalkkarbonathaltigen, absorptionskräftigen Boden die Nitrifikation des Ammoniaks zur nutzbringenden Verwertung des in dieser Form vorhandenen Stickstoffs als durchaus notwendig erachten, soweit es sich um die Versorgung höherer Pflanzen handelt und betrachte damit die gesamte Ammoniakaufnahme durch diese als eine zwar nicht zu bestreitende, jedoch für die ausgiebige Ernährung höherer Pflanzen höchst wenig bedeutungsvolle Tatsache, mit Ausnahme der säureliebenden Gewächse.“ „Daß nämlich für die gewöhnlichen höheren Pflanzen unseres Ackerbodens die Salpetersäure allein geeignet ist, eine nutzbringende Ernährung der Pflanzen zu gewährleisten, wenn auch gelegentlich Ammoniakmengen in kleinerem Umfange zur Resorption und Assimilation kommen werden.“ Mit EHRENBURGS Angaben decken sich vollständig die älteren Untersuchungen von GIUSTIANINI (1901), der Gerste in Quarzsand gezogen hat.

| N-Quelle | Trockengewicht |
|---|----------------|
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Boden steril | 6,60 |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Boden nicht steril | 21,80 |
| NaNO_3 , Boden nicht steril | 25,10 |

Nach HUTCHINSON und MÜLLER (1911) ist bei Ausschluß der Nitrifikation Ammoniumsulfat eine ebenso gute N-Quelle als NaNO_3 bei der Erbse. Der Weizen zog hingegen den Salpeter vor.

Die letzten Untersuchungen, die unter vollständig sterilen Bedingungen angestellt worden sind, also nicht allein Ausschluß der Nitrifikationserreger, sondern sämtlicher Mikroorganismen, stammen von SCHULOW (1913) und SMIRNOW (1923). Auf sie soll erst später eingegangen werden.

Es ist also durch alle diese Versuche, bei denen eine Nitrifikation verhindert wurde, sicher gestellt, daß der Stickstoff der Ammoniumsalze direkt von den Wurzeln aufgenommen und von den Pflanzen ausgenutzt werden kann. Ob aber die Ammoniumsalze eine ebenso gute N-Quelle darstellen wie die Nitrate, diese Frage ist noch keineswegs einwandfrei gelöst worden; denn ein Teil der Versuche spricht dafür, ein anderer dagegen.

Zunächst gilt es aber einmal die Frage zu prüfen, worauf von den verschiedenen Forschern die häufig beobachtete Unterlegenheit der Ammoniumsalze den Nitraten gegenüber zurückgeführt wird.

Nach Ansicht einiger Bakteriologen sollen große Mengen des Stickstoffs der Ammoniumsalze im Erdboden durch Bakterien und Pilze festgelegt werden und die Mobilisierung des gebundenen Stickstoffs so langsam erfolgen, daß die volle Wirkung der Ammoniumsalze nicht während der Vegetationsperiode einsetzen kann. Unverständlich bleibt allerdings, warum nicht auch der Stickstoff der Nitrate durch Mikroorganismen in ebenso großem Umfange festgelegt wird. Von Agrikulturchemikern, besonders von WAGNER, ist die Ansicht vertreten worden, „daß die gegen Chilisalpeter zurückbleibende Wirkung der Ammoniakdüngung in erster Linie auf Stickstoffverluste, die durch Ammoniakverdunstung entstehen, zurückgeführt werden muß.“ Als Beweis dafür wurde vor allen Dingen die häufig gemachte Beobachtung angeführt, daß besonders auf kalkreichen Böden die Ammoniumsalze in ihrer Wirksamkeit den Nitraten unterlegen waren, in stärkerem Maße als in CaCO_3 -freien Böden. Der Kohlensäurekalk soll sich mit dem Ammoniumsulfat umsetzen in $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ und CaSO_4 . Das gebildete kohlensaure Ammoniak soll einen Teil seines Ammoniaks abspalten, und davon soll ein mehr oder weniger großer Teil in die Luft entweichen. Für diese Annahme spricht weiterhin die Beobachtung, daß adsorptionsschwache Böden meistens eine ungünstigere Ammoniumsalzwirkung zeigen als schwere Lehmböden. Daher schreibt WAGNER 1905: „Es darf gesagt werden, daß sandige und zugleich kalkreiche Böden am wenigsten für Ammoniaksalzdüngung geeignet sind und daß man vor allem Kopfdüngung mit Ammoniaksalz vermeiden soll.“ (Gegen diese Annahme einer starken Ammoniakverdunstung siehe EHRENBERG 1907). Gegen diese Annahme von WAGNER sprechen nun fast alle Fälle, bei denen die NH_4 -Salze den Nitraten über-

legen gewesen sind, falls man nicht bei Felddüngungsversuchen annehmen will; daß durch starke Regengüsse die Nitratsalze ausgewaschen oder durch die Tätigkeit von denitrifizierenden Mikroorganismen zersetzt wurden. Weiterhin spricht gegen diese Ansicht ein großer Teil der Wasserkulturversuche. Hier hatte sich in vielen Fällen ein Kalkzusatz zu der NH_4 -Salze führenden Nährlösung als sehr vorteilhaft erwiesen (MAZÉ, KOSSOWITSCH, THOMSON u. a.).

Die folgenden Angaben, die der neuesten Auflage (1928) von SCHNEI-DEWIND „Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen“ entnommen sind, dürften aber zeigen, daß die soeben vorgetragenen Ansichten noch heute in den Kreisen der Agrikulturchemiker großen Anhang haben. „Aus allen Versuchen, welche über das Schicksal des Ammoniakstickstoffs angestellt wurden, dürfte hervorgehen, daß die schlechtere Ausnutzung des Ammoniakstickstoffs zurückgeführt werden kann:

1. Auf eine Ammoniakverdunstung, hervorgerufen durch den Kalk des Bodens. Diese ist aber nur geringer bei allen kalkärmeren Böden und auch gering bei kalkreichen, stark absorbierenden schweren Böden und tritt nur bei Oberflächendüngung ein.

2. Auf eine Absorption des Ammoniaks durch die wasserhaltigen Silikate des Bodens, welche hauptsächlich in schweren, trockenen Böden von Einfluß ist.

3. Auf eine stärkere Umwandlung des Ammoniaks in Eiweiß durch niedrigere Organismen, für welche das Ammoniaksalz eine bessere Nährstoffquelle darstellt als der Salpeter, wozu noch kommt, daß Ammoniak im Boden länger verweilt als der Salpeter, welcher letzterer von den Pflanzen schneller aufgenommen werden kann.“

Alle diese Annahmen können aber nicht die Beobachtungen erklären, die man bei Wasserkulturversuchen gemacht. Wir müssen also noch nach anderen Gründen für den verschieden großen Wirkungswert der Ammoniumsalsuche suchen. Schon RAUTENBERG und KÜHN machten 1863 die Beobachtung, daß eine Nährlösung, die als N-Quelle NH_4Cl führte, eine starke Ansäuerung unter dem Einfluß der Versuchspflanzen — *Vicia faba* und *Zea mays* — erfuhr. Sie gaben für diese Beobachtung folgende Deutung: „Die Erklärung finden wir darin, daß die Pflanzen dem Salmiak nur das Ammoniak nicht aber das Chlor entnehmen, das als Salzsäure sich durch das steigende Sauerwerden der Lösungen bemerkbar machte und den raschen Tod der Pflanzen herbeiführte.“ Merkwürdigerweise konnten die beiden Forscher eine Ansäuerung in Gegenwart von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 und $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ nicht nachweisen, also Salze, „deren Säuren notorisch in den Ernährungsprozeß eingehen.“ An anderer Stelle berichten die beiden Forscher noch etwas ausführlicher über ihre Beobachtungen: „Als wir am 24. Juni die Reaktion ihrer Lösung prüften, fanden wir sie bedeutend stärker sauer als die der in Flaschen vorrätigen

Flüssigkeit. Am 4. Juli war die saure Reaktion noch stärker und dementsprechend das kümmerliche Aussehen der Pflanzen noch kümmerlicher geworden.“ „Es ist . . . schon früher . . . einer höchst interessanten Tatsache Erwähnung geschehen, daß nämlich diejenigen Lösungen, welche allen Stickstoff in Gestalt von Salmiak enthielten, durch den Lebensprozeß der Maispflanze einer fortwährenden Säuerung unterlagen, daß diese Säuerung am auffälligsten wurde, wo die Vegetation am intensivsten war. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Säuerung von freiwerdender Salzsäure herrührt; weshalb wurde aber die Salzsäure frei? Daß die Lösungen, welche den Stickstoff als salpetersaures Ammoniak enthielten, nicht durch freiwerdende Salpetersäure sauer werden, kann nicht wundern; denn die Salpetersäure ist eine entschieden zulässige, für die normal im Boden lebende Pflanze vielleicht die Hauptquelle des Stickstoffs und Versuche von KNOP machen es wahrscheinlich, daß die Lösungen von salpetersaurem Ammoniak bis zu gewisser Konzentration ohne Veränderung derselben aufgesogen werden. Durch Versuche von HELLRIEGEL wissen wir ferner, daß weder bei der Zufuhr von schwefelsaurem noch von phosphorsaurem Ammoniak irgendein ungünstiger Einfluß bemerkbar wurde, wie ihn das Freiwerden größerer Quantitäten von Phosphorsäure und Schwefelsäure hätte ausüben müssen. Auch diese Säuren . . . werden von der Pflanze zur Unterhaltung des Lebensprozesses gebraucht. Die Antwort auf die oben gestellte Frage scheint somit darin zu liegen, daß die Salzsäure — das Chlor — in den Ernährungsprozeß aller — oder gewisser Pflanzen nicht eingeht. Den Stickstoff des Salmiaks brauchten die Pflanzen unbedingt zu ihrer Vegetation. War das Chlor nicht verwertbar für sie, so mußten sie eben den Salmiak zerlegen; die freiwerdende Säure wirkt aber schädlich auf ihre Entwicklung.“ HAMPE (1867) konnte die Beobachtungen von RAUTENBERG und KÜHN bestätigen und noch erweitern. Er schreibt: „Eine Pflanze kann den Stickstoff eines Ammoniaksalzes nur assimilieren, indem sie die mit dem Ammoniak verbundene Säure freimacht. Entweder muß jene nun ebenfalls im Organismus verwertet oder aber ausgeschieden werden. Letzteres wird offenbar um so beträchtlichere Störungen veranlassen, je weniger die Natur der Säure eine quantitativ erhebliche Verwendung im Stoffwechsel gestattet, und je stärker ihre chemischen Affinitäten sind.“ Im Boden sollen die Säuren neutralisiert werden und damit „fällt das Haupthindernis, welches der Assimilation von Ammoniaksalzen aus Nährstofflösungen entgegensteht, fort.“

Die Beobachtung, daß die Pflanzen, in Gegenwart von Ammoniumsalzen starker Säuren einen erheblichen Aziditätsanstieg in dem Nährmedium bewirken, wurde in der Folgezeit von vielen Forschern bestätigt. Diese Tatsache führte sodann AD. MAYER 1881 mit zu seiner bekannten Theorie der physiologischen Reaktion der Düngesalze. Die Ammonium-

salze starker Säuren sind physiologisch sauer, das heißt unter dem Einfluß wachsender Pflanzen säuern sie die Nährlösungen an. MAYER nahm an, daß das NH_4 -Ion des Ammoniumchlorids von den Pflanzenwurzeln aufgenommen wird, während das Cl-Ion in der Lösung zurückbleibt. Hierdurch soll diese sauer werden. Es findet also nach seiner Ansicht die Trennung der Ionen nicht, wie HAMPE annimmt, in der Pflanzenzelle, sondern schon außerhalb statt.

Von einer großen Reihe von Forschern wird nun das wechselnde Verhalten der Ammoniumsalze, bald ungünstigere N-Quelle, bald gleiche oder sogar bessere als Nitrate, allein auf die physiologische Azidität zurückgeführt. Besonders wird diese Annahme von PRIANISCHNIKOW und seinen Schülern, denen wir sehr zahlreiche und sehr ergebnisreiche Untersuchungen über die Stickstoffversorgung der höheren Pflanzen verdanken, vertreten. Eine Zusammenstellung findet sich in seiner „Düngerlehre“ und in seiner Abhandlung „Ammoniak, Nitrate und Nitrite als Stickstoffquellen für höhere Pflanzen“. Erg. Biol. I (1926). Nach Ansicht des russischen Forschers soll allein durch die in Gegenwart der Ammoniumsalze freiwerdende Säure eine auftretende Wachstumsdepression bedingt sein, dem NH_4 -Bestandteil soll dabei keine Bedeutung zukommen. Es soll sich nur um eine spezifische Wirkung der H-Ionenkonzentration handeln. Wird durch Kreide oder Eisenoxydhydrat für eine Neutralisation der freiwerdenden Säure gesorgt, so sollen die Ammoniumsalze ebensogut assimiliert werden wie die Nitrate. Eine Überlegenheit der ersteren hält PRIANISCHNIKOW dann für möglich, wenn die freiwerdende Säure als „lösendes Agentium auf die Mineralsubstanzen des Bodens (unter anderem auf die Phosphate)“ wirkt und dabei gleichzeitig die Säure neutralisiert wird. Daher müssen vergleichende Düngungsversuche je nach der Bodenbeschaffenheit ganz verschieden ausfallen. „Wenn der Boden die durch physiologische Ursachen hervorgerufene Azidität leicht beseitigt, so erhält man einen größeren Wirkungswert des Ammoniakstickstoffs, ist der Boden dagegen arm an Basen, so wird die zurückbleibende Säure einen schädlichen Einfluß ausüben und den Effekt verringern, der durch eine verstärkte Stickstoffernährung hervorgerufen war; deshalb soll man bei Sand- und Torfböden kein Ammoniumsulfat anwenden, wenn man nicht gleichzeitig für die Einführung von Basen Sorge trägt.“ Außer durch übermäßige Azidität soll nach PRIANISCHNIKOW in einzelnen Fällen eine weitere ungünstige Wirkung der Ammoniumsalze auch durch eine zu große Alkalität hervorgerufen werden können. Führen wir Ammoniumsulfat in einen calciumkarbonatreichen Boden ein, so ist bei trockenem Wetter noch vor Eintritt der Nitrifikation die Bildung von Ammoniumkarbonat möglich, welches besonders bei schwacher Absorptionsfähigkeit des Bodens eine *alkalische Reaktion* derselben bewirkt, deshalb ist auf trockenem, zeolitharmem Kalkboden in warmer Jahreszeit

die Anwendung größerer Mengen von Ammoniaksalzen nicht zu empfehlen.“ Neben dem Boden ist nach PRJANISCHNIKOW für den Ausfall vergleichender Düngungsversuche die Versuchspflanze von Bedeutung. „Hier handelt es sich wieder nicht um den Ammoniak selbst, sondern um die verschiedene Empfindlichkeit verschiedener Pflanzen gegen eine Störung der Neutralität des Mediums; hierbei kann man bemerken, daß die Getreidearten sich sehr viel schneller an die Azidität des Mediums gewöhnen als die Leguminosen und Kreuzblütler. Augenscheinlich sind der Buchweizen und die Zuckerrübe in dieser Beziehung auch in höherem Maße empfindlich, was man von der Kartoffel nicht sagen kann.“ Unter Hinweis darauf, daß die Salpetersäure erst, bevor sie von der Pflanze zur Eiweißsynthese benutzt werden kann, unter Energieverbrauch reduziert werden muß, schreibt PRJANISCHNIKOW 1925: „Rein physiologisch genommen hat also das Ammoniak mehr Wert als N-Quelle für die Pflanzen, als die Nitrate, aber das Regulieren der *Neutralität* der Nährlösung beim Einführen von Ammoniaksalzen verlangt mehr Sorgfalt.“

Eine fast gleiche Ansicht wie der russische Forscher vertritt auch EULER in seiner Pflanzenchemie (1909). „In wirtschaftlicher Hinsicht hält man eine Düngung mit Ammoniumsalzen für weniger wirksam als eine Nitratdüngung, was indessen hauptsächlich daran liegt, daß stärkere Konzentrationen von Ammoniumsalzen eine für die Pflanzenwurzeln schädliche *Alkalinität* hervorrufen, wenn z. B. Ammoniumkarbonat vorliegt oder Ammoniak aus anderen Salzen durch Reichtum des Bodens an Calciumkarbonat oder Eisenhydroxyd in Freiheit gesetzt wird. Andererseits ist das als Düngemittel vorwiegend benutzte Ammoniumsulfat selbst ein „physiologisch saures“ Salz, weil durch Verbrauch des Ammoniaks *im Pflanzenkörper* ein Überschuß von Schwefelsäure entsteht, wenn nicht basische Stoffe — wie eben Calciumkarbonat oder Eisenhydroxyd — zum Abstumpfen der Säure vorhanden sind.“ Die Ansicht von PRJANISCHNIKOW ist auch in die Lehrbücher von BENECKE (1924) und KOSTYTSCHEW (1926) übernommen worden. Nach Ansicht des letzteren ist das „Ammoniak eine Stickstoffquelle, die für Samenpflanzen der Salpetersäure wenig nachsteht, wenn nur die beim NH_3 -Verbrauch entstehende saure Reaktion von der Pflanze gut vertragen oder infolge der besonderen Eigenschaften des Bodens sofort abgestumpft wird.“ OLSEN, der 1923 eine Reihe von vergleichenden Untersuchungen veröffentlicht hat, kommt zu derselben Ansicht. Loo konnte 1927 die Angaben von PRJANISCHNIKOW gleichfalls bestätigen.

Zum Schluß sei noch kurz auf die Ausführungen von LEPESCHKIN in dessen Pflanzenphysiologie (1925) eingegangen. „Einige Ammoniumsalze, z. B. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, zersetzen sich teilweise in wässrigen Lösungen unter Bildung von NH_3 (in Wasser NH_4OH), das giftige OH-Ionen bildet.“ Andere Ammoniumsalze enthalten aber Anionen, die entweder fast

gar nicht (z. B. Cl-Ionen) oder nicht so stark wie NH_4 -Ionen assimiliert werden (z. B. SO_4 -Ionen), so daß in der Pflanze und im Boden Cl-, SO_4 -Ionen, d. h. Säuren angehäuft werden, die sehr schädlich auf das Protoplasma einwirken. Wird aber Kalk zum Boden zugesetzt, so kann der Säureüberschuß neutralisiert und die schädliche Säurewirkung gehemmt werden.“ Zum ersten Teil dieser Ausführungen von LEPESCHKIN muß bemerkt werden, daß sie nicht den Tatsachen entsprechen. Es ist nicht das NH_3 , welches bei Zerfall des Ammoniumkarbonats im Wasser OH-Ionen bildet, sondern da unter dem Einfluß der H- und OH-Ionen des Wassers die Bildung von HCO_3 bzw. H_2CO_3 , das weiter in H_2O und CO_2 zerfällt, stärker ist als die Bildung von NH_4OH , so muß es, damit das Produkt $\text{H} \times \text{OH} = k_w$ bleibt, zu einem Anstieg der OH-Ionen in der Lösung kommen. Ein Teil des gebildeten NH_4OH wird sodann weiter in H_2O und NH_3 zerfallen. Der OH-Ionenanstieg ist also nicht die Folge der NH_3 -Bildung, sondern im Gegenteil durch NH_3 - bzw. NH_4OH -Bildung wird die OH-Ionenkonzentration wieder herabgesetzt.

Problemstellung.

Es galt für mich zunächst die Annahme zu prüfen, ob die häufig beobachtete weniger günstige Wirkung der Ammoniumsalze allein durch die physiologische Azidität bzw. in Gegenwart von $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ oder NH_4HCO_3 von den freiwerdenden OH-Ionen abhängt, es sich also in beiden Fällen um eine direkte Wirkung der Änderung der Wasserstoffionenkonzentration des Nährmediums handelt, oder ob nicht, im Gegensatz zu PRIANISCHNIKOW und seinen Anhängern, doch dem basischen Bestandteil der Ammoniumsalze ein Teil Schuld beizumessen ist; denn schon 1898 hatte der japanische Forscher TAKABAYASHI mit Hilfe vergleichender Versuche festgestellt, daß die Versuchspflanzen in Gegenwart von $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ stärkere Schädigungen aufweisen als in einer entsprechenden Sodalösung. Weiterhin sollte aber noch zur Klärung einer zweiten Frage beigetragen werden. Es wird, wie allgemein bekannt sein dürfte, durch die Pflanzenwurzeln der NH_4 -Bestandteil der Ammoniumsalze starker Säuren schneller aufgenommen als der saure Anteil, dabei kommt es zu einer mehr oder weniger starken Ansäuerung des Mediums. Wie gelingt nun der Pflanze diese getrennte Aufnahme? Folgende Annahme, die ich der Pflanzengeographie von WALTER (1927) entnommen habe, dürfte wohl unter Agrikulturchemikern und Botanikern den größten Anhang besitzen. „Wird z. B. der Stickstoff dem Boden in Form von Ammoniumsulfat zugeführt, so wird die Pflanze die Kationen weit rascher aufnehmen als die Anionen, da sie mehr Stickstoff als Sulfat braucht. Der im Boden zurückbleibende Schwefelsäurerest muß daher zu einer starken Zunahme der Azidität führen.“ Die hier vorgetragene Ansicht dürfte aber sicher nicht den tatsächlichen Verhältnissen entspre-

chen. Schon RUHLAND hat 1909 schwere Bedenken gegen die Annahme einer getrennten Ionenaufnahme vorgebracht. Es soll aber weiterhin darauf aufmerksam gemacht werden, daß das Anion SO_4 keine saueren Eigenschaften hat, diese kommen nur den H-Ionen zu. Es ist also unverständlich, daß durch eine bevorzugte Kationenaufnahme die Lösung saurer wird. Da nun aber tatsächlich auch unter vollständig sterilen Bedingungen in Gegenwart von Ammoniumsalzen starker Säuren durch die Tätigkeit der Pflanzenwurzeln die Lösung dauernd saurer wird, so muß also auch eine ständige Vermehrung der H-Ionen erfolgen. Allerdings kann eine getrennte Ionenaufnahme diesen p_{H} -Abfall nicht erklären. Der Annahme einer getrennten Ionenaufnahme stellt sich aber auch eine weitere Schwierigkeit entgegen. Wie werden die elektrostatischen Anziehungskräfte der Ionen überwunden? Schon sehr bald muß bei ungleicher Ionenaufnahme die Wurzel positiv und das Nährmedium negativ aufgeladen sein. Dadurch wird natürlich eine weitere bevorzugte Kationenaufnahme unmöglich gemacht. Man muß daher, damit das elektrische Gleichgewicht erhalten bleibt, einen Ionenaustausch mit zur Erklärung heranziehen. Kationen, die aus der Zelle stammen, müssen in der Außenlösung die Stelle der eintretenden NH_4 -Ionen einnehmen. Von einer Reihe von Forschern ist auch diese Hilfsannahme gemacht worden. Am leichtesten erklärt die Annahme, daß es die Ionen der Atmungskohlensäure sind, die am Ionenaustausch beteiligt sind, die aufgeworfene Frage. H-Ionen treten an Stelle der NH_4 -Ionen und CO_3 - bzw. HCO_3 -Ionen an Stelle der Säureionen. Wo soll nun aber eigentlich dieser Austausch stattfinden? Es sind zwei Fälle denkbar: 1. Der Austausch findet an der Grenzfläche Zelle — Außenmedium statt und $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ bzw. NH_4HCO_3 tritt in die Zelle ein. 2. Das Molekül (NH_4) -Säure tritt in die Zelle ein und erst dort findet der Ionenaustausch statt. Die gebildete Säure wird darauf wieder nach außen abgegeben, während das entstandene Ammoniumkarbonat bzw. Bikarbonat in der Zelle verbleibt.

A. MAYER (1920) tritt in der siebenten Auflage seiner Agrikulturchemie für die letztere Ansicht ein. „Bekommt eine stickstoffbedürftige Pflanze diesen Grundstoff in Gestalt von Salmiak, so wird das Ammoniak dieses Salzes rasch assimiliert und verarbeitet. Die Salzsäure bleibt übrig, da für sie als solche keine Funktion in der Pflanze und keine Möglichkeit der Verarbeitung existiert, und wird durch die Wurzeln exosmotisch ausgeschieden.“ BENECKE (1924) läßt in seiner Pflanzenphysiologie die Frage, ob die Trennung in oder außerhalb der Zellen erfolgt, offen. „Wenn man mit Ammoniumsalzen gelegentlich schlechte Erfahrungen gemacht hat, so rührt das vielfach daher, daß durch bevorzugten Verbrauch des Ammoniums und das Übrigbleiben der Säure diese letztere, sei es im Zellsaft, sei es in der Außenlösung giftig wirkte.“ BENECKE hat sich aber weiter schon von der Annahme einer getrennten Ionenaufnahme, ver-

bunden mit einem Ionenaustausch, freigemacht, indem er die hydrolytische Spaltung des Ammoniumsulfates z. B. zu Hilfe nimmt. Die Base NH_4OH wird von der Pflanze aufgenommen und verarbeitet, während die Säure H_2SO_4 zurückbleibt. Loo (1927), der andererseits bei den Ammoniumsalzen eine ungleiche Ionenabsorption annimmt, vertritt die Ansicht, daß gleichzeitig mit den NH_4 -Ionen gleiche Mengen von *OH-Ionen* des Wassers von den Wurzeln aufgenommen werden: „The aniones left in the medium combine with the hydrogen ions dissociated from water and thus make the solutions very acidic.“ Dieser Annahme muß die Beobachtung entgegengestellt werden, daß man bisher ein Eindringen von H- bzw. OH-Ionen in normale, nicht geschädigte Zellen in nennenswerten Mengen noch nicht hat nachweisen können. Weiterhin ist es auch sehr schwer verständlich, warum gerade die OH- und nicht die H-Ionen von der Zelle bevorzugt aufgenommen werden, obwohl doch mit steigender Azidität die Konzentration der OH-Ionen immer mehr gegenüber derjenigen der H-Ionen zurücktreten muß. Kommt es nun in der Zelle oder an der Grenzfläche Zelle — Außenmedium durch Ionenaustausch zu einer Freimachung der Säure, so muß in unmittelbarer Nähe der Wurzeln ein besonders starker Aziditätsanstieg erfolgen. Die auftretende Säure muß aber weiterhin imstande sein, auf schwerlösliche Salze, deren Löslichkeit mit fallendem p_{H} -Wert ansteigt und die den Wurzeln aufliegen, lösend zu wirken. Von den anorganischen Eisen-salzen wissen wir, daß deren Löslichkeit in starkem Maße von der Reaktion der Lösung abhängig ist. Mit steigender OH-Ionenkonzentration wird die Bildung von Ferri- und Ferrohydroxyden begünstigt und damit die Löslichkeit mit fallender Wasserstoffionenkonzentration herabgesetzt. Es wird also die Gefahr einer echten Eisenchlorose, wenn sich nur eine anorganische Eisenquelle im Nährmedium befindet, mit steigendem p_{H} -Wert zunehmen, zumal da sich bei zahlreichen Untersuchungen hat beobachten lassen, daß nur die Eisensalzmengen, die sich im molekular-gelösten Zustande befinden, von den Pflanzen direkt aufgenommen werden können. Aus den Untersuchungen von USPENSKI (1927) darf man wohl sogar den Schluß ziehen, daß nur der Teil des Eisens, der als Ion in der Lösung vorkommt, unmittelbar aufgenommen wird.

Stelle ich mir nun eine Nährlösung von alkalischer Reaktion und mit Eisenphosphat als Eisenquelle her und gebe ich einerseits physiologisch-alkalische Nitrate als N-Quellen, andererseits Ammoniumsalze, so wird, falls unsere im vorhergehenden ausgeführten Überlegungen zu Recht bestehen, daß es nämlich in Gegenwart von Ammoniumsalzen an der Grenzfläche: Wurzel—Nährstofflösung zu einem starken Aziditätsanstieg kommt, und wenn ferner das Eisenphosphat den Wurzeln aufliegt, die Gefahr einer Eisenchlorose in Gegenwart der Ammoniumsalze weit geringer sein, als wenn sich Nitrate in der Lösung befinden.

Methodik und Versuchspflanzen.

Die meisten Versuche wurden mit *Zea mays* — gelber und blauer Zuckermais — ausgeführt. Die Pflanzen wurden in Sägemehl angezogen. Hatten sie eine Höhe von 8—10 cm erreicht, so wurden sie in Leitungswasser überführt. Sobald sich neue Stelzwurzeln entwickelt hatten, wurden die alten Hauptwurzeln einschließlich Samen entfernt. Hierdurch wurde zunächst ein starkes Schimmeln und Faulen, das in vielen Fällen von dem Samen aus seinen Anfang nimmt, verhindert. Weiterhin lassen sich aber wegen des Fehlens größerer Reservestoffmengen auch weit einwandfreiere Ergebnisse bei den Wachstumsversuchen erreichen. Hatten die Stelzwurzeln eine hinreichende Länge erreicht, so wurden die Pflanzen in die Versuchslösungen überführt. Als weitere Versuchspflanzen dienen Stecklinge von *Tropaeolum majus* und *Tradescantia fluminensis*. Als Kulturgefäße dienten Glaszylinder von 2,5 l Inhalt aus Jenaer Gerätéglass 20. Die Kulturgefäße waren durch paraffinierte Holzdeckel abgeschlossen, die so eingerichtet waren, daß gleichzeitig vier Pflanzen in jedes Gefäß gestellt werden konnten. Die benutzten Chemikalien stammten von MÉRCK, Darmstadt und trugen die Bezeichnung pro anal. Als Lösungsmittel wurde teils einfach destilliertes Wasser benutzt, teils Leitungswasser. Letzteres wurde wegen seines großen Puffervermögens häufig dem destillierten Wasser vorgezogen. Die Pufferung war auf den großen Gehalt an Magnesium- und Calciumkarbonaten zurückzuführen. Die Analyse lieferte folgende Werte, je nach der Jahreszeit:

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| CaO | 197,6—240 mg |
| MgO | 23,6—24,6 mg |
| SO ₃ | 175—213 mg |
| CO ₂ (gebunden) | 169—176 „ |
| Karbonathärte | 9,6—10,8 |
| Bleibende Härte | 6,5—12,4 |

Bei einigen Versuchen wurden die Kulturen sehr häufig mit der von mir (1927 b) angegebenen Durchlüftungsanlage durchlüftet. Die Wasserstoffionenkonzentration wurde von mir mit Hilfe des Kolorimeters von HELBIG (Freiburg) und der CLARK'schen Indikatoren bestimmt. Dieser Apparat gestattet ein außerordentlich schnelles Arbeiten, so daß ständig eine große Zahl von Kulturen hinsichtlich ihres p_H-Wertes überwacht werden konnten. Die Genauigkeit der Messungen beträgt allerdings nur 0,1 p_H-Einheiten. Sie reichte aber vollständig für meine Zwecke aus. Ammoniak, Salpetersäure und salpetrige Säure wurden ebenfalls mit diesem Apparat bestimmt: Ammoniak kolorimetrisch mit Hilfe von NESZLERS Reagens, Salpetersäure nach WINKLER unter Zugrundelegung der BRUCIN-Reaktion, salpetrige Säure nach RIEGLER mit Hilfe von 1,4-Naphtion-saurem Natrium und β-Naphtol.

Vorversuche.

Es sollte zunächst unter ständiger Kontrolle der Wasserstoffionenkonzentration der Versuchslösungen geprüft werden, ob bei Einhaltung einer neutralen Reaktion, die Wirkung der Ammoniumsalze derjenigen von Nitraten gleichkommt, wie es nach der Annahme von PRJANISCHNIKOW erwartet werden muß, und ob die Ammoniumkulturen hinsichtlich Eisenversorgung eine Überlegenheit über die Nitratkulturen zeigen. Zu diesen Versuchen wurde Leitungswasser benutzt. Das Leitungswasser von Münster i. W. hat beim Austritt aus der Leitung wegen seines großen

CO₂-Gehaltes schwach saure Reaktion. Sehr bald aber entweicht die Kohlensäure und es stellt sich ein p_H-Wert von etwa 8,0 ein. Unter dem Einfluß atmender Pflanzenwurzeln sinkt aber dieser p_H-Wert schon nach wenigen Stunden, um dann einen ziemlich konstanten Wert anzunehmen.

A. Versuchspflanze: gelber Zuckermais. Die Versuchsreihe wurde am 8. II. 1927 angesetzt.

1. *Leitungswasser*: Es stellte sich ein p_H-Wert von 7,5—7,6 ein. Die Wurzeln entwickelten sich außerordentlich kräftig. Sie waren sehr schlank und schneeweiß und hatten am 15. V. 1927 eine Länge von etwa 80 cm erreicht. Die Nebenwurzeln, die außerordentlich zahlreich angelegt wurden, erreichten nur eine Länge von wenigen Zentimetern. Das Wachstum der Wurzeln und der Sprosse in der N-freien Lösung lieferte dasselbe Bild, wie es schon von RAUTENBERG und KÜHN 1863 beschrieben worden ist. Die Wurzeln zeigten ein anormales Längenwachstum. „Die Wurzeln streckten sich zu 2—3 Fuß Länge und umkreisten den Boden des Gefäßes mehrere Male.“ Der Sproß hingegen blieb klein. Er erreichte nur eine Länge von etwa 15 cm. Trotz Eisenmangels kam es nicht zu einer Ausbildung von chlorotischen Blättern. Auch die jüngsten Blätter zeigten hellgrüne Farbe. Das Grün der älteren Blätter erfuhr langsam eine Aufhellung. Ein Teil des gebundenen Eisens muß dabei mobilisiert worden sein, um den jüngeren Blättern als Eisenquelle zu dienen. Frischgewicht, Sproß 4,75 g; Wurzel 5,0 g.

2. *Leitungswasser + 0,1 und 0,2% NaNO₃*.

Der Wasserstoffexponent stellte sich ebenfalls nach kurzer Zeit auf p_H 7,5 bis 7,6 ein, erfuhr dann aber langsam während des Versuches einen Anstieg bis 7,8 bzw. 7,9. Die Wurzeln zeigten zunächst gutes Wachstum. Nach etwa 4 Wochen stellten die Wurzelspitzen ihr Wachstum ein, und ein Teil von ihnen starb ab. Der Sproß entwickelte sich anfangs normal, nach einiger Zeit aber zeigten die jüngsten Blätter hochgradige Chlorose. Die Farbe der älteren Blätter hatte keine Aufhellung erfahren. Eine nachträgliche Mobilisierung des Eisens fand also nicht statt. Die Pflanzen in der 0,1%igen NaNO₃-Lösung zeigten ein etwas besseres Wachstum als die in der stärkeren Lösung.

3. *Leitungswasser + 0,1 und 0,2% NH₄Cl*.

Ein nennenswertes Wurzelwachstum fand nicht statt. Die Pflanzen zeigten sehr bald eine hochgradige Chlorose. Die Wurzeln bräunten sich und starben ab. Nach etwa 4 Wochen waren sämtliche Pflanzen tot. In der schwächeren Lösung war der p_H-Wert auf etwa 7,0—7,1 gefallen, in der stärkeren Lösung bis auf etwa 6,0.

4. *Leitungswasser + 0,1 und 0,2% NH₄NO₃*.

Auch hier starben innerhalb von 4 Wochen sämtliche Pflanzen ab. Der p_H-Abfall war schwächer.

Da die bei 3 und 4 beobachteten Wurzelschäden einen ganz charakteristischen Verlauf nahmen und da, wie wir später sahen, der Verlauf benutzt werden kann, um Säureschäden von typischen Ammoniumsalzschäden zu unterscheiden, so soll darauf noch etwas näher eingegangen werden. Das Wurzelwachstum wird sofort stark gehemmt. Die Wurzelspitzen der alten und neuen Wurzeln nehmen an Dicke zu. Es werden zahlreiche Nebenwurzeln angelegt. Diese bleiben aber kurz und dick und stehen fast rechtwinklig zur Hauptwurzel. Nach einiger Zeit tritt ein Verglasen besonders der Spitzen auf. Häufig läßt sich aber auch beobachten, daß an Wurzeln ältere Teile schon verglaste Stellen aufweisen, während die jüngeren noch weiß sind. Kurz darauf sterben die verglasten Stellen ab unter gleichzeitiger Braunfärbung. Diese Beobachtungen stimmen vollständig mit den

Ergebnissen von STOHMANN überein, welche dieser Forscher 1864 beim Mais in Gegenwart von NH_4NO_3 erhielt. STOHMANN spricht von abnormer Wurzelbildung. Die „Wurzeln waren kurz und dick, rechtwinkelig gegen die Hauptwurzeln waren kleine dicke Nebenwurzeln in großer Zahl angesetzt. Anfangs Juli begannen jedoch die dicken Wurzeln, von unten anfangend, abzusterben“. Auch MAZÉ hat 1900 dieselben Beobachtungen gemacht. Die Verglasung der Wurzeln erinnert stark an die Beobachtung von BUTKÉWITSCH (1912), daß an Ammoniakvergiftung leidende Pflanzenteile der Lupine eine glasige Beschaffenheit annehmen.

5. Leitungswasser + 0,1% NaNO_3 + 0,5 g KCl + 0,5 g MgSO_4 + 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ im Liter Wasser.

Die Wurzeln entwickelten sich ganz normal, sie blieben allerdings erheblich in ihrem Längenwachstum gegenüber den in reinem Leitungswasser wachsenden Pflanzen zurück. Dafür waren sie aber erheblich kräftiger und besaßen sehr zahlreiche, lange, schneeweiße, kräftige Nebenwurzeln. Schäden ließen sich nicht feststellen. Der Sproß zeigte normales Wachstum. Anfangs stellte sich eine mittelstarke Chlorose ein, die aber durch häufiges Umrühren zum Verschwinden gebracht wurde. Der p_H -Wert sank bei dem guten Wurzelwachstum zunächst schnell auf 7,3, um aber später langsam auf p_H 7,7 anzusteigen. Am 15. V. 1927 hatte der Sproß eine Länge bis 45 cm erreicht. Die Wurzeln waren bis 55 cm lang. Frischgewicht: Sproß 36,0 g; Wurzel 19,5 g.

Eine zweite Kultur, der die doppelte Natriumnitratgabe geboten wurde, zeigte dasselbe Wachstum.

6. Leitungswasser + 0,1% NH_4Cl + 0,5 g KCl + 0,5 g MgSO_4 + 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ im Liter Wasser.

Anfangs ist das Wurzelwachstum sehr schlecht. Der größte Teil der Wurzeln bräunt sich und geht später zugrunde. Die Wurzelschädigung ist von einer außerordentlich starken Chlorose begleitet. Häufiges Umrühren genügt nicht, um die Chlorose zu beseitigen. Nach 6 Wochen haben die Wurzeln nur eine Länge bis zu 15 cm erreicht. Zwei Pflanzen sind abgestorben. Ende März setzte aber eine sehr kräftige Erholung der beiden überlebenden Pflanzen ein. Es beginnen sehr zahlreiche Wurzeln auszutreiben. Auch bilden sich an den älteren Wurzelteilen zahlreiche weiße, kräftige Nebenwurzeln. Die Chlorose ist auch verschwunden. Der p_H -Wert ist langsam während des Versuches gefallen und betrug am 15. V. 1927 p_H 3,6. Salpetersäure und salpetrige Säure ließen sich während des Versuches nicht nachweisen. Es hatte also keine Nitrifikation in der Lösung stattgefunden. Die Sprosse hatten eine Länge bis 70 cm erreicht und blühten. Die neuen Wurzeln etwa bis 50 cm lang. Frischgewicht der beiden Pflanzen: Sproß 48 g; Wurzeln 9,0 g. Am kleinen Frischgewicht der Wurzeln kann man noch deutlich die starke Schädigung, die am Anfang die Pflanzen durchzumachen hatten, erkennen. Es standen am Ende des Versuches den Pflanzen noch 350 mg NH_3 zur Verfügung. Eine gleiche Kultur, die aber die doppelte NH_4Cl -Menge erhielt, wurde schon nach 3 Wochen abgebrochen, da nach 14 Tagen die größten Teile der Wurzeln bereits abgestorben waren.

7. Leitungswasser + 0,1% NH_4NO_3 + 0,5 g KCl + 0,5 g MgSO_4 + 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$.

Auch bei dieser Kultur ließ sich in den ersten Wochen dieselbe starke Wurzelschädigung beobachten wie bei 6. Auch hier trat hochgradige Chlorose der Sprosse ein. Es starb aber keine Pflanze ab. Nach 5–6 Wochen setzte bei dieser Kultur ebenfalls rasche und starke Erholung ein. Die Chlorose wurde überwunden. Die Blätter bekamen, soweit sie noch nicht zur Zeit der Chlorose ausgewachsen waren, eine saftig grüne Farbe. Am 15. April waren zahlreiche neue

schneeweiße Haupt- und Nebenwurzeln ausgetrieben. Der p_H -Wert war auf 5,8 gesunken. Da sehr viel Wasser verbraucht worden war, wurde neues Leitungswasser nachgefüllt. Der p_H -Wert stieg wieder über 7,0. Dieser Aziditätsabfall war wieder von einer Wurzelschädigung, allerdings leichterer Natur, begleitet. Am 15. V. 1927 betrug der p_H -Wert 6,5. Die Wurzeln hatten sich auch jetzt noch nicht vollständig erholt, so daß sie schlechter aussahen, als die in der entsprechenden NH_4Cl -Lösung. Der Sproß hingegen war üppig grün, kräftig und trug Blütenstände. Den Pflanzen standen beim Abbruch des Versuches noch im ganzen 67,5 mg NH_3 zur Verfügung. Frischgewicht der vier Pflanzen: Sproß 90 g; Wurzeln 17 g.

Es wurde auch ein entsprechender Versuch mit 0,2% NH_4NO_3 angestellt, der aber nach 6 Wochen abgebrochen wurde. Die anfänglichen Wurzelschäden waren noch größer als vorher. Es trat aber auch hier nach einiger Zeit Erholung ein. Der p_H -Wert war bis auf 4,5 gefallen.

Aus diesen Vorversuchen lassen sich schon folgende Schlüsse ziehen: Beim p_H -Wert 7,5—8,0 bildet der Zuckermais noch vollständig normale Wurzeln aus. Dies stimmt vollständig mit meinen früheren Versuchen (1927 b) überein. Es gelang mir damals, noch bis zu p_H 9,0 hin normale und ungeschädigte Wurzeln zu ziehen. Eine schädliche Wirkung einer zu großen OH -Ionenkonzentration läßt sich also nicht feststellen. NH_4Cl und NH_4NO_3 rufen in den Konzentrationen 1:500 bis 1:1000 in schwach alkalischer Lösung eine erhebliche Giftwirkung an den Wurzeln hervor und führen in nicht vollständigen Nährlösungen in etwa 4 Wochen den Tod der Pflanzen herbei. In vollständigen Nährlösungen gelingt es meistens den Pflanzen, die Periode der Schädigung zu überwinden. Der starken Wurzelschädigung geht eine hochgradige Chlorose parallel. Wird $NaNO_3$ in gleichen Konzentrationen den Pflanzen dargeboten, so läßt sich in vollständigen Nährlösungen auch nicht die geringste Wurzel- oder Sproßschädigung feststellen. Im Gegenteil, es werden kräftige, schneeweiße Stelzwurzeln mit zahlreichen langen Nebenwurzeln ausgebildet. In nicht vollständigen Nährlösungen kommt es langsam zu einem Stillstand des Hauptwurzelswachstums und einer starken Schädigung der Wurzelspitzen. Ein Absterben der ganzen Pflanze erfolgt nicht. Besonders auffällig ist aber weiterhin die starke Erholung, die in vollständigen Nährlösungen mit Ammoniumsalzen als N-Quelle nach einiger Zeit einsetzt. Die alten Wurzeln treiben an den nicht geschädigten Stellen neue Nebenwurzeln aus und neue Adventivwurzeln entstehen, die vollständig normal sind. Dem geht parallel eine sehr starke Förderung des Sproßwachstums, so daß hinsichtlich Sproßentwicklung die Ammoniumkulturen den Nitratkulturen gegen Ende des Versuches nicht allein gleichwertig, sondern sogar erheblich überlegen sind. Bei den Wurzeln ist dieses nicht der Fall. Diese Erholung ist von einem Aziditätsanstieg begleitet. Ist nun dieser Aziditätsanstieg die Ursache der Wachstumsbesserung, oder aber deutet er nur an, daß die NH_4 -Salzkonzentration unter die schädliche Grenze gefallen ist? Gegen die zweite Annahme

spricht allerdings die Beobachtung, daß bei den Pflanzen, die in einer vollständigen Nährlösung und NH_4NO_3 als N-Quelle standen, ein Rückschlag im Wurzelwachstum einsetzte, sobald der p_{H} -Wert heraufgesetzt wurde. Der Aziditätsanstieg kann auf zwei verschiedenen Wegen sich günstig für die Pflanzen ausgewirkt haben. Einmal kann er direkt eine ungünstige Wirkung der Ammoniumsalze herabgesetzt haben. Weiterhin kann aber durch die Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration ein für das Wachstum des Maises günstigerer Wasserstoffexponent erreicht worden sein. Besonders die zweite Annahme hat eine große Wahrscheinlichkeit für sich, da bekanntlich die meisten Maisarten ihr Wachstumsoptimum auf der sauren Seite liegen haben.

B. Ganz ähnliche Versuche wurden noch mit Stecklingen von *Tropaeolum majus* angestellt. Vor allen Dingen sollten hier die Wurzelbildung und das Wurzelwachstum in den verschiedenen Lösungen untersucht werden. Da sich auch früher schon gezeigt hatte, daß sich dieses *Tropaeolum* besonders gut in neutralem bis schwach alkalischem Medium entwickelt, so glaubte ich, besonders leicht mit dieser Pflanze die Theorie von PRIANISCHNIKOW nachprüfen zu können. In Leitungswasser ohne eine N-Quelle fand eine sehr starke Bewurzelung statt. Wurde 0,1 oder 0,2% NaNO_3 dem Leitungswasser zugesetzt, so wurden Wurzelbildung und Wurzelwachstum gehemmt. Nach 6 Wochen hatten die Wurzeln aber immerhin noch eine Länge von 10—12 cm erreicht. Sehr viel schlechter war das Wurzelwachstum, wenn dem Leitungswasser 0,1 bzw. 0,2% NH_4Cl zugesetzt wurden. In der schwächeren Lösung erreichten die Wurzeln nur eine Länge von 1,5—2 cm. Sie bräunten sich dann, und die Wurzelspitzen starben ab. In Gegenwart von 0,2% NH_4Cl kam es überhaupt nur zu einer Anlage von Nebenwurzeln. Der p_{H} -Wert war in beiden Kulturen nicht unter p_{H} 7,0 gesunken. Es konnte hier also keine schädliche Säurewirkung vorliegen. Ferner wurden auch noch Versuche mit vollständigen Nährlösungen angesetzt. In Gegenwart von 0,1% NaNO_3 als N-Quelle entwickelten sich schöne, kräftige Pflanzen mit dunkelgrünen Blättern und vielen langen, schneeweißen Wurzeln. Das Frischgewicht der Wurzeln von vier Pflanzen am Ende des Versuches betrug 18 g. Wurde die doppelte Nitratmenge gegeben, so waren Sproß- und Wurzelwachstum geringer. Frischgewicht der Wurzeln (vier Pflanzen) 13 g. Eine sehr viel ungünstigere N-Quelle war Ammoniumchlorid. Das Wurzelwachstum wurde sehr stark gehemmt, und die Wurzeln wurden sehr stark geschädigt. Die Blätter blieben kleiner, und es traten an ihnen zahlreiche gelbe Flecke auf. Nach einiger Zeit setzte deutliche Erholung ein. Es wurden normale Wurzeln ausgebildet. Später ließ aber das Wachstum langsam wieder nach. Dieser zweite Abfall wird dem sich langsam einstellenden kleinen p_{H} -Wert zugeschrieben werden müssen (p_{H} — 3,9). In Gegenwart von 0,1% NH_4Cl betrug das Frischgewicht

der Wurzeln (vier Pflanzen) 5,5 g. Die doppelte Menge NH_4Cl rief noch stärkere Wachstumsdepressionen und Schäden hervor. Am Ende des Versuches waren von 4 Stecklingen 3 abgestorben. Zum Schluß möge noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß Stecklinge von *Aurea*-Formen in allen

Versuchslösungen, auch im reinen Leitungswasser, eine ganz auffällig große Empfindlichkeit zeigten.

Meistens gingen die Pflanzen in nicht vollständigen Lösungen in wenigen Tagen zugrunde. Den Grund für diese außerordentlich geringe Widerstandsfähigkeit zu finden, soll einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben.

C. Im März wurden neue Versuche angestellt, um noch einmal in vollständigen Nähr-

lösungen die Empfindlichkeit des *blauen* Zuckermais gegen verschiedene Ammoniumsalze steigender Konzentration zu prüfen. Der Versuch dauerte vom 25. III bis 11. V. 1927. Jeder Versuch wurde mit zwei Parallelkulturen, in denen sich je vier Pflanzen befanden, angestellt. Einem I Leitungswasser wurden 0,5 g KCl, 0,5 MgSO_4 , 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ und die verschiedenen N-Quellen zugesetzt.

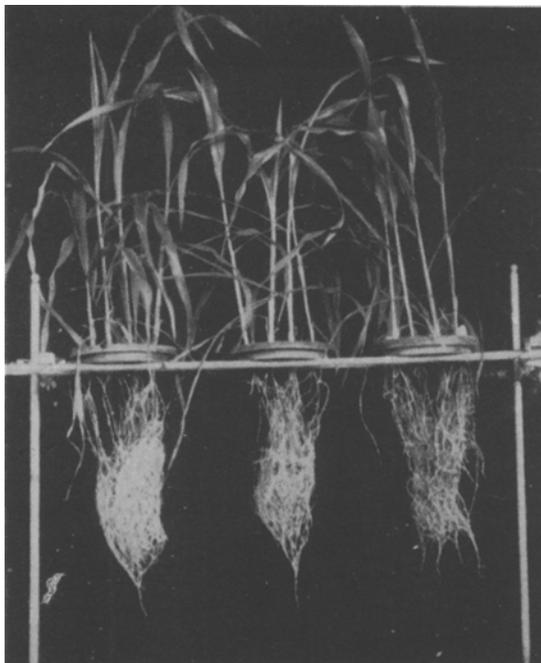


Abb. 1. Mais in vollständiger Nährlösung und Natriumnitrat als N-Quelle. a 0,1% NaNO_3 ; b 0,05% NaNO_3 ; c 0,025% NaNO_3 .

1. NaNO_3 als Stickstoffquelle:

| NaNO ₃ Konzentration in % | p _H -Wert | | Sproßhöhe bis cm | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|--|----------------------|------|------------------------|-----------------------|--------|-------------|
| | Anfang | Ende | | Sproß | Wurzel | |
| a 0,025 | 7,5 | 7,3 | 40 | 30,5 | 13,5 | Abb. 1 a |
| b 0,05 | 7,5 | 7,4 | 40 | 27,0 | 11,5 | „ 1 b |
| c 0,1 | 7,5 | 7,5 | 40 | 27,0 | 12,5 | „ 1 c |

In allen drei Kulturen entwickelten sich die Wurzeln ganz ausgezeichnet. Auch Sproß und Blätter zeigten normales Wachstum. Die Pflanzen waren vollständig frei von Chlorose. Ein erheblicher Unterschied ließ sich zwischen den einzelnen Kulturen nicht feststellen.

2. NH_4Cl als Stickstoffquelle:

| NH_4Cl Konzentration in % | pH -Wert | | Sproßhöhe bis cm | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|-----------------------------------|------------|------|------------------------|-----------------------|--------|--|
| | Anfang | Ende | | Sproß | Wurzel | |
| a 0,025 | 7,5 | 4,2 | 45 | 39,5 | 12,5 | NH_3 verschwunden. |
| b 0,05 | 7,5 | 4,0 | 35 | 25,0 | 7,5 | 350 mg NH_3 im Ganzen noch vorhanden. |
| c 0,1 | 7,5 | 5,0 | 14—25 | 14,5 | 5,5 | 800 mg NH_3 im Ganzen noch vorhanden. 1 Pflanze abgestorben. |
| d 0,1 | 7,5 | 3,9 | 40 | 33,0 | 10,0 | 393 mg NH_3 im Ganzen noch vorhanden. |

In allen drei Kulturen trat zunächst eine Hemmung im Wurzelwachstum ein, die von einer mit steigender NH_4Cl zunehmender Wurzelschädigung begleitet war. Die Sprosse zeigten starke Chlorose. Nach einiger Zeit setzte aber eine Erholung ein, am schnellsten in der schwächsten NH_4Cl -Kultur. In der stärksten Lösung erfolgte sie erst kurz vor Abbruch des Versuches. Die Parallelkultur zu 2 c, 2 d, wurde noch länger sich selbst überlassen. Die Zahlen der Tabelle zeigen deutlich die starke Erholung. Die Chloroseder Blätter verschwand bei allen Kulturen schon bald mit beginnendem Aziditätsanstieg. Nitrifikation hatte in den Kulturen nicht stattgefunden.

In schwach alkalischem Medium rufen also schon 0,025% NH_4Cl Wurzelschädigungen hervor. Auffällig ist aber weiterhin, daß bei 2 c, obwohl sich noch größere NH_3 -Mengen in der Lösung befanden, doch schon eine deutliche Erholung eingesetzt hatte. Dieses spricht doch auch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Wirkung der Ammoniumsalze von der Reaktion abhängig ist.

3. NH_4NO_3 als Stickstoffquelle:

| NH_4NO_3 Konzentration in % | pH -Wert | | Sproßhöhe bis cm | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|-------------------------------------|------------|------|------------------------|-----------------------|--------|--|
| | Anfang | Ende | | Sproß | Wurzel | |
| a 0,025 | 7,5 | 5,8 | 50 | 56 | 16 | NH_3 verbraucht. Abb. 2 a. |
| b 0,5 | 7,5 | 5,3 | 40 | 38 | 9,5 | 96 mg NH_3 noch vorhanden. Abb. 2 b. |
| c 0,1 | 7,5 | 6,1 | 25 | 15 | 6,0 | 337 mg NH_3 noch vorhanden |
| d 0,1 | 7,5 | 6,7 | 15 | 8 | 6,0 | 480 mg NH_3 noch vorhanden. Abb. 2 c. |

3 a. In der zweiten Woche waren die Blätter stark chlorotisch. Das Wurzelwachstum wurde gehemmt. Sodann traten aber Erholung und gutes Wachstum ein. Es bildete sich ein außerordentlich dichtes Netz von schneeweißen Nebenwurzeln.

3 b. Die anfänglichen Wurzelschäden waren erheblich stärker als vorher. Aber auch hier setzten nach einiger Zeit Erholung und kräftiges Wurzel- und Sproßwachstum ein.

3 c und d. Sehr starke Wurzelschäden, ganze Wurzelteile grau-braun gefärbt und abgestorben. Auch die Chlorose ist am Ende des Versuches noch nicht verschwunden, besonders bei d. (Die Wurzeln sehen auf der Abbildung sehr viel kräftiger aus, als sie es in Wirklichkeit waren, da wegen Materialmangel zu dieser Parallelkultur Pflanzen genommen werden mußten, die in Leitungswasser schon lange Wurzeln gebildet hatten. Ein nennenswertes Wurzelwachstum hatte in der Versuchslösung nicht mehr stattgefunden. Deutlich läßt sich auch noch an dem geringen Wurzelfrischgewicht erkennen, daß die Wurzeln aus einem N-freien Medium stammen.)

Folgende Schlußfolgerungen lassen sich aus diesen Versuchsreihen ziehen: Für das Wachstum des blauen Zuckermais ist es belanglos, ob das Natriumnitrat in der Konzentration 0,025—0,1% dargeboten wird. Anders liegen die Verhältnisse bei den Ammoniumsalzen, hier rufen

auch die schwachen Konzentrationen anfangs Hemmung des Wurzelwachstums hervor. Gleichzeitig stellt sich eine Chlorose der Sprosse ein. Später aber macht sich bei kleinster NH_4 -Salzkonzentration eine sehr starke Förderung des Sproßwachstums bemerkbar, so daß diese Kulturen den entsprechenden Nitratkulturen hinsichtlich Frischgewicht erheblich überlegen sind. Beim Wurzelwachstum tritt dieses nicht in so ausgesprochenem Maße in Erscheinung. Die Überlegenheit der schwachen NH_4NO_3 -Kultur über die entsprechende NH_4Cl -Kultur dürfte sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen sein, daß bei letzterer der p_H -Wert ein für das Wachstum ungünstigerer war, die Azidität also zu stark angestiegen war. Sie war aber noch nicht so groß, daß Säureschäden



Abb. 2. Mais in vollständiger Nährlösung und Ammoniumnitrat als N-Quelle. a 0,1% NH_4NO_3 , b 0,05% NH_4NO_3 , c 0,025% NH_4NO_3 .

auftraten. Mit steigender Konzentration nimmt aber die Überlegenheit der NH_4 -Salzkulturen schon wieder ab. Die stärkeren Konzentrationen erweisen sich besonders für die Wurzeln als sehr schädlich, und erst mit einem stärkeren Fallen des p_{H} -Wertes setzt Erholung der Pflanzen ein.

Aus allen Vorversuchen läßt sich schon mit Sicherheit der Schluß ziehen, daß die Gegenwart von Ammoniumsalzen nicht imstande ist, eine besonders gute Eisenversorgung bei neutraler bis alkalischer Reaktion zu gewährleisten. Im Gegenteil, das Auftreten von Eisenchlorose erfolgt sehr viel leichter, als wenn Nitrate als N-Quellen gegeben werden. Bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion sind die Nitrate den NH_4 -Salzen erheblich überlegen. Erst wenn sich die Reaktion bei letzteren nach der saueren Seite verschoben hat, können die Nitratkulturen eingeholt und sogar überflügelt werden. Man kann Nitrat- und Ammoniumsalze nur miteinander vergleichen, wenn dafür gesorgt wird, daß beide Salzgruppen bei gleicher Reaktion zur Anwendung kommen. Weiterhin kann die Annahme von PRJANISCHNIKOW, daß die Pflanzen dann in Gegenwart von Ammoniumsalzen am besten wachsen, wenn die aus diesen Salzen freigemachte Säure ständig neutralisiert wird und es nicht zu einer Störung der neutralen Reaktion der Lösung kommt, in dieser Form nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen.

Hauptversuche.

a) Vollständige Nährlösungen.

D. In den folgenden Versuchen sollte der Einfluß des Kalkes auf die Wirkung der Ammoniumsalze und Nitrate geprüft werden. Die Lösungen enthielten im Liter Leitungswasser 0,5 g KCl + 0,5 g MgSO_4 + 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, außerdem zum Teil 1 g CaCO_3 und verschiedene N-Quellen. Die Versuche dauerten vom 25. III. bis 17. V. 1927. Versuchspflanze war gelber Zuckermais.

1. Leitungswasser ohne Nährsalze:

| | Sproßlänge in cm | Wurzellänge in cm | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|--------|-------------|
| | | | Sproß | Wurzel | |
| a Kultur nicht durchlüftet . | 20 | 80 | 6,5 | 5,5 | Abb. 4 a |
| b Kultur stark durchlüftet. . | 20 | 75 | 6,0 | 5,0 | |

2. Leitungswasser + Nährsalze + 0,5 g NaNO_3 :

| CaCO_3 -Gabe | p_{H} -Wert | | Frischgewicht in g | | Sproßlänge bis cm | Bemerkungen |
|--|----------------------|---------|-----------------------|--------|----------------------|-------------------|
| | Anfang | Ende | Sproß | Wurzel | | |
| a) nicht durchlüftet: | | | | | | |
| α) 1 g CaCO_3 | 7,6 | 7,3 | 48 | 21,0 | 50 | Abb. 3 a „ 3 b |
| β) ohne CaCO_3 | 7,5 | 7,3 | 45 | 15,5 | 45 | |
| b) durchlüftet: | | | | | | |
| α) 1 g CaCO_3 | 7,6 | 8 - 8,1 | 33 | 15,0 | 35 | |
| β) ohne CaCO_3 | 7,5 | 7,9 | 40 | 18,0 | 50 | |

a, α und β) Die Kulturen entwickelten sich sehr gut. Anfangs stellte sich eine leichte Chlorose ein, die aber durch Umrühren beseitigt wurde. Die Wurzelentwicklung war ganz besonders gut. Der Kalk rief nicht die geringste Schädigung hervor. Vielleicht förderte er das Wurzelwachstum.

b, α und β) Die Entwicklung der Sprosse war etwas schwächer als in den nicht-durchlüfteten Kulturen. Auch hier stellte sich anfangs Chlorose ein, die sogar stärker war, als bei den beiden vorhergehenden Kulturen. Später verschwand aber auch sie vollständig. Die Wurzeln zeigten auch nicht die geringste Schädigung: Sie waren kräftig, zahlreich und schneeweiß. Die Unterlegenheit dieser beiden Kulturen gegenüber den nichtdurchlüfteten führe ich auf den durch die Durchlüftung bewirkten Aziditätsabfall zurück. Dafür spricht auch die Tatsache, daß in diesem Falle die Kalk führende Kultur, die einen größeren p_H -Wert zeigte, ungünstigere Ergebnisse lieferte als die $CaCO_3$ -freie.



Abb. 3. Mais in vollständiger Nährlösung und 0,05% $NaNO_3$ als N-Quelle. a mit 0,1% $CaCO_3$; b ohne $CaCO_3$.

3. Leitungswasser + Nährsalze + 0,5 g NH_4NO_3 :

| CaCO ₃ -Gabe | p _H -Wert | | Frischgewicht in g | | Sproßlänge bis cm | NH ₃ -Gehalt am Ende des Versuchs | Bemerkungen |
|-------------------------------|----------------------|---------|--------------------|--------|-------------------|--|-------------|
| | Anfang | Ende | Sproß | Wurzel | | | |
| a) nicht durchlüftet: | | | | | | | |
| α) 1 g CaCO ₃ . . | 7,6 | 7,2 | 21,0 | 8,5 | 27 | 0 | Abb. 4c |
| β) kein CaCO ₃ . . | 7,5 | 5,8 | 80,0 | 30,0 | 70 | 0 | „ 4b |
| b) durchlüftet: | | | | | | | |
| α) 1 g CaCO ₃ . . | 7,6 | 7,9-8,0 | tot | tot | — | 0 | — |
| β) kein CaCO ₃ . . | 7,5 | 5,9 | 65 | 17,5 | 50 | 0 | — |

a, α) Wurzelwachstum stark gehemmt und Wurzeln sehr schwer geschädigt, starke Chlorose. Erst gegen Ende des Versuches, als die NH_3 -Menge in der Lösung stark abgenommen hatte, trat ein Ergrünen der jungen Blätter ein, und an den älteren, nicht abgestorbenen Wurzelteilen brachen neue weiße Wurzeln hervor.

a, β) Die auch hier einsetzende Wurzelwachstumshemmung und die anfängliche leichte Chlorose wurden bald überwunden, und es setzte eine ständig zu-

nehmende Förderung des Sproß- und Wurzelwachstums ein. Am Ende des Versuches hatte sich diese Kultur am günstigsten von der ganzen Versuchsreihe entwickelt.

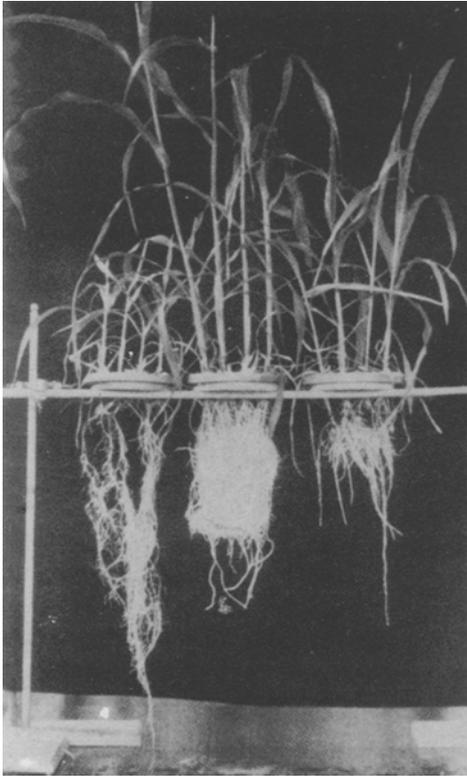


Abb. 4. a Mais in Leitungswasser. b und c in vollständiger Nährlösung und 0,05 % NH_4NO_3 als N-Quelle. b mit 0,1 % CaCO_3 ; c ohne CaCO_3 .

der älteren Wurzeln waren abgestorben. An den oberen Teilen hatte sich eine große Zahl neuer, schneeweißer, schlanker Seitenwurzeln gebildet. NH_3 war nicht mehr nachweisbar. Da in der letzten Zeit nicht mehr der Bodensatz aufgeführt worden war, hatte sich der pH -Wert auf 6,4—6,5 gesenkt. Die Sprosse waren ungleichmäßig entwickelt und 22—40 cm hoch. Das Frischgewicht des Sprosses betrug 32 g, der Wurzeln 10 g.

a, β) Ohne CaCO_3 und nicht durchlüftet:

Leichte Chlorose und leichte Hemmung des Wurzelwachstums wurden bald überwunden. Nach 3 Wochen war der pH -Wert von 7,5 auf 6,0 gesunken. Die Pflanzen hatten sich sehr gut entwickelt und kräftige neue Wurzeln ausgetrieben. Da aber leider das Gefäß zerbrach, konnte die Kultur nicht weiter beobachtet werden.

b, a) 1 g CaCO_3 und durchlüftet:

b, a) Schon nach wenigen Tagen sehr starke Chlorose und große Teile der Wurzeln abgestorben. Am Ende des Versuches sind alle Pflanzen tot.

b, β) Die Pflanzen entwickelten sich etwas schwächer als in der entsprechenden nichtdurchlüfteten Kultur. Auch war die Chlorose am Anfang stärker, trotzdem ist am Ende des Versuches diese Kultur den Nitratkulturen hinsichtlich Sproßwachstum erheblich überlegen, weniger in bezug auf Wurzelwachstum. Die Überlegenheit der nichtdurchlüfteten Kultur über die durchlüftete glaube ich darauf zurückführen zu müssen, daß anfangs der pH -Abfall stärker in ersterem Falle gehemmt worden ist.

4. Leitungswasser + Nährsalze + 0,5 g NH_4Cl :

a, a) 1 g CaCO_3 und nicht durchlüftet:

Die Pflanzen waren anfangs mittelstark chlorotisch, und die Wurzeln geschädigt. Nach etwa 5 Wochen trat eine langsame Erholung ein. Am 15. V. waren die Pflanzen normal grün. Die unteren Teile

Sehr starke Chlorose und große Teile der Wurzeln in wenigen Tagen stark geschädigt. Zwei Pflanzen starben ab. Nach 5 Wochen wurde die Durchlüftung eingestellt. Langsam fiel, trotzdem CaCO_3 als Bodenkörper vorhanden war, der p_H -Wert bis zum 15. V. 1927 auf 5,7. Die beiden überlebenden Pflanzen hatten sich erholt, und an den noch lebenden älteren Wurzelteilen sind neue schneeweiße Wurzeln ausgetrieben. Das Frischgewicht der beiden überlebenden Pflanzen betrug: Sproß 22 g, Wurzel 7,5 g.

b, β) Ohne CaCO_3 und durchlüftet:

Die Pflanzen entwickelten sich anfangs etwas schlechter als bei a, β . Chlorose und Wurzelschäden waren stärker. Schon nach 3 Wochen hatten sich aber sehr viele neue Wurzeln gebildet. Die neuen Blätter waren alle dunkelgrün. Der p_H -Wert war gleichzeitig bis auf 5,8 gefallen. Am Ende des Versuches betrug der p_H -Wert 3,9. 18 mg NH_3 befanden sich noch in der Lösung. Die Sprosse waren bis 45 cm lang. Frischgewicht der Sprosse 57 g, der Wurzeln 13,5 g. Auch in diesem Falle muß die geringe Unterlegenheit gegenüber der entsprechenden NH_4NO_3 -Kultur auf den zu starken Aziditätsanstieg zurückgeführt werden. Das p_H -Optimum ist auch in diesem Falle überschritten worden.

Wir sehen auch an diesen drei Versuchsreihen, daß eine schwach alkalische Reaktion in Abwesenheit von jeglicher N-Verbindung oder in Gegenwart von Chilisalpeter noch normales Wurzelwachstum ermöglicht. Dieses ist aber nicht der Fall, wenn Ammoniumsalze zugegen sind. Erst ein erfolgreicher Aziditätsanstieg gestattet ein normales Wurzelwachstum. Wird diesem p_H -Abfall durch Kalkzusatz entgegengearbeitet, so kann die Schädigung in einigen Wochen den Tod der Pflanzen hervorrufen. Weiterhin ist recht auffällig, daß durch Aziditätsanstieg das Sproßwachstum in ganz besonderem Maße gefördert wird, so daß sich dann eine starke Überlegenheit der NH_4 -Kulturen zeigt. Dieses dürfte aber höchstwahrscheinlich keine direkte Wirkung der Ammoniumsalze sein, sondern darauf zurückzuführen sein, daß durch den p_H -Abfall die Reaktion der Lösung sich der Wasserstoffionenkonzentration immer mehr nähert, die für das Wachstum dieser Maissorten die optimale Konzentration darstellt. Um diese Frage einwandfrei zu klären, wurden die nächsten Versuche angestellt.

E. Als Versuchspflanze diente gelber Zuckermais. Dem Liter Leitungswasser wurden 0,5 g KCl , 0,5 g MgSO_4 , 0,5 g NaNO_3 , 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ zugesetzt und außerdem 1 g CaCO_3 und steigende Mengen NH_4NO_3 . Der Versuch dauerte vom 24. VI. bis 1. VIII. 1927.

Am 18. VII. 1927 wurden die Lösungen erneuert. Die Werte stellen Mittelwerte aus zwei Parallelkulturen dar (vgl. umstehende Tabelle).

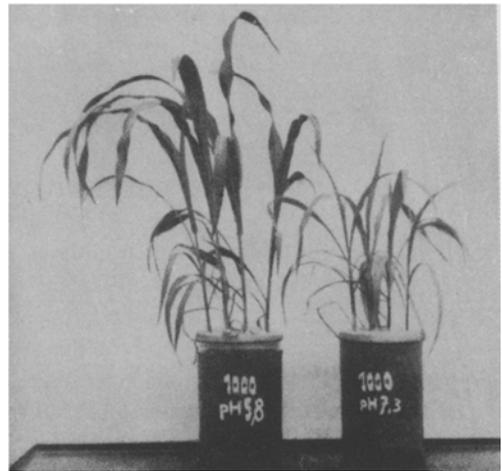
a) Die Pflanzen entwickelten sich ganz normal. Chlorose wurde nicht beobachtet. Die Wurzeln waren schneeweiß, kräftig und lang. Abb. 5 a zeigt die eine Kultur, nachdem die Pflanzen 3 Wochen lang in der Lösung gestanden hatten, Abb. 7 a bei Abbruch des Versuches.

b) Die Abb. 7 b gibt die eine Kultur bei Abbruch des Versuches wieder. Die Kulturen verhielten sich fast gleich denen im vorhergehenden Versuche. Allerdings zeigte eine Kultur in den ersten Tagen des Versuches leichte Chlorose.

| NH ₄ NO ₃ - Menge im Liter Wasser in mg | Entspricht NH ₃ -Kon- zentration in mg | pH-Wert | | Frisch- gewicht in g | | NH ₃ -Konzentration im Liter H ₂ O in mg | | | | Bemerkungen |
|---|--|-------------|------|----------------------------|-------------|---|-----|-------------|-----|--------------------|
| | | An- fang | Ende | Sproß | Wur- zel | am 18. VII. | | am 1. VIII. | | |
| a 0 | — | 7,3 | 7,0 | 42,5 | 22,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Abb. 5a, 7a u. 10c |
| b 50 | 10,6 | 7,3 | 7,0 | 41,0 | 20,0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | Abbildung 7b |
| c 125 | 26,5 | 7,3 | 7,0 | 49,0 | 15,0 | 0 | 0 | 1,6 | 4,0 | |
| d 250 | 53 | 7,3 | 7,0 | 41,0 | 18,0 | 0 | 15 | 0,8 | 20 | Abbildung 7c |
| e 500 | 106 | 7,3 | 6,9 | 27,0 | 11,5 | 25 | 35 | 10 | 80 | Abbildung 7d |
| f 750 | 159 | 7,3 | 6,9 | 25,5 | 9,5 | 85 | 75 | 120 | 110 | |
| g 1000 | 212 | 7,3 | 6,9 | 13,5 | 7,0 | 100 | 130 | 170 | 175 | Abb. 6b, 7e u. 10a |



a b



a b

Abb. 5. Mais in vollständiger Nährlösung ohne NH₄-Salze als N-Quelle nach dreiwöchiger Versuchsdauer. a bei p_H 7,3; b bei p_H 5,5. — Abb. 6. Mais in vollständiger Nährlösung in Gegenwart von 0,1% NH₄NO₃ nach dreiwöchiger Versuchsdauer. a bei p_H 5,8; b bei p_H 7,3.

c) Dasselbe Bild wie vorher. Auffällig ist nur, daß die Wurzelentwicklung schwächer als bei NH₄NO₃-Abwesenheit ist, das Sproßwachstum ist andererseits stärker.

d) Zu Beginn des Versuches traten starke Hemmungen des Wurzelwachstums auf. Erhebliche Teile der Wurzeln wurden geschädigt und starben ab. Später setzte normales Wachstum ein, und zahlreiche neue Wurzeln trieben aus. Als jetzt die Lösung gewechselt wurde, kam es nicht mehr zu einer deutlichen Schädigung der Wurzeln. Allerdings war die Farbe der Wurzeln kein so lichtig Weiß, wie bei den vorhergehenden Kulturen. Die Wurzeln waren grau-weiß gefärbt. Abb. 7 c gibt die eine Kultur wieder.

e) Zu Beginn des Versuches stellte sich sehr starke Chlorose ein, und zahlreiche Wurzelteile starben ab. Kurz vor Erneuerung der Lösungen erfolgte Rückgang der Chlorose und neues Wurzelwachstum. Wechsel der Lösung bewirkte wieder Hemmung im Wurzelwachstum und Schädigung der Wurzeln. Hemmung

und Schädigung wurden aber diesmal leichter überwunden, Abb. 7 d gibt eine Kultur am Ende des Versuches wieder.

f) Die eintretende Schädigung und Chlorose waren noch stärker als vorher. Mit Zunahme der Versuchsdauer klang aber auch die Schädigung ab. Mit Erneuerung der Lösungen setzte wieder eine Zunahme der Wurzelschädigung ein.

g) Diese beiden Kulturen litten in ganz besonders starkem Maße an Chlorose und Wurzelschäden. Bei einer Kultur ist es überhaupt nicht zur Ausbildung neuer Wurzeln gekommen (Abb. 10 a). Abb. 6 b und 7 e geben die andere Kultur wieder. Abb. 6 b gibt die Pflanzen wieder, nachdem sie sich 3 Wochen lang in der Nährlösung befunden hatten. Man kann deutlich auch die starke Hemmung des Sproßwachstums erkennen. Abb. 7 e gibt diese Kultur am Ende des Versuches wieder. Bei dieser Kultur hatten sich über dem Wasser eine Reihe neuer Wurzeln gebildet.

Wir sehen also aus dieser Versuchsreihe, daß bei fast neutraler Reaktion das Wurzelwachstum schon durch kleine NH_4 -Salzgaben eine Depression erleidet (siehe Tabelle), und daß diese Depression von 250 mg NH_4NO_3

ab in eine mit steigender NH_4 -Gabe zunehmende Wurzelschädigung übergeht. Wurzelwachstumsdepression und Wurzelschädigung werden um so leichter überwunden, je kräftiger die Pflanzen sich entwickeln. NH_4 -Konzentrationen, die im jugendlichen Zustande der Pflanzen starke Wurzelschäden bewirken, werden ohne sichtbare Schäden von älteren Pflanzen ertragen. Das Sproßwachstum ist in viel geringerem Maße von der NH_4 -Salzmenge abhängig. Weiterhin sind noch bemerkenswert das geförderte Auftreten von Chlorose durch die Gegenwart von NH_4NO_3 und die starke Ausbildung von Anthocyan in Stengel und Blättern.

F. Mit derselben Nährlösung, in der aber der Kalkzusatz fehlte, und die durch Hinzufügung von Schwefelsäure immer auf p_{H} 5,4—5,8 ge-

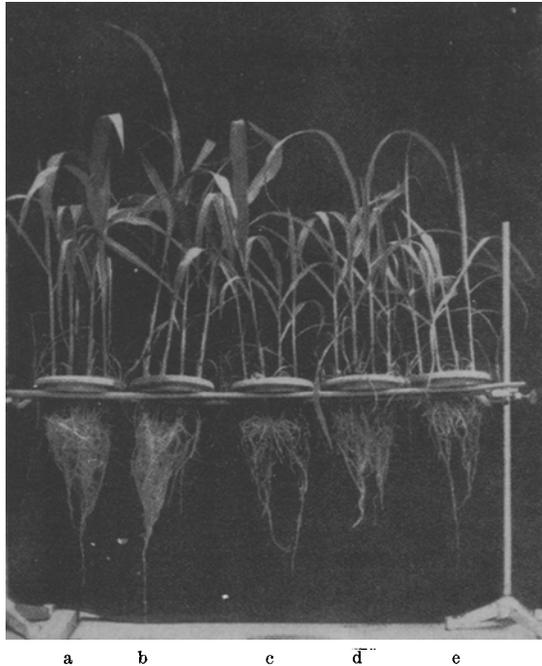


Abb. 7. Mais in vollständiger Nährlösung in Gegenwart von steigenden NH_4NO_3 -Gaben bei p_{H} 6,9—7,3 nach 38 tägiger Versuchsdauer. a 0 mg NH_4NO_3 ; b 50 mg NH_4NO_3 ; c 250 mg NH_4NO_3 ; d 500 NH_4NO_3 ; e 1000 mg NH_4NO_3 .

halten wurde, wurde eine weitere Versuchsreihe angesetzt. Der p_H -Wert war ziemlich leicht in Gegenwart von NH_4NO_3 in dem angegebenen Intervall zu halten. Befand sich aber nur $NaNO_3$ als N-Quelle in der Lösung,

so war die Gefahr, daß eine p_H -Verschiebung nach der alkalischen Seite erfolgte, sehr viel größer. Wurde dann nicht dafür gesorgt, daß das Eisenphosphat den Wurzeln auflag, so stellte sich leicht Chlorose ein, und die Pflanzen blieben im Wachstum zurück.



a b

Abb. 8. Mais in vollständiger Nährlösung bei p_H 5,8 in Gegenwart von a 500 mg NH_4NO_3 ; b 1000 mg NH_4NO_3 nach dreiwöchiger Versuchsdauer.

Die erste Versuchsreihe dauerte vom 27. VI. bis 1. VIII. 1927. Am 19. VII. 1927 wurden die Lösungen erneuert. Je zwei Parallelkulturen wurden angesetzt (vgl. untenstehende Tabelle).

Bei diesen Kulturen bewirkte Zusatz von NH_4NO_3 auch nicht die geringste Wurzelschädigung. Alle Wurzeln zeigten gutes Wachstum und blieben schneeweiß. Eine ganz besondere Förderung

erfuhr aber das Sproßwachstum. Besonders gut zeigt dieses die Abb. 6. Beide Kulturen haben gleiche NH_4NO_3 -Menge erhalten. Der Unterschied besteht nur in der Reaktion der Nährlösung. Aus einem Vergleich mit den Kulturen, bei denen die Reaktion neutral gehalten wurde, geht weiterhin zweierlei hervor. Auch in Abwesenheit von NH_4 -Salzen bewirkt ein Aziditätsanstieg eine erhebliche Wachstumsförderung, besonders der Sprosse. Weiterhin muß aber auch die schädliche Wirkung des NH_4 -Salzes erheb-

| NH_4NO_3 -Menge im Liter Wasser in mg | NH_3 -Konzentration in mg | p_H -Wert | | Frischgewicht in g | | NH_3 -Konzentration im Liter Wasser in mg | | Bemerkungen |
|---|-----------------------------|-------------|------|--------------------|--------|---|-------------|---------------------------------|
| | | Anfang | Ende | Sproß | Wurzel | am 19. VII. | am 1. VIII. | |
| a 0 | — | — | — | 85 | 31 | — | — | Abbildung 5b u. 9a ¹ |
| b 500 | 106 | — | — | 170 | 44 | 15 | 19 | 1 11 Abbildung 8a u. 9c |
| c 1000 | 212 | — | — | 135 | 38,5 | 105 | 50 | 90 95 Abb. 6a, 8b und 9b |

¹ Die Abb. 5, 6 und 8 stellen die Kulturen nach 3wöchiger Versuchsdauer dar. Abb. 9 gibt die Pflanzen am Ende des Versuchs wieder.

lich beeinflußt worden sein. Nach den erhaltenen Werten stellen 500 mg NH_4NO_3 im Liter Wasser bei dem p_H -Wert 5,4—5,8 die optimale Konzentration dar. Es lassen dieses auch die Abb. 8 und 9 erkennen. Auffällig ist andererseits das erheblich schlechtere Wachstum der NH_4NO_3 -freien Kultur. Das Frischgewicht der Sprosse beträgt nur etwa 50% von dem der Kulturen b. Ich glaube, daß ein vorübergehender p_H -Anstieg und die dadurch bedingte mittlere Chlorose die Ursache war.

Es wurde deshalb noch einmal dieselbe Versuchreihe angesetzt und ganz besonders darauf geachtet, daß in Abwesenheit von NH_4NO_3 die Reaktion niemals über p_H 5,8 stieg. Der Versuch dauerte 5 Wochen, nach 3 Wochen wurde die Lösung erneuert. Zu jedem Versuch wurden zweimal je vier Pflanzen benutzt.



Abb. 9. Mais in vollständiger Nährlösung bei p_H 5,8 in Gegenwart von a 0 mg NH_4NO_3 ; b 500 mg NH_4NO_3 ; c 1000 mg NH_4NO_3 nach 35 tägiger Versuchsdauer.

| NH_4NO_3 -Menge im Liter Wasser in mg | NH_3 -Konzentration in mg | Frischgewicht in g | | NH_3 -Konzentration im Liter Wasser in mg | | Bemerkungen |
|---|------------------------------------|--------------------|--------|--|---------------|--|
| | | Sproß | Wurzel | nach 3 Wochen | nach 5 Wochen | |
| 0 | — | 130 | 40 | — | — | Abbildung 10 d. Bei dem sehr starken Wachstum und den besonders günstigen Lichtverhältnissen war der p_H -Wert einige Tage auf 6,45 gestiegen. Abb. 10b. |
| 500 | 106 | 145 | 37 | 25 | 8 | |
| 500 | 106 | 132 | 35 | 22 | 8 | |
| 1000 | 212 | 130 | 32 | 120 | 82 | |
| 1000 | 212 | 115 | 35 | 122 | 60 | |

Die NH_4NO_3 führenden Kulturen verhielten sich ganz ähnlich wie die entsprechenden im vorhergehenden Versuch. Auch bei der letzten Versuchsreihe stellten 500 mg NH_4NO_3 eine günstigere Konzentration dar als 1000 mg. Meine Vermutung, daß bei Einhaltung einer stärkeren Azidität die NH_4NO_3 -freien Kulturen den anderen gleichkommen, hat



a b c d

Abb. 10. Mais in vollständiger Nährlösung nach 35 tägiger Versuchsdauer. a 1000 mg NH_4NO_3 , Anfangs pH -Wert 7,3; b 1000 mg NH_4NO_3 , Anfangs pH -Wert 5,8; c 0 mg NH_4NO_3 , Anfangs pH -Wert 7,3; d 0 mg NH_4NO_3 , Anfangs pH -Wert 5,8.

sich bestätigt. Vielleicht bleibt sogar das Wurzelwachstum in den NH_4NO_3 -führenden Kulturen im Vergleich zu den NH_4NO_3 -freien

etwas zurück. Die Beobachtung, daß die Ammoniumsalze den Nitraten gleichwertig sein können, machte 1923 auch schon OLSEN. Er fand, daß bei pH 6,0 in Gegenwart von NH_4Cl bei *Tussilago farfara* dasselbe

Frischgewicht erreicht wurde, als wenn NaNO_3 als Quelle gegeben wurde (60:58). Ein entsprechender Versuch mit *Aira flexuosa*, der pH -Wert wurde konstant auf 4,0 gehalten, führte zu dem-

selben Ergebnis (6,0 zu 6,1). Leider ist aber OLSEN nicht dazu übergegangen, dieselben Versuche bei pH 7,0 und mehr anzustellen, so daß ihm die dann auftretenden Unterschiede unbekannt bleiben mußten. Bemerkenswert ist weiterhin noch die Beobachtung, daß Ammoniumnitrat in den ersten Tagen der Versuche, als die Versuchspflanzen noch klein waren, schwach physiologisch sauer reagierte. Sobald aber die Pflanzen kräftiger geworden waren, machte sich eine ständig zunehmende physiologische Alkalität bemerkbar.

Etwa gleichzeitig mit den vorhergehenden Versuchen wurden entsprechende Versuche mit dem blauen Zuckermais angestellt. Es

würde aber an Stelle des Leitungswassers destilliertes Wasser benutzt.

G. Einem Liter Wasser wurden zugesetzt 0,5 g KNO_3 , 0,5 g MgSO_4 , 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ und außerdem 1 g CaCO_3 und steigende

NH_4NO_3 -Gaben. Bei einer Reihe von Versuchen wurde der Kalk täglich aufgerührt, bei der zweiten lag der Kalk auf dem Boden der Gefäße; denn schon bei meinen älteren Versuchen (1927 b) konnte ich beobachten, daß trotz großer Mengen von CaCO_3 als Bodenkörper, dennoch in der Nähe der Wurzeln bei starker Atmung keine alkalische Reaktion zu herrschen braucht. Es dauert in nicht aufgerührten Lösungen ziemlich lange, bis die Atmungskohlensäure zu dem Bodenkörper diffundiert und neues CaCO_3 als $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in Lösung bringt. Es wird daher in der Nähe der Wurzeln zu einer Ansammlung von CO_2 kommen und damit zu einem Aziditätsanstieg.

Ist nun die Reaktion in der Nähe der Wurzeln mitbestimmend für die Wirkung der Ammoniumsalze, so muß sich zwischen den aufgerührten und nicht aufgerührten Kulturen ein Unterschied ergeben.

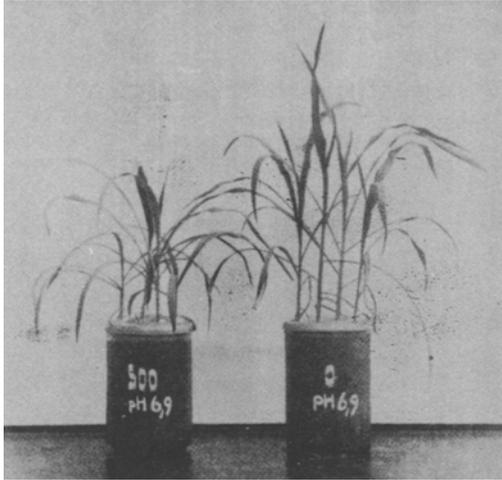


Abb. 11. Mais in vollständiger Nährlösung ohne NH_4 -Salze mit 0,1 % CaCO_3 nach dreiwöchiger Versuchsdauer. a nicht aufgerührt; b häufig aufgerührt. Versuchsdauer drei Wochen.



Abb. 12. Mais in vollständiger Nährlösung unter Zusatz von 0,05 % NH_4NO_3 und 0,1 % CaCO_3 . a nicht aufgerührt; b häufig aufgerührt. Versuchsdauer drei Wochen.

Der Anfangs- p_H -Wert stellte sich bei allen Kulturen auf etwa 7,5 bis 7,6 ein. In 1—2 Tagen sank der Wert unter dem Einfluß der atmenden Wurzeln auf p_H 7,0 und weniger. Waren die Wurzeln dauernd mit CaCO_3



a b

Abb. 13. Mais in vollständiger Nährlösung, der 0,1% CaCO_3 zugesetzt ist, a in Gegenwart von 0,05% NH_4NO_3 ; b ohne NH_4NO_3 .

bedeckt so blieb der p_H -Wert ständig auf 6,9 bis 7,0 stehen.

Die Versuche wurden am 30. VI. 1927 angesetzt. Am 19. VII. 1927 wurden die Lösungen erneuert und am 8. VIII. 1927 die Versuche abgebrochen (siehe untenstehende Tabelle).

In den Lösungen a bis f ließ sich zwischen den aufgerührten und nicht aufgerührten Kulturen kein Unterschied feststellen.

Alle Pflanzen hatten normal grüne Blätter ausgebildet. Die Wurzeln waren schneeweiß, kräftig und zeigten nicht die geringste Schädigung.

g) Die Wurzelentwicklung war erheblich schwächer als bei den vorhergehenden Kulturen. Ein Teil der Wurzeln zeigte starke Schädigungen. Der Sproß war kaum chlorotisch, aber trotzdem etwas im Wachstum gehemmt.

| | NH_4NO_3 -Menge in einem Liter Wasser in mg | NH_3 -Konzentration in mg | Aufgerührt ? | Niedrigster p_H -Wert | Frischgewicht in g | | NH_3 -Gehalt im Liter Wasser in mg | | Bemerkungen |
|---|---|------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|--------|---|----------|-----------------------------|
| | | | | | Sproß | Wurzel | 19. VII. | 8. VIII. | |
| a | 0 | — | + | 6,9 | 63 | 24 | — | — | Abb. 11 b u. 13 b |
| b | 0 | — | — | 6,9 | 60 | 24 | — | — | „ 11 a |
| c | 75 | 15,9 | + | 6,9 | 67 | 24 | 0 | 0 | „ 14 a |
| d | 75 | 15,9 | — | 6,8 | 67 | 23 | 0 | 0 | „ 14 b |
| e | 150 | 31,8 | + | 6,9 | 66 | 24 | 0 | Spur | |
| f | 150 | 31,8 | — | 6,7 | 67 | 23 | 0 | 1 | |
| g | 250 | 53 | + | 6,9 | 43 | 16 | 5 | 3 | |
| h | 250 | 53 | — | 5,5 | 65 | 20 | 2 | 9 | |
| i | 500 | 106 | + | 6,9 | 30 | 10 | 50 | 32 | Abb. 12 b, 13 a, 14 c, 14 d |
| k | 500 | 106 | — | 5,2 | 55 | 16 | 35 | 60 | Abb. 12 a |

¹ Die Abb. 11, 12 und 13 stellen die Pflanzen nach 3wöchiger Versuchsdauer dar, die Abb. 14 am Ende des Versuches.

h) Diese Pflanzen entwickelten sich sehr viel kräftiger. Schon nach wenigen Tagen wurde eine große Zahl von schneeweißen Wurzeln gebildet. Der p_H -Wert fiel dabei auf 5,5. Nach 14 Tagen wurde die Lösung aufgerührt, sofort traten eine Verfärbung der Wurzeln und leichte Schädigung auf. Nach 3 Wochen wurde die Lösung erneuert, und die Wurzeln wurden vor der Überführung in die neue Nährlösung kräftig abgewaschen. Es wurde jetzt wieder eine kräftige Wurzelneubildung ausgelöst.

i) Die Pflanzen waren zunächst stark chlorotisch, die Wurzeln im Wachstum erheblich gehemmt und stark geschädigt. Erst mit starkem Verbrauch des Ammoniaks trat Erholung und Neubildung von Wurzeln ein.



Abb. 14. Mais in vollständiger Nährlösung in Gegenwart von CaCO_3 und steigenden NH_4NO_3 -Gaben. a 75 mg, nicht aufgerührt; b 75 mg, aufgerührt; c 500 mg, nicht aufgerührt; d 500 mg, aufgerührt.

k) Zunächst traten keine Wurzelschäden und keine Chlorose auf. Die Wurzeln und Sprosse zeigten gutes Wachstum. Die starke Überlegenheit der nicht aufgerührten Kultur über die aufgerührte gibt sehr deutlich die Abb. 12 a und b wieder. Als jetzt auch die erstere aufgerührt wurde, trat sofort Hemmung des Wurzelwachstums ein, und ein großer Teil der Wurzeln bräunte sich. Nach Erneuerung der Nährlösung und Abwaschen der Wurzeln gelang es nicht, allen Kalk von den Wurzeln zu entfernen; denn der p_H -Wert sank in der Nähe der Wurzeln nicht mehr unter 6,3. Man ist daher wohl berechtigt anzunehmen, daß die Kultur k ohne das Aufrühren eine noch größere Überlegenheit über die Kultur i gezeigt haben würde.

H. Es wurde gleichzeitig mit der vorhergehenden Versuchsreihe auch der Versuch gemacht, in einer entsprechenden Nährlösung, aber bei p_H 5,2—5,8 die Wirkung größerer NH_4NO_3 -Gaben auf das Wachstum des blauen Zuckermais zu prüfen. Es wurde zu diesem Zweck das $Ca_3(PO_4)_2$ durch 0,3 g $Ca(H_2PO_4)_2$ ersetzt. Es stellte sich dann ein p_H -Wert von 3,8—3,9 ein. Dieser wurde dann durch NaOH auf den gewünschten Wert gebracht. Leider aber lieferte diese Versuchsreihe keine günstigen Ergebnisse; denn erstens war die Pufferung der Lösungen so schwach, daß es nicht möglich war, die Kulturen auch nur annähernd auf demselben p_H -Wert zu halten, weiter aber machte sich der Zusatz des leicht löslichen einbasischen Kalziumphosphates bei der Eisenversorgung der Versuchspflanzen unangenehm bemerkbar. Da durch die große Phosphationenmenge des $Ca(H_2PO_4)_2$ die Dissoziation des Ferrophosphates sehr stark zurückgedrängt wird, so muß natürlich das Löslichkeitsprodukt des an und für sich schon sehr schwer löslichen Eisensalzes so stark verringert werden, daß die Eisenversorgung der Maispflanzen gefährdet ist. Es kann daher schon bei p_H -Werten Chlorose auftreten, wo sich in Abwesenheit von leichtlöslichen Phosphaten ohne die geringste Schwierigkeit normal grüne Pflanzen ziehen lassen. Schon v. D. CRONE (1904) hat darauf aufmerksam gemacht, daß in Gegenwart von leichtlöslichen Phosphaten es sehr viel schwieriger ist, chlorosefreie Pflanzen zu ziehen, als wenn nur schwerlösliche Phosphate in der Lösung vorhanden sind. Nicht haltbar ist allerdings dessen Ansicht, daß nicht Eisenmangel die Chlorose bedingt habe, sondern daß eine spezifische Wirkung der großen gelösten Phosphatmenge vorliege. Meine Beobachtungen nun, daß es mir nicht möglich war, bei p_H 5,8 unter den oben angegebenen Versuchsbedingungen chlorosefreie Pflanzen zu ziehen, und daß dieses nur möglich war, wenn der p_H -Wert auf etwa 5,2 gebracht wurde, stehen vollständig in Einklang mit der Annahme von BENECKE (1904, 1909), der darauf hingewiesen hat, daß die Angaben von v. D. CRONE nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, sondern daß hier eine echte Eisenchlorose vorgelegen habe, die auf die Zurückdrängung der Löslichkeit der Eisensalze durch die Phosphate zurückgeführt werden mußte.

Bei meinen Versuchen kam NH_4NO_3 in den Konzentrationen 750 und 1500 mg im Liter Lösung zur Anwendung, also in Konzentrationen, die bei neutraler Reaktion sehr schwere Schäden, vielleicht sogar den Tod von Wurzel und Sprossen bedingt hätten. Die Pflanzen entwickelten sich zunächst kräftig, und das Wurzelwachstum war ganz normal. Mit zunehmender Größe der Versuchspflanzen erfolgten aber die p_H -Schwankungen so schnell, daß es mir nicht möglich war, einwandfreie Vergleichsergebnisse zu erhalten. Hier ließ sich aber die überraschende Beobachtung machen, daß im Gegensatz zu den entsprechenden Versuchen im Leitungs-

wasser mit dem gelben Zuckermais, das Ammoniumnitrat ausgesprochen physiologisch sauer reagierte und der p_H -Wert in 9 Tagen von 5,4 auf 3,7 fiel.

Nach 5 Wochen wurden bei diesen Kulturen alle Wurzeln entfernt und die Pflanzen in die erneuerte Nährlösung überführt, deren p_H -Wert auf 5,4 eingestellt worden war. Sofort setzte lebhaftere Wurzelneubildung ein, und schon nach 9 Tagen war bei beiden Versuchsreihen das auf der Abb. 15 sichtbare Wurzelsystem ausgebildet worden. Obwohl die Ergebnisse dieser Versuchsreihen wegen der starken p_H -Wertschwankungen nicht ganz eindeutig waren, so ließ sich dennoch auch hier die Beobachtung einwandfrei machen, daß bei saurerer Reaktion erheblich größere Ammoniumsalzmenngen (3—6fach) vom blauen Zuckermais vertragen werden als bei neutraler Reaktion.

Wie kommt es nun eigentlich, daß in einer schwach saueren Lösung die Ammoniumsalze so sehr viel günstiger wirken als in neutraler bis schwach alkalischer? Einmal kann man annehmen, daß eine di-

rekte Beeinflussung der NH_4 -Salzwirkung durch die Wasserstoffionenkonzentration vorliege. Ferner ist aber auch ein indirekter Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration ins Auge zu fassen. Wie wir aus einigen Versuchen ersehen konnten, liegt das Wachstumsoptimum der beiden zu den Versuchen benutzten Maissorten nicht am Neutralpunkt, sondern bei saurerer Reaktion — etwa bei p_H 5,4—5,8. Es wäre nun der Fall denkbar, daß auch in diesem p_H -Intervall die Ammoniumsalze ebenso schädlich sind wie bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion, daß aber durch die Wasserstoffionenkonzentration das Pflanzenwachstum so gefördert

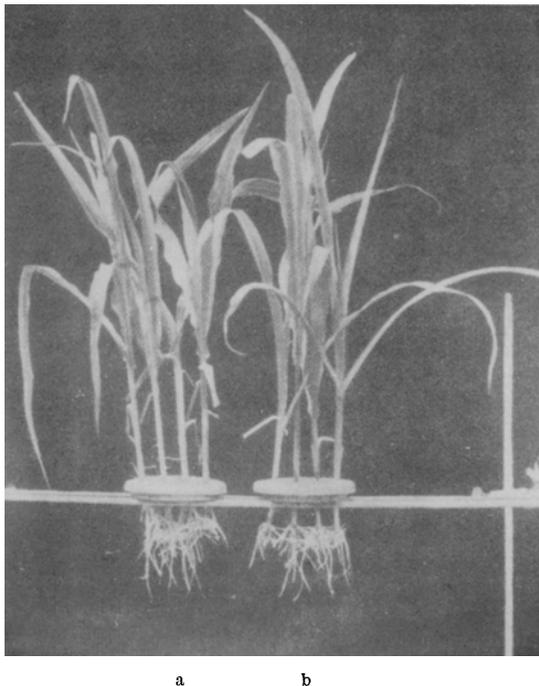


Abb. 15. Wurzelneubildung beim Mais in vollständiger Nährlösung bei saurerer Reaktion. a in Gegenwart von 0,075% NH_4NO_3 ; b in Gegenwart von 0,150% NH_4NO_3 .

wird, daß Versuchspflanzen die Schädigungen leicht überstehen können. Wird nun die Reaktion der Nährlösung noch weiter nach der saueren Seite verschoben, so muß natürlich das Wachstumsoptimum überschritten werden. Das Wachstum wird mit fallendem p_H -Wert nachlassen. Ist nun die Wirkung der Ammoniumsalze bei allen p_H -Werten dieselbe, so muß jetzt, falls das Wachstum in Gegenwart von Alkalinitraten als N-Quelle bei einem bestimmten Aziditätsgrad gleich oder schwächer als in einer entsprechenden Lösung von neutraler bis schwach alkalischer Reaktion ist, die Wurzelschädigung in Gegenwart von NH_4 -Salzen als Stickstoffquelle in der zu stark saueren Lösung ebenso groß und von derselben Art sein, wie wir sie am Neutralpunkte beobachtet haben. Ein zweiter Weg zur Prüfung der aufgeworfenen Fragen ist der, einige Versuche noch einmal im Spätherbst, wenn die Wachstumsbedingungen sehr ungünstig sind, anzustellen. Beide Wege wurden von mir gewählt.

J. Versuchspflanze: blauer Zuckermais. Nährlösung: Im Liter destillierten Wassers 0,5 g KNO_3 , 0,5 g $MgSO_4$, 0,3 g $Fe_3(PO_4)_2$, 0,2 g $Ca(H_2PO_4)_2$. Der p_H -Wert stellte sich auf 3,9 ein. Der Lösung wurden 0,75 g und 1,5 g NH_4NO_3 pro Liter zugesetzt. Die Versuche wurden am 6. VII. 1927 angesetzt und am 2. VIII. 1927 abgebrochen.

| NH ₄ NO ₃ -Menge im Liter Wasser | NH ₃ - Konzentration in mg Anfang | NH ₃ - Konzentration in mg Ende | Tiefster p _H -Wert | Frishgewicht in g | | Bemerkungen |
|--|---|---|----------------------------------|----------------------|--------|-------------|
| | | | | Sproß | Wurzel | |
| a 750 | 159 | 104 | 3,2 | 27,5 | 7,0 | |
| b 750 | 159 | 92 | 3,2 | 27,0 | 7,0 | |
| c 1500 | 318 | 205 | 3,2 | 27,0 | 7,5 | |
| d 1500 | 318 | 240 | 3,2 | 37,0 | 10,0 | |

Das Wachstum der Pflanzen — Sproß und Wurzeln — war sehr schwach. Dieses war aber, wie Kontrollversuche mit NH_4 -freien Kulturen zeigten, einzig eine Folge der saueren Reaktion. Durch häufigen Zusatz von kleinen Mengen von NaOH war es nicht möglich, den ständigen p_H -Abfall zu unterbinden, so daß sich bald typische Säureschäden an Sproß und Wurzel einstellten. Da ja von fast allen Forschern die Säureschäden als die Ursache der ungünstigen Wirkung der Ammoniumsalze angesehen werden, so war es von einer gewissen Bedeutung, diese einmal mit den bei neutraler bis alkalischer Reaktion auftretenden NH_4 -Salzschäden zu vergleichen. In den stark saueren Lösungen wurden dunkelgrüne Blätter ausgebildet. Chloroseartige Erscheinungen traten niemals auf. Die jüngsten und die ältesten Blätter zeigten während der ganzen Versuchsdauer gleiche Farbe. Infolge des Aziditätsanstiegs ließ der Turgor nach, und die Blattfarbe ging vom lebhaften Grün in ein graues Grün über. Bei noch stärkerer Azidität traten an den Spitzen von einigen der jüngsten Blätter Schrumpfungen auf. Den Blättern

gelang es nicht mehr, sich vollständig auseinander zu rollen, und wurde nicht durch NaOH-Zusatz der p_H -Wert etwas gehoben, so starben die Spitzen ab, und in einigen Fällen ging sogar der Vegetationspunkt zugrunde.

Dieselben Erscheinungen haben schon RAUTENBERG und KÜHN (1864) beim Mais beobachtet, wenn in Gegenwart von NH_4Cl als N-Quelle unter dem Einfluß der wachsenden Pflanzen die Versuchslösungen stark sauer geworden waren. Bei Versuchen mit *Callisia Martensiana*, die allerdings zu anderen Zwecken angestellt worden sind, ließen sich ebenfalls die angegebenen Sproßschäden beobachten, wenn in Gegenwart von $(NH_4)_2SO_4$ der p_H -Wert während des Versuches auf 3,2—2,9 gefallen war, also Nachlassen des Turgors, Umschlag der grünen Farbe der Blätter in ein graues Grün und in manchen Fällen starke Schädigung und zum Teil Tod der Endknospen. Unter ähnlichen Bedingungen hatte schon MÜLLER (1922) bei derselben Pflanze die gleichen Sproßschäden beobachtet. OLSEN stellte in Gegenwart von NH_4Cl 1923 bei *Tussilago farfara* ein Nachlassen des Turgors, Welken und Absterben der Blätter fest, wenn der p_H -Wert der Lösung stark gefallen war. Dabei zeigte der Preßsaft der Blätter, der bei normalen Pflanzen p_H 6,2 lieferte, einen starken Aziditätsanstieg. Es wurden p_H -Werte bis 4,8 erhalten. Auch die Beobachtungen von Loo (1927), der unter anderen Pflanzen zu seinen Versuchen auch Mais und Buchweizen benutzte, stimmen sehr gut mit meinen Angaben überein. Weiterhin sei auch noch darauf hingewiesen, daß meine älteren Ergebnisse (1927 b), die ich am gelben Zuckermais gewann, wenn er bei p_H 3,5 bis 3,2 in einer N-freien Nährlösung gezogen wurde, stark an meine jetzigen Resultate erinnern. Auch in diesen stark saueren Lösungen traten Schädigung und teilweise Verkümmern der Sproßspitzen ein. Andererseits habe ich derartige Erscheinungen niemals in neutraler bis schwach alkalischer Lösung in Gegenwart von Ammoniumsalzen festgestellt. Wenn Blätter zugrunde gingen, dann waren es hier immer die ältesten. Die Sproßspitzen allein sind, wenn nicht die ganze Pflanze abstarb, in vollständigen Nährlösungen niemals zugrunde gegangen. Ein Nachlassen des Turgors trat auch niemals ein. Einen Unterschied erhielt man auch im Verhalten der Wurzeln. Mit steigender Azidität stellten langsam die Wurzeln ihr Wachstum ein. Die Verdickungen an den Wurzelspitzen und das stark gestauchte Wachstum der Nebenwurzeln, die, wie wir schon an anderer Stelle ausgeführt, in neutral reagierenden NH_4 -Salzlösungen auftreten, konnten hier niemals beobachtet werden. Bei den großen Aziditätsgraden gingen sodann die Streckungszonen zugrunde und etwas später die Wurzelspitzen. (Die gleichen Beobachtungen wurden schon 1927 in N-freien, stark saueren Lösungen gemacht.) Auffällig war aber die außerordentliche Widerstandsfähigkeit der übrigen Wurzelteile. Diese blieben schneeweiß und zeigten nicht die geringste Schädigung oder

auch nur Bräunung. Es versuchten neue Nebenwurzeln durchzubrechen, deren Spitzen aber nach einiger Zeit abstarben. Auf diese Weise kamen ähnliche Mißbildungen zustande, wie sie von mir 1927 beschrieben worden sind. Auch bei den am stärksten saueren Kulturen waren beim Abbruch des Versuches schätzungsweise mindestens noch 95% der gesamten Wurzelmasse unbeschädigt und schneeweiß. Bei den typischen Ammoniumsalzschäden wurden nicht nur die Wurzelspitzen und jüngsten Wurzelteile sehr stark geschädigt und zum Absterben gebracht, sondern sehr oft 75% und mehr der gesamten Wurzelmasse. Besonders auffällig war es ferner, daß die Wurzelschäden an den Spitzen beginnend nicht gleichmäßig fortschreitend auf die älteren Wurzelteile übergriffen, sondern häufig sah man, daß jüngere Wurzelteile noch normal waren, während ältere Teile starke Schäden aufwiesen. Es konnten an ein und derselben Wurzel geschädigte und nicht geschädigte Abschnitte miteinander abwechseln. Im folgenden sollen noch kurz die an den vier Kulturen gewonnenen Ergebnisse wiedergegeben werden:

a) Nach 14 Tagen war der p_H -Wert auf 3,2 gesunken. Eine Sproßspitze geschädigt, die drei anderen noch normal. Wurzelwachstum sehr schwach. Die Spitzen der älteren Wurzeln zeigten typische Säureschäden. Der p_H -Wert wurde auf 4,0 eingestellt. Die Sproßspitzenschädigung kam zum Stillstand. Nach weiteren 14 Tagen war wieder der p_H -Wert auf 3,3 gesunken. Die Blätter sind außerordentlich spröde, sie brechen leicht ab. Ein Teil von ihnen hängt schlaff herunter. Zahlreiche Nebenwurzeln sind ausgetrieben, die aber kurz geblieben sind. Auffällig ist weiterhin an den Blättern das Auftreten von weißen, chlorophyllfreien Gewebestreifen.

b) Fast dasselbe Bild wie vorher.

c) Nach 14 Tagen p_H 3,2 erreicht. Die Wurzelschäden wie bei a. Die Sproßschäden bei zwei Pflanzen stärker. p_H -Wert auf 4,0 zurückgebracht. Die Sproßschäden waren aber nicht mehr aufzuhalten. Bei den beiden kranken Pflanzen ging das Herz zugrunde. Nach weiteren 14 Tagen war der p_H -Wert wieder bei 3,2 angelangt. Wurzelschäden auch jetzt noch wie bei a. Auch hier Auftreten von chlorophyllfreien Gewebestreifen an den Blättern.

d) In den ersten 14 Tagen dasselbe Bild wie bei c. Der p_H -Wert wurde sodann auf 4,5 gebracht. Die Sproßschäden gingen zurück, und die Sproßspitzen nahmen ihr Wachstum wieder auf. Nach weiteren 14 Tagen war der p_H -Wert erst bis 3,6 gesunken. Die Kultur zeigte trotz der großen zugesetzten NH_4NO_3 -Menge das beste Wachstum. Ich führe dieses darauf zurück, daß der p_H -Endwert in der zweiten Hälfte der Versuchszeit nicht so tief war, wie bei den drei anderen Kulturen. Das Auftreten von weißen Streifen an den Blättern wurde auch hier beobachtet.

Außer den NH_4NO_3 -führenden Kulturen wurde noch eine Kontrollkultur angesetzt, die nur Kaliumnitrat als Stickstoffquelle führte. Weiterhin wurde auch hier dafür gesorgt, daß der p_H -Wert langsam auf etwa 3,3 fiel. Auch hier herrschte geringes Sproß- und Wurzelwachstum. An den Wurzelspitzen traten die typischen Säureschäden auf. Eine Sproßspitzenschädigung ließ sich nicht beobachten, wohl aber waren die Sprosse sehr spröde, und an den Blättern zeigten sich die chlorophyllfreien Strei-

fen. Dieser Mangel in der Ausbildung des Chlorophylls dürfte aber höchstwahrscheinlich keine Folge der großen Azidität sein, da ich diese Erscheinung auch in den $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -führenden Kulturen, deren p_{H} -Wert auf 5,0 und mehr gehalten wurde, beobachten konnte. Es ist daher mit der Möglichkeit zu rechnen, daß, da eine ziemliche Menge leicht löslichen einbasischen Phosphates zugesetzt worden war, die Hemmung in der Chlorophyllausbildung auf zu große Phosphatmengen zurückgeführt werden muß. Auch Loo (1927) beobachtete beim Reis in Gegenwart von $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ ein Schwinden des Chlorophylls. Auch er führt dieses auf die Phosphorsäure zurück.

Wir können aus der vorliegenden Versuchsreihe folgende Schlüsse ziehen: Die Schäden, die besonders an den Wurzeln in neutralen bis schwach alkalischen Medien in Gegenwart von Ammoniumsalzen entstehen, geben ein anderes Bild als die Säureschäden und die Schäden, die in Anwesenheit von NH_4 -Salzen bei zu stark saurer Reaktion in Erscheinung treten. Sie lassen sich sehr wohl von den beiden letzteren unterscheiden. Weiterhin treten bei stark saurer Reaktion, besonders in Gegenwart von NH_4 -Salzen, typische Sproßschäden auf, die bei neutraler Reaktion niemals beobachtet werden. Andererseits ruft in stark sauren Medien die Gegenwart von NH_4 -Salzen trotz des äußerst stark gehemmten Sproß- und Wurzelwachstums niemals die starken Wurzelschäden hervor, wie sie in neutralen Medien schon erheblich geringere NH_4 -Salzmengen bewirken. Trotzdem halte ich es sehr wohl für möglich, daß die schädliche Wirkung einer hohen Wasserstoffionenkonzentration besonders auf den Sproß durch die Gegenwart von NH_4 -Salzen verstärkt wird. Ich glaube sogar dafür in meinen Versuchsergebnissen eine kleine Bestätigung erblicken zu dürfen; denn in Gegenwart von NH_4NO_3 traten deutliche Sproßschäden auf, die in Abwesenheit des Ammoniumsalzes bei gleichem p_{H} -Wert nicht beobachtet werden konnten. Ich hoffe, später diese Frage unter Verwendung rinnender Wasserkulturen der Lösung näher bringen zu können. Es sei aber schon jetzt darauf hingewiesen, daß PORT bei seinen Untersuchungen über die Beeinflussung des Durchdringens der H-Ionen durch das Pflanzenplasma, die Ammoniumsalze in der Reihenfolge: $\text{NH}_4\text{CNS} > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{NH}_4\text{Cl} > (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ das Eindringen der Wasserstoffionen fördern. Zuletzt dürfte auch noch die Beobachtung bemerkenswert sein, daß nach Überschreitung des für das Wachstum der Maispflanzen günstigsten p_{H} -wertes das NH_4NO_3 -Salz wieder einen ausgesprochenen „physiologisch sauren“ Charakter trägt.

K. Am 10. Oktober 1927 wurden Kulturen mit dem gelben Zuckermais angestellt, um mit Hilfe des zweiten Weges die aufgeworfenen Fragen zu prüfen. Am 18. November wurden die Versuche abgebrochen.

Im Liter Leitungswasser wurden 0,5 g NaNO_3 , 0,5 g MgSO_4 , 0,5 g KCl , 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ und zum Teil 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

gelöst. Einem Teil der Kulturen wurde 1 g CaCO_3 zugesetzt. Bei den anderen wurde durch Zusatz von Schwefelsäure der p_{H} -Wert auf 5,0 gebracht, also tiefer als das Wachstumsoptimum. Die CaCO_3 -führenden Kulturen wurden nur in den ersten Tagen aufgerührt, sodann aber sich selbst überlassen.

| (NH ₄) ₂ SO ₄ Menge in mg | NH ₃ -Kon- zentration in mg | p _H -Wert | | NH ₃ -Kon- zentration am Ende in mg | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|---|--|----------------------|------|---|-----------------------|--------|----------------------------------|
| | | Anfang | Ende | | Sproß | Wurzel | |
| a 0 | — | 7,5 | 7,3 | — | 12,2 | 5,2 | + 1 g Kalk |
| b 500 | 128,5 | 7,5 | 6,9 | 35 | 8,8 | 3,6 | + 1 g Kalk |
| c 500 | 128,5 | 7,5 | 6,9 | 36 | 9,7 | 3,0 | + 1 g Kalk |
| d 500 | 128,5 | 5,0 | 4,8 | 65 | 11,0 | 4,0 | + H ₂ SO ₄ |
| e 500 | 128,5 | 5,0 | 4,8 | 65 | 11,0 | 4,2 | + H ₂ SO ₄ |

Infolge der außerordentlich schlechten Lichtverhältnisse war das Wachstum von Sproß und Wurzeln sehr gering, aber dieser Umstand mußte natürlich eine Beantwortung der gestellten Fragen erleichtern.

a) Wurzel- und Sproßentwicklung war normal. Wurzel- oder Sproßschäden ließen sich nicht nachweisen. Eine Pflanze war vorübergehend mittelstark chlorotisch. Die übrigen zeigten keine Chlorose.

b) Alle Pflanzen waren schwach bis mittelstark chlorotisch. Die Sprosse zeigten keine Schäden. Ein nennenswertes Wurzelwachstum hatte nicht stattgefunden. Mindestens 80% der ursprünglichen Wurzelmasse war abgestorben. Kurz vor Abbruch des Versuches traten einige neue Seitenwurzeln an den älteren Wurzelteilen auf.

c) Die Chlorose war etwas leichter und der abgestorbene Anteil der Wurzelmasse erheblich geringer, trotzdem aber immer noch recht groß.

d und e) Alle Sprosse hatten normal grüne Blätter ausgebildet. Die Wurzeln waren schneeweiß und ohne die geringste Schädigung. Die Haupt- und die zahlreichen Nebenwurzeln waren recht lang und auffallend dünn und zart.

Es sei bei dieser Versuchsreihe darauf aufmerksam gemacht, daß trotz des besseren Wachstums in den saueren Lösungen der Ammoniumverbrauch erheblich geringer ist als in den neutralen. Die verbrauchten NH₃-Mengen verhalten sich etwa wie 10 : 7.

Aus dieser Versuchsreihe geht also einwandfrei hervor, daß die Abnahme der ungünstigen Wirkung von NH₄-Salzen durch Steigerung der Azidität nicht darauf zurückzuführen ist, daß durch den p_H-Abfall das Wachstum so stark gefördert wird, daß eine Schädigung durch Ammoniumsalze leichter überwunden werden kann. Es muß daher eine direkte Beziehung zwischen der Giftwirkung von Ammoniumsalzen und der Reaktion des Nährmediums vorhanden sein.

Im folgenden wurden zwei Versuchsreihen angesetzt, die die Frage prüfen sollten, ob nicht doch schon Ammoniumsulfat in Konzentrationen unter 500 mg eine deutliche Wurzelschädigung bei neutraler Reaktion bewirkt, wenn dafür gesorgt wird, daß die in Lösung vorhandene (NH₄)₂SO₄-Konzentration nicht so schnell abnimmt.

Auf zwei Wegen wurde diese Frage geprüft:

1. Die gleiche Menge Nährlösung wurde teils 1 Pflanze, teils 4 Pflanzen dargeboten.

2. Bei der einen Kultur wurde die Lösung häufig erneuert, während eine Parallelkultur sich selbst überlassen blieb.

Weiterhin sollte auch noch geprüft werden, ob die Beobachtung, daß, je günstiger die Assimilationsverhältnisse sind, um so leichter NH_4 -Salzschäden überwunden werden, den Tatsachen entspricht.

L. Nährlösung: im Liter Leitungswasser 0,5 g NaNO_3 , 0,5 g MgSO_4 , 0,5 g KCl , 0,3 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,3 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, steigende Gaben $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und 1 g CaCO_3 . Die Kulturen wurden zunächst 14 Tage lang täglich aufgeführt, sodann erneuert und sich selbst überlassen. Die Versuche dauerten vom 1. August bis 11. Oktober 1927. In den ersten

14 Tagen herrschten noch helle und warme Tage. Dann setzte aber eine lange Regenperiode mit ständiger Bewölkung und recht kalten Tagen und Nächten ein, so daß die Assimilationsbedingungen sehr ungünstig waren. Das Wachstum der Pflanzen war daher auch recht langsam.

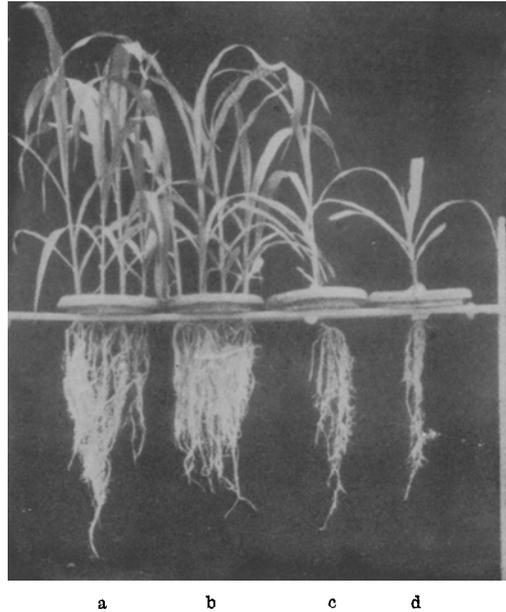


Abb. 16. Mais in vollständiger Nährlösung, der 0,1% CaCO_3 zugesetzt ist. a 4 Pflanzen in 2 l Nährlösung ohne $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; b 4 Pflanzen in 2 l Nährlösung + 0,015% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; c + d je 1 Pflanze in 2 l Nährlösung + 0,015% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Die Abbildung gibt die Pflanze nach 18tägiger Versuchsdauer wieder.

| | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Menge in mg | NH_3 -Konzentration in mg | NH_3 -Konz. am Ende | pH-Wert | | Frischgewicht in g | | Bemerkungen |
|--------|---|------------------------------------|------------------------------|---------|------------|--------------------|--------|---|
| | | | | Anfang | Ende | Sproß | Wurzel | |
| a | 0 | — | — | 7,5 | 7,3 | 41 | 19 | 4 Pfl. Abb. 16a |
| b | 150 | 38,5 | 0 | 7,5 | 6,8 | 45 | 19 | 4 „ „ 16b |
| c | 150 | 38,5 | 0 | 7,5 | 6,8 | 51 | 20 | 4 „ |
| d u. e | 150 | 38,5 | Spur | 7,5 | 7,0 u. 7,1 | 25 | 13 | 2 Versuche mit je 1 Pflanze Frischgewicht aber auf 4 Pflanzen berechnet. Abb. 16c u. d. |

Die Abb. 16 gibt die Pflanzen nach 18tägiger Versuchsdauer wieder.

a) Die Wurzeln entwickelten sich normal, ebenfalls die Sprosse. Schäden ließen sich nicht feststellen.

b und c) In den ersten Wochen traten vereinzelt Schäden an den Hauptwurzeln auf. Sehr bald trieben aber zahlreiche neue Wurzeln aus. Chlorose trat nicht auf. Am Ende des Versuches hatten die Pflanzen ein kräftiges, weißes Wurzelwerk. Das etwas günstigere Wachstum von Kultur c ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß sich in dieser Kultur etwas schneller ein etwas niedriger

p_H-Wert einstellte.

d 1. Die Pflanze wurde mittelstark chlorotisch. Alle Wurzelspitzen wurden geschädigt und das Wachstum der Wurzeln stark gehemmt. Auf der Abbildung läßt sich noch das gehemmte Wachstum der Nebenwurzeln erkennen. Gegen Ende des Versuches folgte eine starke Erholung. Die Chlorose verschwand, und neue Wurzeln wurden gebildet.

d 2. Chlorose und Wurzelschädigung von Beginn an stärker. Eine Erholung setzte nicht mehr ein. Die Pflanze starb ab.

Aus dieser Versuchsreihe geht zunächst hervor, daß bei ungünstigen Assimilationsbedingungen die Empfindlichkeit

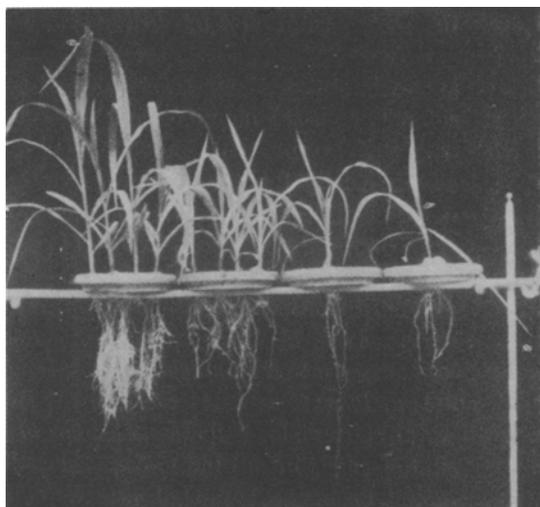


Abb. 17. Mais in vollständiger Nährlösung, der 0,1% CaCO₃ zugesetzt worden war und 0,08% (NH₄)₂SO₄. a 4 Pflanzen in 2 l Nährlösung, diese nicht erneuert; b Lösung häufig erneuert; c 1 Pflanze in 2 l Nährlösung, diese nicht mehr erneuert; d Lösung häufig erneuert.

der Maispflanzen gegen NH₄-Salzschäden zunimmt. Weiterhin zeigt sich aber, daß nicht allein die Konzentration der Ammoniumsalze für den Schädlichkeitsgrad von Bedeutung ist, sondern daß auch schwächere Konzentrationen starke Schäden hervorrufen können, wenn die absolute Menge ziemlich groß ist.

M. Dieselben Ergebnisse lieferten auch die nächsten Versuche. Die Nährlösung hatte dieselbe Zusammensetzung wie beim vorherigen Versuch. Ammoniumsulfat kam in doppelter Konzentration zur Anwendung. Abb. 17 gibt die Versuche nach 18tägiger Versuchsdauer wieder.

a) 4 Pflanzen. Die Lösung wurde nur einmal gewechselt. p_H-Wert am Ende des Versuches auf 6,7 gesunken. Anfangs Chlorose und starke Wurzelschädigung, später Erholung und Ausbildung sehr vieler weißer Wurzeln und normal grüner Blätter. Frischgewicht: Sproß 33 g; Wurzel 17 g (Abb. 17 a).

b) 4 Pflanzen. Lösung häufiger gewechselt. Alle Schäden viel stärker als vorher. Nur eine geringe Erholung setzte später ein. Auf der Abb. 17 b ist deutlich die graue Farbe der Wurzeln zu erkennen. Frischgewicht: Sproß 13 g; Wurzel 7 g.

c) 1 Pflanze. Die Lösung wurde nur einmal erneuert. Die Pflanze starb ab (Abb. 17 c).

d) 1 Pflanze. Die Lösung wurde häufiger erneuert. Der Tod der Pflanze erfolgte noch etwas schneller (Abb. 17 d).

Da der Mais außerordentlich lichtbedürftig ist, und schon bei etwas weniger günstigen Lichtverhältnissen das Wachstum stark gehemmt wird, so daß ein Arbeiten mit ihm im Winter zu keinen günstigen Ergebnissen führte, so wurden Stecklinge von *Tradescantia fluminensis* zu den nächsten Versuchen benutzt. Diese Pflanze wächst besonders gut an schattigen Plätzen im Gewächshaus. Außerdem scheint nach meinen bisherigen Beobachtungen das Optimum des Sproßwachstums bei etwa p_H 6,5—7,0 zu liegen; ob dieses auch für das Wurzelwachstum zutrifft, ließ sich an Hand meiner bisherigen Untersuchungen nicht feststellen. Ferner verträgt diese Pflanze aber auch noch ohne sichtbare Säureschäden ziemlich erhebliche Aziditätsgrade. Auch ist es leicht, sich die nötige Anzahl von Stecklingen gleicher Herkunft jederzeit zu verschaffen. Zu den folgenden Versuchen wurden etwa 15—20 cm lange Stecklinge benutzt, denen nur die jüngsten 4—5 Blätter gelassen wurden. In jedes Kulturgefäß kamen vier Pflanzen.

N. Es wurde zunächst das Verhalten der Stecklinge gegenüber steigenden Ammoniumsulfatgaben geprüft. Im Liter Leitungswasser befanden sich 0,25 g KCl, 0,25 g $MgSO_4$, 0,2 g $Ca_3(PO_4)_2$, 0,2 g $Fe_3(PO_4)_2$ und außerdem teils $NaNO_3$, teils $(NH_4)_2SO_4$ als Stickstoffquelle. Einigen Kulturen wurde im Liter Nährlösung 1 g Kalk zugesetzt. Die Stecklinge stammten alle von ziemlich stark beschatteten Pflanzen. Der Versuch dauerte vom 23. XII. 1927 bis 1. III. 1928. Die Aufnahmen 18 und 19, die einen Teil der Kulturen wiedergeben, sind am 18. I. bzw. 22. I. 1928 angefertigt worden (siehe umstehende Tabelle).

a_1 u. a_2 . Der p_H -Wert ging in wenigen Tagen von 7,5 auf 7,2 herab, um dann langsam bis zum 25. I. 1928 auf 7,7 zu steigen. Später fand noch ein zweiter Abfall bis 7,5 statt. Das Wurzel- und Sproßwachstum war ganz ausgezeichnet. Die Wurzeln waren schlank, schneeweiß und bis 55 cm lang. Besonders auffällig war die glänzende Entwicklung des Sprosses und der Blätter. Dafür mögen folgende Zahlen dienen: Bei Beginn des Versuches waren die Blätter 1,5—1,9 cm breit und 3,5—4,5 cm lang. Am Ende des Versuches waren die jüngsten ausgewachsenen Blätter 2,8—3,1 cm breit und 6,5—7,0 cm lang. Chlorose wurde trotz der alkalischen Reaktion *niemals* beobachtet. Alle Blätter zeigten ein kräftiges, leuchtendes Grün.

b_1 u. b_2 . Abb. 18 c und 19 e. Die Reaktionsveränderung während des Versuches erfolgte in gleichem Sinne und gleicher Stärke wie bei den $CaCO_3$ -freien Kulturen. Die Sproßentwicklung war dieselbe wie bei den Pflanzen a_1 und a_2 . Das Längenwachstum der Wurzeln war durch den Kalkzusatz gefördert worden.

c_1 u. c_2 . Der p_H -Wert sank schnell auf 7,2. Nach 4 Wochen war er bis auf 6,7 bzw. 6,9 gelangt. Am Ende des Versuches betrug der Wasserstoffexponent 6,5 bzw. 6,6. Blätter und Sprosse entwickelten sich ebensogut wie bei den Kulturen a_1 und a_2 . Auch die auffällige Vergrößerung der Blätter am Ende des Ver-

| N-Quelle und -Menge im L. H ₂ O in mg | Ge- samt N- Menge in mg | Wurzel- länge bis cm | Sproß- frisch- gewicht in g 4 Pflan- zen | Kalk- gabe | Am 14. II. 28 waren vor- handen in mg | | Gesamt N-Vor- rat am 14. II. 28 in mg | Bemerkungen |
|--|----------------------------------|----------------------------|---|---------------|--|--|---|--|
| | | | | | N ₂ O ₃ ¹ | N ₂ O ₅ ² | | |
| a ₁ 850 NaNO ₃ | 280 | 55 | 40 | - | - | 735 | 191,1 | |
| a ₂ 850 NaNO ₃ | 280 | 55 | 43 | - | - | 690 | 179,4 | |
| b ₁ 850 NaNO ₃ | 280 | 70 | 35 | + | - | 720 | 187,2 | Abb. 18 c |
| b ₂ 850 NaNO ₃ | 280 | 60 | 40 | + | - | 705 | 183,3 | Abb. 19 e |
| c ₁ 110 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 44,66 | 30 | 44 | - | Spur | 7,5 | 1,9 | NH ₃ ver- braucht |
| c ₂ 110 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 44,66 | 35 | 44 | - | „ | 6,0 | 1,6 | NH ₃ ver- braucht |
| d ₁ 110 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 44,66 | 40 | 37 | + | „ | 12,0 | 3,2 | NH ₃ ver- braucht |
| d ₂ 110 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 44,66 | 35 | 38 | + | „ | 13,5 | 3,5 | NH ₃ ver- braucht Abb. 19 a |
| e ₁ 220 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 93,33 | 13 | 25 | - | 32 | 10 | 34,76 | 24 mg NH ₃ |
| e ₂ 220 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 93,33 | 13 | 30 | - | 26 | 12 | 26,38 | 16 mg NH ₃ |
| f ₁ 220 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 93,33 | 35 | 34 | + | Spur | 44 | 11,4 | NH ₃ ver- braucht Abb. 18 a |
| f ₂ 220 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 93,33 | 35 | 34 | + | „ | 36 | 9,36 | NH ₃ ver- braucht Abb. 19 b |
| g ₁ 330 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 140 | 11 | 25 | - | 32 | 64 | 65,1 | 44 mg NH ₃ |
| g ₂ 330 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 140 | 12 | 28 | - | 36 | 50 | 64,76 | 46 mg NH ₃ |
| h ₁ 330 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 140 | 7 | 23 | + | 70 | 270 | 100,78 | 4 mg NH ₃ |
| h ₂ 330 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 140 | 7 (26) | 26 | + | 8 | 240 | 65,52 | Spur NH ₃ Abb. 19 c |
| i ₁ 660 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 280 | 3,5 | 14,5 | - | 82 | 122 | 252,3 | 230 mg NH ₃ |
| i ₂ 660 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 280 | 3,5 | 20,0 | - | 50 | 68 | 258,58 | 270 mg NH ₃ |
| k ₁ 660 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 280 | 3,5 | 13,0 | + | 210 | 330 | 249,70 | 100 mg NH ₃ Abb. 18 b |
| k ₂ 660 (NH ₄) ₂ SO ₄ | 280 | 3,5 | 14,0 | + | 240 | 380 | 258,0 | 80 mg NH ₃ Abb. 19 d |

suches wurde hier beobachtet. Das Frischgewicht der Sprosse ist sogar größer als bei den Nitratkulturen. Ich glaube, daß dieses auf den etwas niedrigeren p_H-Wert der (NH₄)₂SO₄-Kulturen zurückgeführt werden muß. Von besonderem Interesse war aber die Entwicklung der Wurzeln. Die Bewurzelung erfolgte ebenso schnell wie in den Nitratkulturen. Vom zehnten Tage ab blieben aber die Wurzeln, ohne daß sich Schäden zeigten, erheblich im Wachstum zurück. Ende Januar setzte dann wieder eine Förderung des Längenwachstums ein. Die Kulturen a₁ und a₂ wurden aber nicht mehr eingeholt.

¹ Die vorhandene Nitritmenge ist als N₂O₃ angegeben.

² Die vorhandene Nitratmenge ist als N₂O₅ angegeben.

d₁ u. d₂. Abb. 19 a. Der p_H-Wert fiel von 7,5 auf 7,0. Im übrigen glichen diese Kulturen fast ganz den entsprechenden kalkfreien.

e₁ u. e₂. Der p_H-Wert fiel zunächst schnell auf 7,2, sodann langsam weiter. Am 1. III. 1928 war p_H 5,3 erreicht. Die Entwicklung des Sprosses war schwächer als vorher. Die Blätter blieben auch etwas kleiner. Nach 10 Tagen ließ das Wurzelwachstum stark nach. Die Wurzeln blieben aber schneeweiß und zeigten keine Schäden. Nach etwa 4 Wochen, nachdem die Wurzeln eine Länge von 12—13 cm erreicht hatten, wurden plötzlich die meisten Wurzelspitzen schwarz. Diese Schwärzung breitete sich ziemlich schnell auf die älteren Wurzelteile aus, die schlaff wurden und schnell abstarben. Anfangs war es mir nicht möglich, für diese Erscheinung eine Erklärung zu finden. Erst der Umstand, daß diese Schädigungen in Abwesenheit von CaCO₃ größer waren als in den Kulturen, denen



Abb. 18. *Tradescantia fluminensis*-Stecklinge in vollständigen Nährlösungen mit verschiedenen N-Gaben bei neutraler Reaktion.

Kalk zugesetzt worden war, ließ die Vermutung aufkommen, daß in den Kulturen langsam Nitrifikation erfolgt war, und daß diese Wurzelschäden durch salpetrige Säure hervorgerufen worden waren. LOEW hatte schon 1889 darauf aufmerksam gemacht, daß neutrale Nitrite niemals schädlich auf Infusorien, Diatomeen und Grünalgen einwirken, daß dieses aber sofort der Fall ist, wenn die Nitrite in saueren Nährlösungen dargeboten werden. Die gleichen Beobachtungen machte 1904 TREBOUX. Er konnte feststellen, daß sich die Nitrite meist als eine gute N-Quelle erwiesen, falls nur die Reaktion der Nährlösung eine alkalische ist. Saure Nährlösungen wirken durch Freimachung der stark giftigen salpetrigen Säure tödlich. Auch PRIANISCHNIKOW (1926) beobachtete, daß bei der Wicke die schädliche Nitritwirkung mit sinkendem p_H-Wert wächst. Durch Prüfung mit TROMSDORFS Reagens wurde auch die Gegenwart von Nitriten festgestellt. Am 14. II. wurde quantitativ der Gehalt an Nitriten und Nitraten untersucht: 10 und 12 mg N₂O₅ und 32 und 26 mg N₂O₃ wurden gefunden. Obwohl also tiefe

Kulturgefäße benutzt wurden und die Kulturen nicht durchlüftet worden waren, hatte Nitrifikation eingesetzt.

Merkwürdigerweise hatte ich aber bei meinen Maisversuchen niemals salpetrigsaure Salze festgestellt. Ich nehme daher an, daß die Stecklinge, die von im Erdboden gewachsenen Pflanzen stammten, stark mit Nitrifikationsregenern an den Stengeln behaftet gewesen sind, und daß auf diese Weise Nitrit- und Nitratbakterien in die Kulturen gelangt sind. Allerdings muß deren Sauerstoffbedürfnis doch erheblich geringer sein, als man nach den zahlreichen Literaturangaben besonders für Nitritbakterien erwarten sollte. Mitte Februar bildeten sich an dem Sproßteil, der nicht in die Nährlösung eintauchte, dichte Büschel von Wurzeln, deren Spitzen zum Teil beim Eintauchen in die Lösung schwarz wurden. Ein Teil blieb aber weiß und am Leben. Die Kultur e_2 hatte sich am

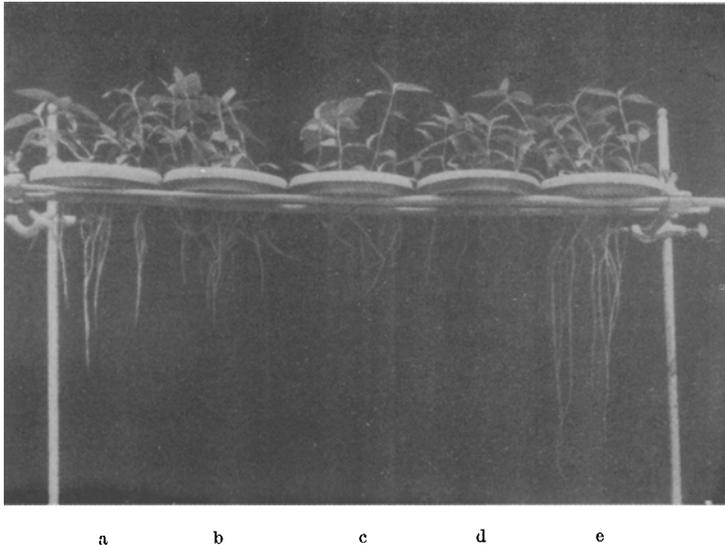


Abb. 19. *Tridascantia fluminensis*-Stecklinge in vollständigen Nährlösungen mit verschiedenen N-Gaben bei neutraler Reaktion. a 0,011 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; b 0,022 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; c 0,033 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; d 0,066 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; e 0,0850 % NaNO_3 .

Ende des Versuches schon etwas stärker erholt als die Kultur e_1 . Sproßschäden wurden nicht beobachtet.

f_1 u. f_2 . Abb. 18a und 19b: Der p_{H} -Wert war langsam auf 6,9 gefallen. Die Sprosse hatten sich günstig entwickelt. Die anfängliche Wurzelentwicklung war aber schwächer als bei e. Auch hier ließen sich in der fünften Woche Nitritschäden feststellen. Die Schwärzung blieb aber auf einige Wurzelspitzen beschränkt. Die meisten Wurzeln blieben normal und entwickelten sich kräftig weiter. Bei der Kultur f_2 war die Nitritvergiftung kaum wahrzunehmen.

g_1 u. g_2 . Der p_{H} -Wert fiel langsam während des Versuches auf 5,4 bzw. 5,3. Die Sproßentwicklung war etwas schwächer als bei e. Anfangs trat leichte Chlorose auf. In den ersten Tagen des Versuches wurden ebensoviel Wurzeln angelegt wie bei den Nitratkulturen. Im Längenwachstum blieben sie aber erheblich zurück. Auch zeigten die Wurzeln leichte Braunfärbung. Nach 4 Wochen hatten sie eine Länge von 11—12 cm erreicht. In der fünften Woche trat

auch hier sehr starke Nitritvergiftung auf. Alle bisher gebildeten Wurzeln starben ab. Mitte Februar bildeten sich über dem Wasser sehr dichte Büschel von neuen Wurzeln. Die meisten stellten aber, sobald sie die Wasserfläche erreicht hatten, ihr Wachstum ein, und die Wurzelspitzen wurden schwarz. Bei der Kultur g_2 reichten schon einige weiße Wurzeln tiefer in die Lösung hinein.

h_1 u. h_2 . Abb. 19 c. Der p_H -Wert hielt sich, solange häufiger aufgerührt wurde, auf 6,9—7,0, sonst fiel er bis auf 6,0. Die anfängliche Chlorose war stärker als bei g . Auch bei diesen Kulturen trieben anfänglich zahlreiche Wurzeln aus. Das Längenwachstum war aber stärker gehemmt als vorher. Nach 4 Wochen hatten die Wurzeln erst eine Länge von 5—7 cm erreicht. Auch bei dieser Kultur trat Nitritbildung und starke Wurzelschädigung auf. Wurde durch starkes Aufrühren für eine Hebung des p_H -Wertes gesorgt, so erfolgte jedesmal eine leichte Besserung. Überließ man die Kulturen sich selbst, so sank der p_H -Wert, und eine Verstärkung der Nitritvergiftung war die Folge. Gegen Ende des Versuches hatten sich auch hier dichte Wurzelbüschel über der Lösung gebildet. Bei h_1 waren die meisten dieser Wurzelspitzen geschädigt und nur wenige zeigten keine Schäden. Der Nitritgehalt war allerdings am 14. II. noch recht groß gewesen. Bei h_2 hatten die Pflanzen die Schäden überwunden, und die neugebildeten Wurzeln hatten eine Länge bis zu 26 cm erreicht. Der Nitritgehalt war nur noch gering.

i_1 u. i_2 . Der p_H -Wert fiel langsam von 7,5 auf 4,7 bzw. 5,0. Es stellte sich in wenigen Tagen hochgradige Chlorose ein, die erst langsam mit steigender Azidität zurückging. Sproß- und Blattentwicklung war dauernd sehr viel schwächer als bei den vorhergehenden Kulturen. Die Größenmaße für die jüngsten ausgewachsenen Blätter betragen: Länge 4,2—5,0 cm, Breite 2,0—2,3 cm. Die Chlorose muß auf eine ungünstige Wirkung des Ammoniumsulfates zurückgeführt werden. Besonders charakteristisch war aber die Entwicklung der Wurzeln. Es wurden ebensovielen Wurzeln angelegt wie bei den Nitratkulturen. Sie erreichten aber in den ersten 4 Wochen nur eine Länge bis zu 3,5 cm. Die ursprünglich schneeweiße Farbe ging schon nach 10 Tagen verloren. Die Farbe schlug nach Grau um, und die jüngsten Wurzelteile wurden glasig. Auffällig war weiterhin, daß sich an den Wurzeln braune Stellen und einige braune Ringe bildeten. Charakteristisch war es weiterhin, daß an den Wurzeln braune und nicht braune Stellen miteinander abwechselten. Im Gegensatz dazu gingen die Nitritschäden von den Spitzen aus und griffen ganz sukzedan auf die älteren Wurzelteile über. Die bei diesen Kulturen zunächst auftretenden Wurzelschäden ließen sich leicht von Säureschäden und von den Nitritschäden unterscheiden. Es lag hier eine charakteristische Vergiftung vor, die dem Ammoniumsulfat zugeschrieben werden mußte. Deutliche HNO_2 -Vergiftung löste erst nach 4 Wochen die $(NH_4)_2SO_4$ -Schädigung ab. Die noch lebenden Wurzelteile wurden schwarz und starben ab. Gegen Ende des Versuches fand nur bei i_2 eine Wurzelbüschelbildung über der Lösung statt. Besonders zu erwähnen ist noch das ganz andere Verhalten des Sproßteiles, der in die Lösung mit eintauchte. Hier ließ sich weder eine $(NH_4)_2SO_4$ -Schädigung, noch eine Schwärzung infolge Nitritvergiftung feststellen. Die Blätter waren allerdings reich an Anthocyan. Auch war das Grün an den anthocyanfreien Stellen nicht so leuchtend wie bei den Nitrat- und schwachen $(NH_4)_2SO_4$ -Kulturen.

k_1 u. k_2 . Abb. 18 b und 19 d. Der p_H -Wert hielt sich bei täglichem Aufrühren auf 7,0—6,9, sonst sank er bis auf 6,0. Die auftretende Chlorose war noch stärker als vorher. Abb. 18 b, die einen Teil der Pflanzen nach 4 $\frac{1}{2}$ wöchiger Versuchsdauer wiedergibt, läßt noch deutlich gelbe Stellen an den Blättern erkennen. Die anfänglichen Wurzelschäden waren noch deutlicher als bei den vorhergehenden

Kulturen. Die Wurzeln erreichten auch nur eine Länge bis 3,5 cm. Die Nitritvergiftung trat auch hier später ein und brachte fast alle Wurzelteile zum Absterben. Die eintauchenden Sproßteile zeigten keine $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Schädigung noch Nitritvergiftung. Durch Hebung des p_{H} -Wertes konnte auch bei diesen Kulturen die durch HNO_2 bedingte Schädigung günstig beeinflußt werden. Bildung von Wurzelbüscheln über der Nährlösung wurde bei diesen Kulturen nicht beobachtet.

Die Hauptergebnisse dieser Versuchsreihe lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen. Auch bei *Tradescantia fluminensis* rufen NH_4 -Salze eine ungünstige Wirkung auf das Wurzelwachstum hervor. Bei kleineren Konzentrationen werden nur Depressionen des Wurzelwachstums beobachtet. In etwas größeren Konzentrationen (0,066% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) werden die Wurzeln nach kurzer Zeit stark geschädigt und stellen ihr Wachstum ein; dabei werden sie grau, und es treten zahlreiche braune Flecken und Ringe an ihnen auf. Später werden sie glasig. Ob durch Anstieg der Azidität die Giftwirkung beeinflußt werden kann, konnte diese Versuchsreihe nicht entscheiden. In Gegenwart von 0,066% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ werden die jungen Sproßspitzen hochgradig chlorotisch. Wenn Nitrifikation in den Kulturen einsetzt, tritt eine Vergiftung der Wurzeln ein. Die Wurzelspitzen werden schlaff, schwärzen sich und gehen zugrunde. Mehr oder weniger schnell greift diese Giftwirkung ganz sukzedan auf die älteren Wurzelteile über. Wie zu erwarten ist, nimmt mit steigender Azidität die Giftwirkung der Nitrite zu. Erhöhung des p_{H} -Wertes bewirkt immer Erholung. Die in die Lösungen eintauchenden Stengelteile lassen weder $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - noch Nitritschäden erkennen.

O. Die folgenden Versuche wurden unternommen, einmal um die Wirkung des Ammoniumsulfates bei saurer Reaktion zu prüfen, weiterhin aber sollte auch untersucht werden, ob tatsächlich bei Zusatz von NaNO_2 als alleiniger N-Quelle die beobachteten Wurzelschwärzungen auftreten, und ob sich diese durch Änderung des p_{H} -Wertes beeinflussen lassen. Die benutzten Stecklinge waren 15 cm lang. Alle Blätter außer den vier jüngsten wurden entfernt. Das zu den Versuchen benutzte Leitungswasser enthielt im Liter 0,25 g MgSO_4 , 0,25 g KCl , 0,2 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,2 g $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ und verschiedene N-Quellen. Durch Schwefelsäure wurde der p_{H} -Wert der Lösungen bis auf 5,2—5,3 gebracht. Der Versuch dauerte vom 5. III. bis 2. IV. 1928 (siehe nebenstehende Tabelle).

In den Kulturen a_1 bis d_2 war überall die Wurzelentwicklung gleichmäßig gut: lange, schlanke, schneeweiße Wurzeln mit sehr vielen, sehr guten Nebenwurzeln. Ein Unterschied der Wurzeln in den Nitrat- und in den NH_4 -Kulturen ließ sich nicht feststellen. Auch in Gegenwart von 990 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ wurde nicht die geringste Bräunung der Wurzeln festgestellt, geschweige denn ein Glasigwerden. Nur an den Sprossen ließen sich Unterschiede feststellen.

Bei den Nitratkulturen sind die Blätter saftig grün gefärbt. Die

| N-Quelle | N-Salz-Menge im Liter in mg | Gesamt-N-Menge in mg | Wurzellänge in cm bis | p _H Endwert | Bemerkungen |
|--|-----------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---|
| a ₁ NaNO ₃ | 850 | 280 | 30 | — | Abb. 20 d |
| a ₂ NaNO ₃ | 850 | 280 | 34 | — | „ 21 d |
| b ₁ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 220 | 93,33 | 32 | 5,4 | „ 20 a 1,75 mg N ₂ O ₃ |
| b ₂ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 220 | 93,33 | 30 | 5,3 | 1,01 mg N ₂ O ₃ |
| c ₁ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 660 | 280 | 36 | 5,3 | „ 20 b 0,9 mg N ₂ O ₃ |
| c ₂ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 660 | 280 | 31 | 5,2 | „ 21 c 1,7 mg N ₂ O ₃ |
| d ₁ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 990 | 420 | 35 | 5,3 | „ 20 c 2,0 mg N ₂ O ₃ |
| d ₂ (NH ₄) ₂ SO ₄ | 990 | 420 | 30 | 5,4 | 2,5 mg N ₂ O ₃ |
| e NaNO ₂ | 25 | 10,15 | 29 | — | „ 21 a; Spur N ₂ O ₃ ; 10 mg N ₂ O ₅ |
| f NaNO ₂ | 50 | 20,3 | 12 | — | „ 21 b; Spur N ₂ O ₃ ; 18 mg N ₂ O ₅ |

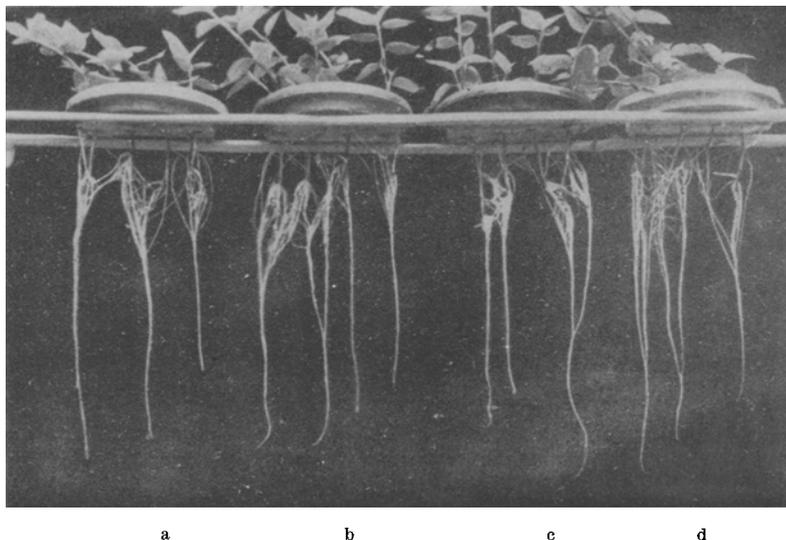


Abb. 20. *Tradescantia fluminensis*. — Stecklinge in vollständigen Nährlösungen mit verschiedenen N-Gaben bei saurer Reaktion. a 0,022% (NH₄)₂SO₄; b 0,066% (NH₄)₂SO₄; c 0,099% (NH₄)₂SO₄; d 0,085% NaNO₃.

Leitungsbahnen treten nicht merklich hervor. Die Blätter fühlen sich weich an und haben einen sukkulenten Charakter angenommen. Ferner sind mehr Seitenäste ausgetrieben, und die Breite der Blätter hat erheblich zugenommen. Die Pflanzen sind sehr turgeszent und die Blätter an den Rändern etwas nach unten eingebogen. Bei den (NH₄)₂SO₄- und NaNO₂-Kulturen sind die Leitungsbahnen der Blätter dunkler grün als die übrigen Blatt-Teile, die besonders an den Rändern eine etwas gelbgrüne Farbe zeigen. Es erinnert das Aussehen der Blätter an die ersten

Zeichen von Eisenchlorose. Die Blätter sind fest und zäh und haben die alte Form beibehalten. Die Ränder sind leicht nach oben umgebogen.

Wir sehen also auch bei diesen Pflanzen, daß ebenso wie beim Mais die am Neutralpunkt schädliche Wirkung des Ammoniumsulfates mit steigender Azidität abnimmt, und daß bei p_H 5,2—5,4 noch Mengen dieses Salzes ohne Schädigung vertragen werden, die bei p_H 7,0 die Wurzeln abtöten, obwohl letzterer Wert dem Wachstumsoptimum näher liegt, als der kleinere p_H -Wert.

Besonders interessant waren weiterhin die Versuche mit $NaNO_2$. Bei der schwächeren Konzentration wurde in den ersten Tagen eine Hem-

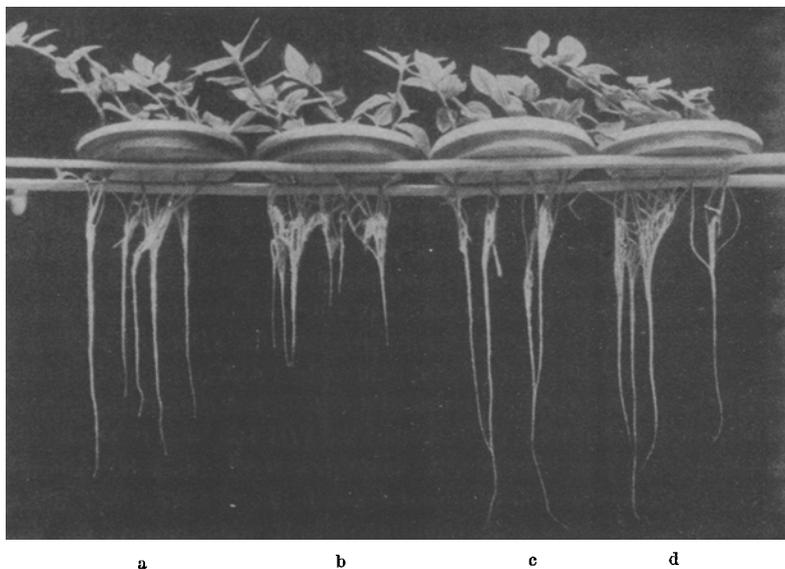


Abb. 21. *Tradescantia fluminensis*. — Stecklinge in vollständigen Nährlösungen mit verschiedenen N-Gaben bei saurer Reaktion. a 0,0025 % $NaNO_2$; b 0,005 % $NaNO_2$; c 0,066 % $(NH_4)_2SO_4$; d 0,085 % $NaNO_3$.

mung im Längenwachstum der Wurzeln beobachtet. Eine Schwärzung der Spitzen erfolgte nicht. Anders verhielten sich die Pflanzen in Gegenwart von 50 mg $NaNO_2$. Es wurden zunächst zahlreiche Adventivwurzeln ausgetrieben. Aber als sie eine Länge von 0,1—2 cm erreicht hatten, wurden alle Wurzelspitzen schwarz. Als jetzt der p_H -Wert auf 6,8 erhöht wurde, erfolgte sofortige Erholung. Neue Wurzeln trieben aus, die innerhalb 10 Tagen eine Länge bis zu 12 cm erreichten. Nach 3 Wochen wurde durch H_2SO_4 der p_H -Wert auf 4,5 herabgesetzt. Schon nach 3 Tagen traten wieder an den Wurzelspitzen Schwärzungen auf, die auch auf die älteren Wurzelteile übergriffen. Damit war der Beweis erbracht, daß auch bei den vorhergehenden Versuchen die unter Schwär-

zung einsetzende Zerstörung der Wurzeln eine Folge der durch die Tätigkeit von Bakterien gebildeten Nitrite war. Weiterhin bewirkte bei den Salzen der salpetrigen Säure, gerade umgekehrt wie bei den Ammoniumsalzen, ein Aziditätsanstieg eine Zunahme der Giftigkeit. Die Nitritbildner in den Kulturen wurden von Herrn stud. HEUBÜLT isoliert. In der Form gleichen sie vollständig den Nitrosomonasarten von WINOGRADSKY. Sie kamen hauptsächlich an den Wurzeln von *Tradescantia fluminensis* vor und zwar etwa 10 cm von der Oberfläche entfernt. Auf dem Boden des Gefäßes waren sie nicht in nennenswerten Mengen anzutreffen, auch nicht unmittelbar an und unter der Oberfläche der Nährlösung.

b) *Versuche mit nicht vollständigen Nährlösungen.*

Bei meinen Versuchen hatte ich häufiger die Beobachtung machen können, daß günstige Ernährungsbedingungen eine erhöhte Widerstandsfähigkeit der Pflanzenwurzeln gegen NH_4 -Salze bedingen. Es sollte nun im folgenden der Versuch gemacht werden, diese Beobachtung etwas zu klären.

P. Versuchspflanze war blauer Zuckermais. Dem Leitungswasser wurden steigende Gaben von NH_4NO_3 zugesetzt, 50, 100, 200, 400 mg im Liter, der einen Versuchsreihe wurde 1 g CaCO_3 zugesetzt. Die andere Reihe erhielt keinen Kalk. Die Versuche dauerten vom 11. VII. bis 27. VIII. 1927. Im NH_4NO_3 -freien Leitungswasser wurden die schon früher beschriebenen Erscheinungen beobachtet: schneeweiße, bis 80 cm lange Hauptwurzeln, zahlreiche aber nur wenige Zentimeter lange Nebenwurzeln, keine Chlorose, sondern Ausnutzung des Eisens der älteren Blätter durch die jüngeren. Schon 50 mg NH_4NO_3 bewirkten sehr starke Chlorose. Die Wurzeln waren kürzer und dicker als im Leitungswasser, besonders war dieses bei den Nebenwurzeln der Fall, die einen stark gestauchten Eindruck machten. Vielleicht darf man hierin das erste Zeichen der NH_4 -Vergiftung erblicken. Bei 100 mg NH_4NO_3 traten, gleichgültig, ob sich Kalk in der Lösung befand oder nicht, starke Schäden an den jüngeren Wurzelteilen auf, Glasigwerden der Streckungszonen und Bräunung einiger Wurzelteile. Noch größere Wurzelstellen waren in Gegenwart von 200 mg NH_4NO_3 abgestorben, und bei 400 mg war über 50% der Wurzelmasse innerhalb 17 Tagen zugrunde gegangen.

Q. Ein gleicher Versuch wurde mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ als N-Quelle (0, 150, 300 mg im Liter) am 27. VII. 1927 angesetzt und am 5. X. 1927 abgebrochen. Auch hier stellte sich in den $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Kulturen starke Chlorose ein. Schon nach 8 Tagen waren in allen Kulturen einige Wurzelteile verglast und abgestorben. Die stärkere Dose wirkte giftiger als die schwächere. Nach 14 Tagen war bei 300 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ schon 40—50% der gesamten Wurzelmasse abgestorben. Am 5. X. 1927 waren die Kul-

turen in dem Leitungswasser ohne N-Quelle noch am Leben. Die schlanken schneeweißen Wurzeln hatten eine Länge von etwa 55 cm erreicht und das achte Blatt war ausgetrieben, aber auch dieses war nicht ausgesprochen chlorotisch. In den $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösungen waren alle Pflanzen abgestorben.

R. Eine dritte Versuchsreihe wurde mit destilliertem Wasser, dem pro Liter 1 g Kalk und steigende $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Mengen zugesetzt wurden, angestellt. Der Versuch dauerte vom 27. VII. 1927 bis zum 27. IX. 1927.

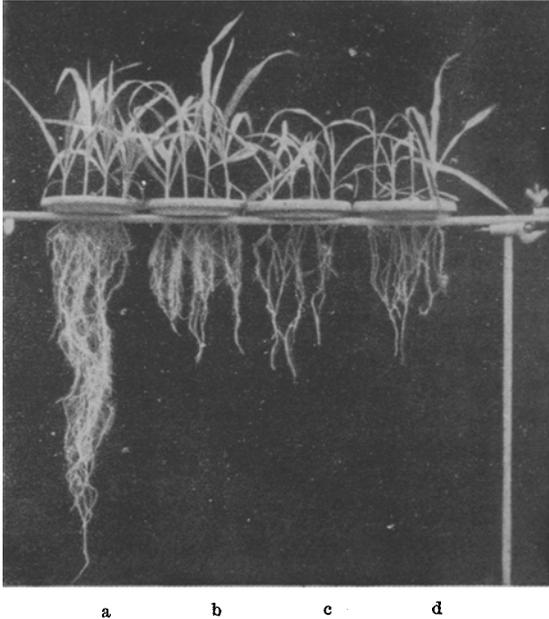


Abb. 22. Mais in destilliertem Wasser, dem 0,1% CaCO_3 und steigende $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Mengen zugesetzt sind. a 0 mg; b 150 mg; c 300 mg; d 600 mg. Die Abbildung zeigt die Pflanzen nach 16 tägiger Versuchsdauer.

Blättern zugunsten der jüngsten statt. Die N-Quelle verhindert, wie es scheint, einen Eiweißabbau und damit Mobilisierung des gebundenen Eisens in den älteren Blättern. Das Hauptwurzelswachstum erfährt sofort eine Hemmung. Die Nebenwurzeln bleiben kurz und dick und zeigen an den Spitzen kolbige Verdickungen. Nach 10 Tagen zeigen sich an vielen Wurzeln Schäden. Nach 16 Tagen sind die untersten Teile der Wurzeln verglast und abgestorben. Am 27. IX. 1927 sind alle 16 Pflanzen abgestorben.

c_1 4. 300 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Abb. 22 c. Diese Kulturen zeigen dasselbe Verhalten wie b_{1-4} . Die Zerstörung der Wurzeln erfolgt allerdings schneller. Schon nach 16 Tagen ist in den einzelnen Kulturen etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ der gesamten Wurzelmasse abgestorben. Am 27. IX. 1927 sind auch hier alle 16 Pflanzen tot.

d_1 4. 600 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Abb. 22 d. Die Zerstörung der Wurzeln erfolgte bei dieser Kultur noch schneller, sonst dasselbe Bild wie vorher.

Die Abb. 22 zeigt die Pflanzen nach 16 tägiger Versuchsdauer.

a_1 und a_2 . 0 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Abb. 22 a. Dauernd gutes Wurzelwachstum. Am 27. IX. 1927 sind die schlanken, schneeweißen Wurzeln bis 80 cm lang geworden. Die jüngsten Blätter der Sprosse zeigen wohl eine hellgrüne Farbe aber keine eigentliche Chlorose. Die mittleren Blätter sind heller grün als die jüngsten. Die ältesten Blätter sind vertrocknet.

b_1-4 . 150 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Abb. 22 b. Vom vierten Blatt an tritt hochgradige Chlorose ein. Ein Aufhellen der älteren Blätter tritt nicht ein. Es findet also keine Mobilisierung des Eisens in den älteren

Wir sehen also aus diesen Versuchen, daß bei neutraler Reaktion die Ammoniumsalze im Leitungs- und destilliertem Wasser von der Konzentration 0,01% ab eine starke Giftwirkung auf den Mais ausüben.

S. Diese Versuche sind unternommen worden, um zu prüfen, ob die Schädigung der Wurzeln nicht noch schneller erfolgt, wenn die Reaktion noch stärker nach der alkalischen Seite verschoben wird. Die Kulturen, die sich teils im Leitungswasser, teils in destilliertem Wasser, dem pro Liter 1 g CaCO_3 zugesetzt worden war, befanden, wurden am Tage 5—6mal je 1 Stunde lang stark durchlüftet. In dem destillierten Wasser stieg dann in Gegenwart von Ammoniumsulfat der p_{H} -Wert auf 7,3—7,4 und in dem Leitungswasser auf p_{H} 7,7. Das Ammoniumsulfat kam in den Konzentrationen 100—400 mg zur Anwendung. Der Versuch dauerte vom 4. bis 13. VIII. 1927.

I. Leitungswasser.

a) 100 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Schon nach 4 Tagen leichte Graufärbung der Wurzeln. Ein Teil der Streckungszonen verglast. Blätter noch normal grün. Nach 9 Tagen waren schon die Spitzen aller Wurzeln abgestorben. Die jüngsten Blätter waren schwach chlorotisch. p_{H} -Endwert 7,7.

b) 200 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ein Teil der Wurzeln wird etwas schneller geschädigt, sonst dasselbe Bild wie bei a. p_{H} -Endwert 7,65.

c) 300 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ein Teil der Wurzeln ist schon nach 4 Tagen braun gefärbt, sonst dasselbe Bild wie bei a. p_{H} -Endwert 7,5.

d) 400 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Schon nach 48 Stunden beginnen Wurzelschäden sich zu zeigen. Nach 4 Tagen sind bei allen Wurzeln die jüngsten Teile abgestorben. Nach 9 Tagen hat die Schädigung noch zugenommen. Der Sproß zeigt leichte Chlorose. p_{H} -Endwert 7,3.

II. Destilliertes Wasser + 1 g Kalk.

a) 200 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Nach 4 Tagen etwas leichtere Schäden als bei I a. Nach 9 Tagen sehr starke Wurzelschäden, alle Spitzen sind verglast und abgestorben. Beginnende leichte Chlorose. p_{H} -Endwert 7,3.

b) 300 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Die Wurzelschäden stellen sich etwas schneller ein als bei II a. Nach 9 Tagen sind ganze Teile der Wurzeln verglast und abgestorben, Chlorose noch nicht zu beobachten. p_{H} -Endwert 7,3.

c) 400 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Dasselbe Bild wie bei b, am Ende leichte Chlorose. p_{H} -Endwert 7,2.

d) 400 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Die Kultur wurde aber nicht durchlüftet. Nach 4 Tagen zeigen nur wenige Spitzen Schäden, die meisten sind noch intakt. Nach 9 Tagen sind alle Hauptwurzelspitzen und einige Nebenwurzelspitzen verglast. Aber die Schädigung hat sich nicht über die Spitzzone hinaus ausgebreitet. Ein großer Teil der Nebenwurzelspitzen ist noch normal und schneeweiß. p_{H} -Endwert 6,5. Beginnende Chlorose.

Es läßt sich aus diesen Versuchen ersehen, daß man durch Verschiebung des Wasserstoffexponenten auf 7,7 die Zeit, in der sich die ersten deutlichen Wurzelschäden zeigen, erheblich verkürzen kann, und daß die Geschwindigkeit, mit der die Wurzelschäden weitergreifen, mit steigender Alkalität zunimmt. Die Wurzelschäden treten früher in Erscheinung als

die Chlorose. Die Wurzelschädigung kann nicht durch die alkalische Reaktion bedingt sein, da ich 1927 schon zeigen konnte, daß man noch bei p_H 8,2 normale, weiße Wurzeln ziehen kann. Die Hauptwurzeln waren damals bei Mais in Abwesenheit von einer N-Quelle bis 75 cm lang geworden.

T. Da wir früher schon gesehen haben, daß günstige Ernährungsbedingungen die Empfindlichkeit der Wurzeln gegen NH_4 -Salze herabsetzen, so muß natürlich bei chlorotischen Pflanzen die Wahrscheinlichkeit einer starken Wurzelschädigung besonders groß sein. Es ist daher mit der Möglichkeit zu rechnen, daß auch in saueren Lösungen die Wurzeln durch NH_4 -Salze geschädigt werden, wenn die Blätter chlorotisch sind. Die Versuche zur Prüfung dieser Frage wurden im Herbst angestellt. Sie dauerten vom 10. X. bis zum 15. XI. 1927. Als Versuchspflanze diente gelber Zuckermais.

a_1 u. a_2 . Leitungswasser + 1 g $CaCO_3$, kein NH_4NO_3 , p_H -Endwert 7,2. Die Wurzeln sind schneeweiß und bis 50 cm lang.

b_1 u. b_2 Leitungswasser, kein NH_4NO_3 , p_H -Endwert 7,3. Die Wurzeln sind schneeweiß und bis 55 cm lang.

c_1 u. c_2 . Leitungswasser + 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ + 0,5 g $Fe_3(PO_4)_2$. p_H -Endwert 7,3. Sproß normal grün, die Wurzeln schneeweiß und bis 55 cm lang. Frischgewicht: Sproß 5,5 und 5,0 g, Wurzel 3,7 und 2,7 g.

d_1 u. d_2 . Leitungswasser + 0,5 g NH_4NO_3 + 1 g $CaCO_3$. p_H -Endwert 7,0 bis 7,1. Vom dritten Blatt an starke Chlorose. Am Ende des Versuches waren von 8 Pflanzen 6 abgestorben. 2 leben noch, aber 75% der gesamten Wurzelmasse ist abgestorben. Im Liter Lösung sind noch 15 bzw. 12 mg NH_3 vorhanden.

e_1 u. e_2 . Leitungswasser + 0,5 g NH_4NO_3 . Der p_H -Wert sinkt langsam bis auf 5,5 bzw. 5,6. Anfangs vom dritten Blatte an starke Chlorose. 2 Pflanzen sterben ab. Die jüngeren Wurzelteile der übrigen 6 Pflanzen sind verglast und abgestorben. Mit fallendem p_H -Wert setzt bei den überlebenden Pflanzen vom fünften Blatt ab ein Wiederergrünen ein, gleichzeitig geht dem ein Austreiben von neuen schneeweißen Wurzeln parallel. In der Lösung befinden sich im Liter 30 mg NH_3 (2 tote Pflanzen) bzw. 15 mg NH_3 (alle Pflanzen noch am Leben).

f_1 u. f_2 . Leitungswasser + 0,5 g NH_4NO_3 + 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ + 0,5 g $Fe_3(PO_4)_2$. p_H -Endwert 5,8. Anfangs starke Chlorose, die aber langsam zurückgeht. Am Ende des Versuches sind die Pflanzen normal grün. Die Hauptwurzelspitzen sind abgestorben, und die übrigen Wurzelteile zeigen eine gelb-braune Färbung. Mit fallendem p_H -Wert treiben zahlreiche neue weiße Wurzeln aus. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 15 bzw. 35 mg. Frischgewicht: Sproß 10,5 bzw. 12,0 g, Wurzel 2,75 g.

g_1 u. g_2 . Leitungswasser + 1 g NH_4NO_3 + 1 g $CaCO_3$. p_H -Endwert 7,0. Alle Pflanzen abgestorben. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 80 bzw. 95 mg.

h_1 u. h_2 . Leitungswasser + 1 g NH_4NO_3 . p_H -Endwert 5,6 bzw. 5,7. Überall schon nach wenigen Tagen starke Chlorose. 1 Pflanze stirbt ab. Die anderen 7 Exemplare haben am Ende des Versuches noch recht starke Chlorose, und 60 bis 80% der Wurzelmasse sind abgestorben. Bei 4 Exemplaren haben sich später an den älteren Wurzelteilen neue Nebenwurzeln gebildet. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 75 bzw. 80 mg.

i_1 u. i_2 . Leitungswasser + 1 g NH_3NO_3 + 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ + 0,5 g $Fe_3(PO_4)_2$. p_H -Endwert 5,8. Anfangs tritt auch hier sehr starke Chlorose auf, die aber am Ende des Versuches verschwunden ist. Die verglasten und abgestorbenen Wurzel-

teile sind größer als bei c_1 und c_2 . Mit sinkendem p_H -Wert kommt die Wurzelschädigung zum Stillstand und zahlreiche neue Wurzeln treiben aus. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 105 bzw. 100 mg. Frischgewicht: Sproß 8,1 und 12,3 g, Wurzel 2,6 und 3,2 g.

k_1 u. k_2 . Leitungswasser ohne NH_4NO_3 auf p_H 5,8 durch H_2SO_4 gebracht. p_H -Endwert 6,3. Wurzeln schneeweiß, bis 50 cm lang. Sproß ohne die geringsten Schäden. Frischgewicht: Sproß 4,3, Wurzel 3,3.

l_1 u. l_2 . Leitungswasser ohne NH_4NO_3 , aber mit 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ und 0,5 $Fe_3(PO_4)_2$, durch H_2SO_4 auf p_H 5,8 gebracht. p_H -Endwert 6,3 bzw. 6,4. Sproß normal grün. Die Wurzeln schneeweiß und bis 50 cm lang. Frischgewicht: Sproß 4,6 und 4,5, Wurzel 3,1 und 2,9.

m_1 u. m_2 . Leitungswasser + 500 mg NH_4NO_3 durch H_2SO_4 auf p_H 5,8 gebracht. p_H -Endwert 5,0. Anfangs mittelstarke Chlorose, die später etwas zurückgeht, — im Leitungswasser befindet sich Eisenkarbonat, dessen Löslichkeit durch den Aziditätsanstieg gefördert worden ist. Es treten Wurzelschäden auf und ein Teil der Hauptwurzelspitzen verglast und geht zugrunde, doch dürften am Ende des Versuches etwa 85% der gesamten Wurzelmasse noch intakt sein; außerdem sind sehr viele neue, auffallend schlanke Nebenwurzeln im Laufe der Versuchszeit angelegt worden. Am Ende des Versuches ist die Länge der Hauptwurzeln viel geringer als bei k_1 und k_2 . Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei den Nebenwurzeln. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 50 und 60 mg. Frischgewicht: Sproß 5,0 und 4,0, Wurzel 3,0 und 2,5.

n_1 u. n_2 . Leitungswasser + 500 mg NH_4NO_3 + 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ + 0,5 g $Fe_3(PO_4)_2$. Der p_H -Wert wurde durch H_2SO_4 auf 5,8 eingestellt. Er fiel langsam bis auf 5,0. Normal grüne Blätter. Sproß erheblich kräftiger und größer als bei m_1 und m_2 . Die Wurzeln waren schneeweiß und auffallend schlank, sehr viele lange Nebenwurzeln, die niemals Verkrümmungen wie in den N-freien Kulturen zeigen. NH_3 -Gehalt im Liter Lösung 50 bzw. 55 mg. Frischgewicht: Sproß 13,2 und 8,0 g, Wurzel 3,2 und 3,0 g.

o_1 u. o_2 . Leitungswasser + 1000 mg NH_4NO_3 . Der p_H -Wert durch H_2SO_4 auf 5,8 eingestellt. p_H -Endwert 5,5. Sehr starke Chlorose, die auch während der ganzen Versuchsdauer nicht verschwindet. Sehr kümmerliches Sproß- und Wurzelwachstum. 2 Pflanzen gehen zugrunde. Bei den übrigen große Wurzelteile abgestorben. Besonders bemerkenswert dürfte aber noch die Beobachtung sein, daß das Verglasen der Wurzeln besonders stark an den über dem Nährmedium befindlichen Wurzelteilen auftritt und nicht an den jüngeren ins Wasser tauchenden Teilen. Letztere weisen sehr viel geringere Schäden auf. NH_3 -Gehalt am Ende des Versuches im Liter Lösung etwa 100 bzw. 105 mg.

p_1 u. p_2 . Leitungswasser + 1000 mg NH_4NO_3 + 0,5 g $Ca_3(PO_4)_2$ + 0,5 g $Fe_3(PO_4)_2$. Der p_H -Wert wurde durch H_2SO_4 auf 5,8 eingestellt. Während des Versuches fiel er auf 5,3 bzw. 5,5. Bei p_1 war die Sproß- und Wurzelentwicklung ebensogut wie bei n_1 . Bei p_2 war die Sproßentwicklung geringer, aber auch hier waren normal grüne Blätter und zahlreiche sehr schlanke weiße Wurzeln vorhanden. Schädigungen ließen sich nicht feststellen. NH_3 -Gehalt am Ende des Versuches etwa 105 bzw. 110 mg in der Lösung. Frischgewicht: Sproß 12,0 und 7,0 g, Wurzel 3,75 und 2,5 g.

Es läßt sich aus dieser Versuchsreihe schließen, daß Chlorose die Wurzelschädigungen durch NH_4 -Salze stark fördert, so daß sogar in saueren Lösungen diese bei NH_4 -Salzkonzentrationen in Erscheinung treten, die von normal grünen Pflanzen noch ohne die geringste Wurzelschädigung vertragen werden. Wichtig für die Widerstandskraft der

Wurzeln in sauren Lösungen ist nur das Vorhandensein von grünen Blättern; denn wenn auch in unvollständigen Nährlösungen Sproß- und Wurzelwachstum stärkste Hemmung erfahren, so wird, wenn die Assimilation nicht gehemmt ist, auch in Gegenwart etwas größerer NH_4NO_3 -Mengen keine Schädigung der Wurzeln erfolgen. Ferner ist noch bemerkenswert, daß am Neutralpunkte der NH_3 -Verbrauch erheblich größer gewesen ist, trotz schlechteren Wachstums, als etwa bei p_H 5,0—5,8.

U. Zum Schluß sollen noch kurz einige Versuche mitgeteilt werden, die mit Stecklingen von *Tradescantia fluminensis* angestellt wurden. Zu den Versuchen wurden 15—20 cm lange Stecklinge benutzt, bei denen

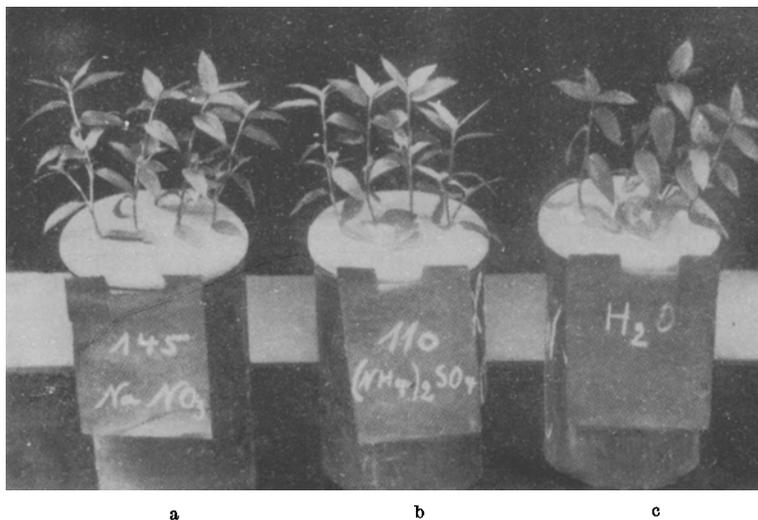


Abb. 23. *Tradescantia fluminensis*. — Stecklinge in Leitungswasser, dem teilweise NaNO_3 bzw. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zugesetzt ist.

alle Blätter außer den vier jüngsten entfernt worden waren. Da anlässlich anderer Versuche die Beobachtung gemacht wurde, daß Stecklinge von Schattenexemplaren sich etwas anders verhielten als solche, die von im vollen Licht gewachsenen Pflanzen stammten, so wurden auch zu diesen Versuchen teils „Schattenpflanzen“, teils „Lichtpflanzen“ benutzt. Zu diesen Versuchen erwies sich *Tradescantia* nicht als besonders geeignet, da diese Pflanzen langsam im Leitungswasser, dem nicht alle Nährsalze zugesetzt worden waren, ihr Wurzelwachstum einstellten. Nach 3 bis 4 Wochen wurden die Wurzelspitzen braun und später auch ältere Wurzelteile. Ich glaube, daß dieses eine Folge des großen Gehaltes des Wassers an Calcium ist; denn ich konnte bei anderen Versuchen beobachten, daß die Wurzeln von *Tradescantia* in reinstem destilliertem Wasser — dreimal destilliert, davon zweimal im Bergkristallapparat —, dem 35 mg Ca

pro Liter zugesetzt worden waren, erheblich in ihrem Wachstum gehemmt wurden und auch später Wurzelschäden zeigten. In einer vollständigen Nährlösung wird diese schädliche Wirkung ganz aufgehoben. Ferner trat bei allen $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Kulturen in der fünften Woche Nitrifikation ein. Trotzdem sollen hier einige Ergebnisse kurz mitgeteilt werden. Die Versuche dauerten vom 15. XII. 1927 bis 27. II. 1928.

Im Leitungswasser, auch wenn Kalk noch besonders zugesetzt worden war, wurden zunächst zahlreiche weiße Wurzeln ausgebildet. Die Lichtpflanzen zeigten stärkere Bewurzelung und schnelleres Wurzelwachstum als die Schattenpflanzen. Das Sproßwachstum war überall

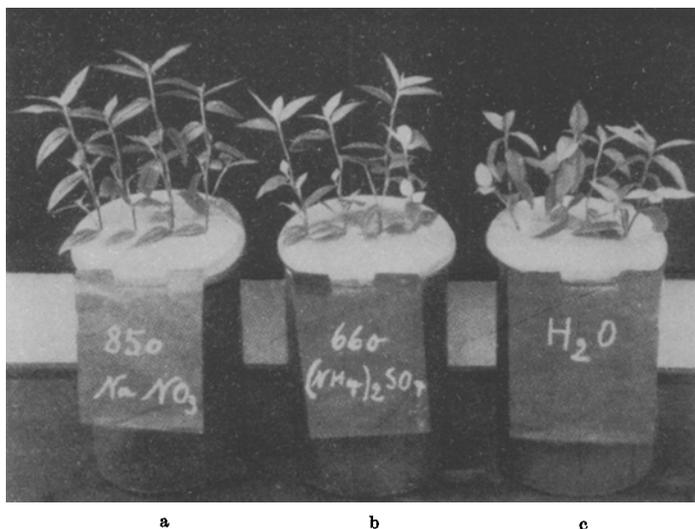


Abb. 24. *Tradescantia fluminensis*. — Stecklinge in Leitungswasser, dem teilweise NaNO_3 bzw. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ zugesetzt ist.

gut. Zu einer Chlorose kam es nicht. Allerdings erfolgte auch hier ein Aufhellen der älteren Blätter. Die jungen Blätter deckten ihren Eisenbedarf auf Kosten der älteren. An den Blättern fand eine starke Ausscheidung von Ca-Salzen statt; durch Zusatz von Kalk wurden diese noch weiter gefördert (Abb. 23 c und 24 c). Ganz ähnlich verhielten sich die Pflanzen, wenn dem Leitungswasser 145 mg NaNO_3 zugesetzt wurden (Abb. 23 a). Allerdings kam es bei allen Pflanzen zu einer leichten bis mittelstarken Chlorose. Auch hier erfolgte an den Blättern eine deutliche Salzabscheidung. Wurden 110 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ als N-Quelle gegeben, so trat sehr schnell Chlorose ein, die nach 3 Wochen so stark wurde, daß sich in den jüngsten Blättern auch nicht die geringste Spur von Grün nachweisen ließ (Abb. 23 b). Solange noch NH_4 -Salze in der Lösung vorhanden waren; fand keine nennenswerte Absonderung von Calcium-

salzen an den Blättern statt. Erst mit Schwund des Ammoniaks setzte auch Salzabscheidung ein. Vier weitere Kulturen erhielten 850 mg NaNO_3 . Durch die verstärkte Nitratgabe wurde die Chlorose gefördert (Abb. 24a), besonders bei den Schattenpflanzen. Sie erreichte aber bei weitem nicht die Stärke, wie sie bei den Pflanzen, die sich in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösungen befanden, sich einstellte. Die Salzausscheidung war überall erheblich, aber doch nicht so stark wie bei den N-freien Kulturen. Den letzten vier Kulturen wurde je 660 mg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gegeben. Die Wurzeln wurden ursprünglich in gleicher Anzahl angelegt wie in Leitungswasser, aber sie erreichten nur eine Länge von höchstens 2 cm. Dann traten auf den Wurzeln braune Flecken und Ringe auf und die Spitzen gingen zugrunde. Die Sprosse zeigten zunächst keine Schäden. Es stellte sich aber an den Sproßspitzen eine außerordentlich starke Chlorose ein (Abb. 24b). Durch CaCO_3 -Zusatz wurde diese Chlorose noch verstärkt, so daß die gelbe Farbe sogar in gelb-weiß überging. Nach $4\frac{1}{2}$ Wochen stellte sich eine starke Nitritvergiftung ein. Die noch lebenden Wurzelteile schwärzten sich und gingen zugrunde. Ende März konnte man sogar beobachten, daß Teile der in die Lösung eintauchenden Stengelstücke schwarz wurden und zugrunde gingen. An den Blättern wurden keine Salzabscheidungen, auch nicht in Gegenwart von Kalk, beobachtet.

Kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Die Wirkung der Ammoniumsalze starker Säuren ist von der Wasserstoffionenkonzentration der Nährlösung abhängig. Bei neutraler bis alkalischer Reaktion rufen die NH_4 -Salze eine ausgesprochene Giftwirkung hervor. Sie sind daher den Nitraten bei diesen p_{H} -Werten in ihrer Wirksamkeit stark unterlegen. Die Schäden sind von durch Säuren bedingten Giftwirkungen leicht zu unterscheiden. Sie machen sich in erster Linie an den Wurzeln bemerkbar. Das Wachstum wird gehemmt, die Haupt- und Nebenwurzeln nehmen an Dicke zu. Je nach dem Grad der Schädigung tritt ein Verglasen kleiner oder größerer Wurzelteile ein. In den schwersten Fällen sterben die jungen Pflanzen ab. Der schädliche Einfluß nimmt zu mit steigender NH_4 -Salzkonzentration und mit fallender Wasserstoffionenkonzentration. Ungünstige Außenfaktoren, wie Lichtmangel, Eisenmangel usw., bewirken eine erhebliche Steigerung der Giftwirkung der NH_4 -Salze. Mit fallendem p_{H} -Wert nimmt dann die Giftwirkung immer mehr ab, und im p_{H} -Intervall 5,3—5,6 sind die Ammoniumsalze in ihrer Wirksamkeit den Alkalinitraten gleich, und erhebliche Konzentrationen von ersteren werden ohne die geringste Schädigung von den Pflanzen vertragen.

Alle Schädigungen, die in Gegenwart von NH_4 -Salzen auftreten, vorausgesetzt, daß der p_{H} -Wert der Außenlösung nicht unter 3,6 sinkt, müssen nicht der physiologischen Azidität dieser Salze zugeschrieben

werden, sondern auf ihren basischen Anteil zurückgeführt werden. In stark sauren Medien wird höchstwahrscheinlich die schädliche Wirkung der großen H-Ionenkonzentrationen durch die Gegenwart von Ammoniumsalzen noch verstärkt.

2. Ammoniumnitrat erweist sich beim Mais unter ungünstigen Wachstumsbedingungen immer als physiologisch sauer. Dasselbe ist der Fall bei Benutzung von ganz jugendlichen Versuchspflanzen, oder wenn der ursprüngliche p_H -Wert der Versuchslösungen vom p_H -Optimum etwas weiter entfernt gewesen ist. Bei kräftig wachsenden Pflanzen findet, wenn der p_H -Wert der Versuchslösung dem p_H -Optimum entspricht, anfangs keine Reaktionsverschiebung statt, später immer ein *Alkalitätsanstieg*.

3. Die Beobachtung, daß Nitrite in sauren Lösungen giftiger sind als in neutralen oder alkalischen, konnte bestätigt werden. Bei den Nitriten liegen die umgekehrten Verhältnisse vor wie bei den NH_4 -Salzen, steigende Azidität ist mit steigender Giftwirkung verbunden. Die Schäden treten auch nur an den Wurzeln auf. Sie lassen sich aber sehr leicht von den Ammoniumsalzschäden unterscheiden. Verdickung der Wurzelspitzen wurde nicht beobachtet. Die Wurzeln werden, an den Spitzen beginnend, schwarz und sterben schnell ab.

Allgemeine Schlußbetrachtungen.

Aus allen meinen Versuchen geht einwandfrei hervor, daß bei bestimmten p_H -Werten oder bei besonders ungünstigen Assimilationsbedingungen die Ammoniumsalze starker Säuren einen schädlichen Einfluß auf die Pflanzen ausüben. Wider alles Erwarten liegt dieser p_H -Bezirk aber nicht auf der stark sauren Seite, sondern bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion. In diesem p_H -Intervall sind die Ammoniumsalze als Stickstoffquelle den Alkalinitraten sehr stark unterlegen. Die Beobachtung, daß die Ammoniumsalze bei Unterdrückung der Nitrifikation den Nitraten bei schwach alkalischer Reaktion nicht gleichwertig sind, steht mit den älteren Angaben von PITSCH, GIUSTIANINI u. a. in guter Übereinstimmung.

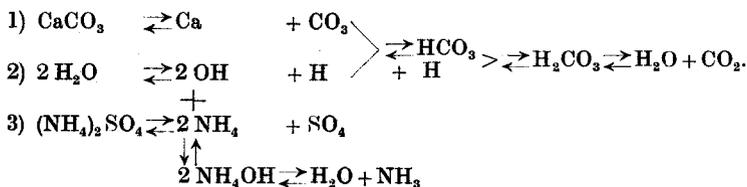
Hier dürften auch folgende Angaben von RAUTENBERG und KÜHN (1864) von Interesse sein. Maiswurzeln wurden in Gegenwart von Ammoniumnitrat bei neutraler Reaktion gebräunt und starben ab. Blieb die Lösung sauer, so blieben alle Wurzeln weiß und gesund. STOHMANN (1862) gibt an, daß man in Gegenwart von NH_4NO_3 immer dafür zu sorgen hat, daß, damit die Wurzeln nicht zugrunde gehen, die Lösung deutlich sauer reagiert. Andererseits gibt es doch eine Reihe von Beobachtungen, die meinen Angaben vollständig zuwider laufen. Es wird allerdings, besonders bei den älteren Arbeiten, nicht leicht sein, noch heute zu prüfen, worauf dieses zurückzuführen sein dürfte; denn genaue

p_H -Bestimmungen waren zu der Zeit, als sie ausgeführt worden sind, noch nicht möglich, und aus den Angaben, es seien den Kulturen basische Stoffe zugesetzt worden, um die entstehenden Säuren zu neutralisieren, kann man keine Schlüsse ziehen. Wie ich nämlich gezeigt habe, kann trotz Kalk als Bodenkörper in der Nähe der Wurzeln eine ausgesprochen saure Reaktion herrschen. Weiterhin ist auch bei den meisten vergleichenden Versuchen nicht darauf geachtet worden, daß Vergleiche nur möglich sind, wenn die Alkalinitate bei derselben Reaktion zur Anwendung kommen wie die Ammoniumsalze, und daß während des Versuches für eine möglichst konstante Reaktion gesorgt werden muß. Bei den Versuchen, wo man mit Mais gearbeitet hat, wurde das Frischgewicht bzw. das Trockengewicht der Nitratkulturen mit denen der NH_4 -Kulturen direkt verglichen, ohne darauf zu achten, daß sich häufig die Reaktion im ersten Falle wegen der physiologischen Alkalität der Nitrate immer mehr vom p_H -Optimum entfernt hat, während bei den Ammoniumkulturen das Umgekehrte der Fall war. In diesen Fällen muß natürlich die Nitratkultur schlechtere Ernten liefern als die NH_4 -Kultur. Aber der Unterschied ist hier nicht durch die Verschiedenartigkeit der Stickstoffquellen direkt bedingt, sondern ist allein die Folge der verschiedenen großen Wasserstoffionenkonzentration. Ferner werden sich in einigen Fällen die Versuche über eine zu kurze Zeitspanne erstreckt haben, so daß deutliche Unterschiede zwischen den Nitrat- und Ammoniumkulturen noch nicht in Erscheinung treten konnten. Besonders störend wird dieses sein, wenn die Samen große Mengen von Reservestoffen mitbekommen haben, vor allen Dingen, wie wir später noch sehen werden, Kohlenhydrate und Fette. Wieder in anderen Fällen wird relativ zu wenig Versuchslösung benutzt worden sein, so daß durch die Atmung der Wurzeln in deren Nähe eine ausgesprochen saure Reaktion geherrscht hat.

Mit steigender Azidität schwindet die Überlegenheit der Nitrat- über die NH_4 -Kulturen immer mehr, und bei bestimmten p_H -Werten sind die letzteren den ersteren vollständig gleichwertig. Wir dürfen also nicht in der physiologischen Azidität schlechthin den Grund für die häufig beobachtete ungünstigere Wirkung der Ammoniumsalze erblicken wollen. Wird allerdings bei Benutzung einer nur schwach oder gar nicht gepufferten Nährlösung nicht verhindert, daß in Gegenwart dieser Salze durch die wachsenden Pflanzen der p_H -Wert stark gesenkt wird — p_H 4,0 oder sogar p_H 3,0 —, dann müssen sich natürlich mehr oder weniger starke Säureschäden einstellen. Ja es sprechen sogar einige von meinen Beobachtungen dafür, daß Säureschäden durch Ammoniumsalze noch verstärkt werden können. So ungünstig liegen aber im allgemeinen im Erdboden die Verhältnisse nicht. Die Pufferung wird fast immer so groß sein, daß derartig tiefe p_H -Werte sich während der Dauer des Versuches

gar nicht einstellen, und daß direkte Säureschäden, die also auf einer unmittelbaren ungünstigen Einwirkung der H-Ionen auf die Pflanzen selbst beruhen, nicht auftreten. Daß natürlich andererseits schon durch einen schwächeren Aziditätsanstieg die Beschaffenheit des Bodens in einem für die Pflanzen ungünstigen Sinne beeinflußt werden kann, soll natürlich nicht von der Hand gewiesen werden. Z. B. Begünstigung der Basenverarmung des Bodens, starke Förderung der Löslichkeit von schädlichen Aluminium-, Mangan- und Eisensalzen, ungünstige Veränderung der Bodenstruktur usw. Weiterhin kann auch schon ein leichterer Aziditätsanstieg, besonders im sauren Boden, eine mehr oder weniger starke Überschreitung des p_H -Wachstumsoptimums darstellen. Eine Ernteverminderung wird natürlich immer die Folge sein. Besonders günstig hinsichtlich der N-Versorgung durch Ammoniumsalze müssen daher die säureliebenden Pflanzen dastehen, wenn sie sich auf sauren Böden befinden. Die Ammoniumsalze können wegen der sauren Reaktion keine direkte schädliche Wirkung hervorrufen, sondern sie werden sehr gute N-Quellen darstellen. Weiterhin kann ihnen, falls der Boden nicht allzu schwach gepuffert ist, ein leichter Aziditätsanstieg auch nicht schädlich sein. Eine Bestätigung dieser Überlegungen finden wir schon in der Arbeit von NAGAOKA (1904/1905). Beim Sumpfreis, der Binse und dem Pfeilkraut, drei säureliebenden Pflanzen, erwies sich Ammoniumsulfat in sauren Böden als ganz ausgezeichnete Stickstoffquelle und war dem Natriumnitrat sogar erheblich überlegen. Hier müssen wir allerdings in Anlehnung an ähnliche Versuche von OLSEN (1923) an *Aira flexuosa* annehmen, daß die wenig günstige Wirkung von NaNO_3 keine unmittelbare war, sondern, worauf NAGAOKA schon selbst aufmerksam gemacht hat, auf durch Denitrifikation gebildete Nitrite zurückgeführt werden muß.

Noch weniger stichhaltig scheint mir die Annahme zu sein, daß die auf kalkhaltigen Böden sehr oft beobachtete ungünstige Wirkung von Ammoniumsalzen auf die alkalische Reaktion der durch Umsetzung entstehenden Ammoniumkarbonate zurückzuführen ist. Zunächst wäre einmal die Frage zu prüfen, ob die durch die hydrolytische Spaltung des Kalkes im Boden bewirkte alkalische Reaktion durch Zusatz von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ z. B. noch eine Steigerung erfährt. In den meisten Fällen dürfte dieses nicht der Fall sein; denn es werden folgende Umsetzungen stattfinden:



Die Reaktion zwischen 1 und 2 wird schon in Abwesenheit von Ammoniumsulfat stattfinden. Sie führt zu einer Vermehrung der OH-Ionen in der Lösung. Kommt noch Reaktion 3 hinzu, so findet durch Bildung von NH_3 eine Verminderung der OH-Ionenkonzentration statt. Es wird also ein Aziditätsanstieg die Folge sein. Ob aber auch die im Vergleich zum Kalk größere Löslichkeit des sich bildenden CaSO_4 zu einer Verschiebung des p_H -Wertes nach der alkalischen Seite in schwachen Grenzen beitragen wird, das wird nicht einfach von der Hand zu weisen sein. Doch kann darüber allein das Experiment entscheiden. In meinen kalkführenden Wasserkulturen fand durch (NH_4) -Salzzusatz keine Verschiebung nach der alkalischen Seite statt. Wir dürfen daher auch wohl annehmen, daß kein Alkalitätsanstieg in Kalkböden durch Zusatz von Ammoniumsulfat erfolgt. Wenn also trotzdem Nitrate in Kalkböden den Ammoniumsalzen überlegen sind, dann kann der weniger günstige Einfluß der NH_4 -Salze nicht der ungünstigen direkten Wirkung der OH-Ionen zugeschrieben werden. Wie nun aber meine Versuche mit Mais und *Tradescantia fluminensis* gezeigt haben, werden in Abwesenheit von NH_4 -Salzen erheblich größere OH-Ionenkonzentrationen vertragen als in ihrer Gegenwart. Ich bin der Ansicht, daß auch Loo, wenn er bei alkalischer Reaktion Versuche mit NaNO_3 einerseits und NH_4HCO_3 andererseits angestellt hätte, gefunden hätte, daß das Ammoniumsalz dem Nitrat unterlegen war. Auch in diesem Falle würde sich dann gezeigt haben, daß der ungünstige Einfluß des Ammoniumbikarbonates nicht auf einer unmittelbaren Wirkung der OH-Ionen beruht hat, sondern auch hier dem ammoniakalischen Bestandteil zugeschrieben werden mußte.

Wie erklärt sich nun aber das merkwürdige Verhalten der Ammoniumsalze? Aus sehr zahlreichen Untersuchungen an tierischen und pflanzlichen Objekten wissen wir heute, daß das Ammoniak eine außerordentlich starke Giftwirkung auf die Zelle ausübt. Es sei nur an die Untersuchungen von BOKORNY (1887, 1888, 1896, 1912, 1915) erinnert, der vergleichende Untersuchungen mit einer großen Reihe von basischen Stoffen angestellt hat. „Unter allen Basen, die bis jetzt geprüft wurden, wirkt das Ammoniak bei den größten Verdünnungen auf Pflanzen ein. Auch niedere Tiere werden vom Ammoniak noch bei größter Verdünnung beeinflusst. Das Plasmaeiweiß (aktives Albumin) besitzt also eine besonders große Reaktionsfähigkeit gegen Ammoniak.“ Schon DE VRIES (1871) hatte mit Hilfe von Zellen der roten Rübe das außerordentlich schnelle Eindringen von NH_3 in den Zellsaftraum nachgewiesen. Ferner konnte er aber auch schon zeigen, daß sich das eingedrungene Ammoniak wieder auswaschen läßt. Eingehender beschäftigte sich 3 Jahre später A. MAYER mit diesem Problem. Er benutzte die Plasmaströmung von *Nitella*, *Vallisneria* und *Tradescantia*-Staubfädenhaarzellen als Indikator. Sobald geringe Mengen von NH_3 eingedrungen waren, kam die Strömung

zum Stillstand und das Anthocyan in den *Tradescantia*-Zellen schlug von blau nach grün um. Wirkte das Ammoniak nicht zu lange ein, so konnte man durch Auswaschen die Strömung wieder auslösen, die ursprüngliche Farbe kehrte wieder zurück, und die Zellen zeigten keine nachweisbare Schädigung. Längeres Einwirken schwacher NH_3 -Konzentrationen oder stärkerer NH_3 -Konzentrationen töteten die Zellen ab. MAYER gibt auch eine Erklärung für die Giftwirkung. „Der Zellsaft der Pflanzen reagiert niemals stark alkalisch, sondern stets sauer, neutral oder sehr schwach alkalisch. Zahlreiche Beobachtungen liegen vor, welche darauf hinweisen, daß eine stärkere Alkalisierung des Zellsaftes die Zelle tötet. So sehr nun dieser Satz an sich der Erklärung harret, so liegt doch nichts näher, daß das Ammoniak und das diesem in seinen kaustischen Eigenschaften so nahestehende kohlen saure Ammoniak eben durch ihre alkalische Beschaffenheit wirken . . .“ „Doch läge die Sache nicht so einfach, daß z. B. die sauersten Pflanzenteile die für Ammoniakwirkungen unempfindlichsten wären, und in der Tat ergibt sich auch von vornherein, daß die Durchgängigkeit der Zellmembranen und der Protoplasten für Ammoniak, die Regenerationsfähigkeit von Säuren durch stark atmende jugendliche Pflanzenteile, ferner die spezifische maximale Alkaleszenz eines Zellinhaltes, welche natürlich im allgemeinen verschieden groß angenommen werden muß, eine Rolle dabei spielen wird.“ „Das alkalische Ammoniak ist kein absolutes Pflanzengift, sondern je nachdem ein wichtiger Nährstoff oder eine tödlich wirkende Substanz.“ OVERTON (1897) stellte als erster einwandfrei fest, daß sich beim Eindringen in die Zelle die starken Basen (KOH bzw. NaOH) ganz anders verhalten als das sehr viel schwächere Ammoniak. Erstere dringen in stark verdünnten Lösungen, solange die Protoplasten nicht deutlich geschädigt sind, überhaupt nicht durch das Protoplasma. Erst wenn die Zellen abzusterben beginnen — „die Schädigung muß dem Hydroxylion zur Last gelegt werden“ — läßt sich das Eindringen von OH-Ionen nachweisen. Ein Auswaschen war nicht möglich. Alle diese Beobachtungen wurden später von CZAPEK (1910), WARBURG (1911) und besonders HARVEY (1911) bestätigt. Letzterer, der auch das Eindringen der verschiedenen basischen Substanzen in mit Neutralrot gefärbte *Elodea*-Zellen prüfte, fand folgende Werte. Es kamen die Stoffe in $\frac{1}{40}$ n. Konzentration zur Anwendung. Es wurde die Zeit bestimmt, die nötig war, damit der Indikator von rot nach gelb umschlug.

| Substanz | Zeit in Minuten | |
|--------------------------|-----------------|---|
| NaOH | 25 | Beim Ammoniak ließ sich durch Zurückbringen in Wasser der Farbumschlag rückgängig machen. Bei den starken Basen war das nicht der Fall. |
| KOH | 22 | |
| $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 23 | |
| $\text{Sr}(\text{OH})_2$ | 15 | |
| $\text{Ba}(\text{OH})_2$ | 15 | |
| NH_4OH | 0,5 | |

Auch eine zweite Reihe zeigt die Sonderstellung des Ammoniaks sehr gut. Es bewirkten Farbumschlag:

| Konzentration | NaOH | NH ₄ OH |
|---------------|--------------|--------------------|
| n/10 | 0,5 Minuten | sofort |
| n/360 | > 18 Stunden | 6 Minuten. |

HARVEY teilte auf Grund seiner Beobachtungen die Basen in zwei Gruppen ein:

1. die starken Basen. Sie dringen sehr langsam ein und nur nach Zerstörung der Oberfläche;
2. die schwachen Basen. Sie dringen sehr schnell und unabhängig von Oberflächenveränderungen ein.

Es müssen also im ersten Falle die OH-Ionen zunächst eine Schädigung irreversibler Natur an den Plasmagrenzschichten hervorrufen, bevor sie überhaupt eindringen können. Damit stimmt auch die häufig gemachte Beobachtung überein, daß, falls die Reaktion des Nährmediums nicht zu stark sauer bzw. zu stark alkalisch, die Reaktion im Zellsaft konstant und von der Reaktion des Außenmediums, wenigstens solange keine nachweisbare Schädigung der Protoplasten vorliegt, unabhängig ist. Da nun aber schnelles Eindringungsvermögen und starke Giftwirkung beim Ammoniak parallel gehen, so müssen wir annehmen, daß ersteres der Grund ist, warum bei ganz schwachen Konzentrationen Ammoniak so sehr viel schädlicher ist, als starke Basen bei gleicher Konzentration. HARVEY (1923) und JACOBS (1923) haben zeigen können, daß Ammoniak ebenso schnell in die lebende Zelle eindringt, wie Sauerstoff und Kohlendioxyd, und daß sich weiterhin für das Eindringen dieser Stoffe kein Unterschied zwischen lebenden und toten Zellen feststellen läßt.

Warum dringt nun aber Ammoniak so sehr schnell in die Zellen ein? Bei dieser schwachen Base müssen, worauf OVERTON schon hingewiesen hat, ganz andere Verhältnisse vorliegen, wie etwa bei der Natronlauge. Es sind nicht die NH₄- und OH-Ionen, welche ins Zellinnere eindringen, sondern es ist das Molekül NH₃, welches eindringt und im Zellsaft die Reaktionsveränderung hervorruft. Diese Ansicht dürfte durch die Untersuchungen von TRÖNDLE (1920), HOAGLAND-DAVIS (1923), BROOKS (1923), IRWIN (1923), JACOBS (1923) und McCUTCHEON-LUCKE (1924) als bewiesen zu gelten haben.

Wir haben es aber bei unseren Versuchen nicht mit dem Ammoniak selbst, sondern mit den Ammoniumsalzen starker Säuren zu tun. Bekanntlich sind die Ammoniumsalze schwacher Säuren aber auch die stärkerer hydrolytisch gespalten. Es ist also ein Teil der NH₄-Ionen in Reaktion mit den OH-Ionen des Wassers getreten und hat das Molekül NH₄OH gebildet. Dieses zerfällt aber, wie wir heute annehmen, vollständig in NH₃ und H₂O. Es muß also in einer (NH₄)₂SO₄- oder NH₄Cl-Lösung

auch Ammoniak vorkommen. DIBBITS hat dieses schon 1874 auf einfache Weise zeigen können. Wenn nun aber die Zahl der OH-Ionen in der Lösung durch Bildung von NH_4OH verringert ist, so muß, damit das Dissoziationsprodukt des Wassers ($\text{H} \times \text{OH}$) gleich K_w bleibt, neues H_2O dissoziieren. Da aber jetzt die Menge der H-Ionen größer als die der OH-Ionen ist, so muß die Lösung, in der sich das NH_4 -Salz einer starken Säure befindet, nicht neutral, sondern sauer reagieren. Oder aber wenn eine NH_4Cl -Lösung sauer reagiert, so können wir daraus umgekehrt schließen, daß sich in dieser Lösung außer NH_4 -, Cl-, H- und OH-Ionen auch NH_3 -Moleküle befinden. Ich entnehme dem Werke von L. MICHAELIS, „Die Wasserstoffionenkonzentration“ folgende Werte, die uns den Säureanstieg in NH_4Cl -Lösungen steigender Konzentration angeben :

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|------|-----|-----|
| NH_4Cl -Konz. in Mol. | 0,001 | 0,01 | 0,1 | 1,0 |
| p_{H} -Wert etwa | 6,5 | 5,5 | 5,0 | 4,5 |

Es gehört also bei konstantem p_{H} -Wert zu jeder NH_4Cl -Konzentration eine bestimmte NH_3 -Tension, die um so größer ist, je größer die zugesetzte NH_4Cl -Menge. Es wird nun aber die Bildung von NH_4OH bzw. NH_3 in einer Lösung, außer von der NH_4Cl -Konzentration, auch von der in der Lösung vorhandenen OH-Ionenmenge abhängen, d. h. die NH_3 -Tension muß bei gleicher NH_4Cl -Konzentration aber bei verschiedener Reaktion mit steigendem p_{H} -Wert zunehmen. Auch sei noch darauf hingewiesen, daß eine Abhängigkeit der hydrolytischen Spaltung der Ammoniumsalze von der Temperatur besteht: je höher die Temperatur, um so stärker die NH_3 -Tension. Es soll aber bei meinen Erörterungen der Temperaturfaktor außer Betracht gelassen werden.

Wie wir gesehen haben, dringt das Ammoniak außerordentlich schnell in die lebende Zelle ein und ruft dort unter Umständen eine Reaktionsveränderung hervor. Wenn sich also in einer NH_4 -Salzlösung auch NH_3 -Moleküle befinden, so muß man, auch wenn diese Salzlösungen selbst sauer reagieren, das Eindringen des Ammoniaks in die pflanzlichen und tierischen Zellen durch einen Aziditätsabfall in dem Zellsaft nachweisen können.

Schon OVERTON (1897) hatte an Hand von Gerbstoff-Fällungen in den Zellen von *Spirogyra* zeigen können, daß sich auf rein biologischem Wege die Größe der hydrolytischen Spaltung der Ammoniumsalze ungefähr feststellen läßt. So fand er „durch Bestimmung der Verdünnungen der Lösungen des freien Ammoniaks einerseits, des Salmiaks andererseits, welche bei Zellen von demselben Gerbstoffgehalt eben noch hinreichen, um einen deutlichen Niederschlag zu erzeugen, daß, wenn (bei Zimmertemperatur) in 1 000 000 Gewichtsteilen Lösung 2000 Teile Ammoniumchlorid aufgelöst sind, etwa 1 Teil freies Ammoniak in der Lösung vorhanden ist.“ Wurde eine Spur Salzsäure hinzugesetzt, so ließ sich mit Hilfe der Gerbstoff-Fällung kein eingedrungenes Ammoniak mehr nach-

weisen. Es muß das auch unbedingt erwartet werden, da das Produkt $\text{NH}_4 \times \text{OH}$ jetzt sehr stark gefallen ist und damit ein erheblicher Abfall der NH_3 -Tension Hand in Hand geht. Andererseits konnte OVERTON zeigen, daß bei Zusatz geringer Spuren von Kalk die Menge des freien Ammoniaks stark vermehrt wurde. Es hat jetzt das Produkt $\text{NH}_4 \times \text{OH}$ eine Steigerung erfahren und eine Erhöhung der NH_3 -Tension ist die Folge gewesen. In den letzten Jahren ist man auch dazu übergegangen, an Hand der im Zellsaft eintretenden Aziditätsänderung das Eindringen des Ammoniaks (NH_3) und damit die hydrolytische Spaltung der Ammoniumsalze zu ermitteln. JACOBS (1923) arbeitete mit den roten Blütenblättern einer *Rhododendron*-Hybride, deren rote Farbe, falls Ammoniak in die Zellen eindrang, über violett nach blau umschlug. Wurde der Farbstoff ausgepreßt und mit Phosphatpufferlösungen von bestimmtem p_{H} -Wert versetzt, so ließ sich am Neutralpunkt ein leichter Umschlag von rot nach violett feststellen, bei p_{H} 8,0 war dieser Umschlag sehr viel stärker, aber die rein blaue Farbe noch nicht erreicht. Wurde der ausgepreßte Farbstoff mit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ versetzt, so fand kein Umschlag statt. In einer m/10 Lösung von $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, die durch eine Spur Ammoniak auf p_{H} 6,2 gebracht worden war, erfolgte, wenn lebende Teile der Blütenblätter hineingebracht wurden, in den Zellen ein sofortiger Umschlag nach rein blau. Wurde eine reine m/10 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - bzw. NH_4Cl -Lösung benutzt — der p_{H} -Wert ist leider nicht angegeben, er dürfte in Gegenwart von Ammoniumchlorid etwa p_{H} 5,0 betragen haben — so ließ sich auch jetzt ein Alkalitätsanstieg in den Zellen feststellen, allerdings erfolgt er weit langsamer. Dieses Ergebnis mußte auch erwartet werden, da mit fallendem p_{H} -Wert bei gleicher NH_4 -Salzkonzentration das Produkt $\text{NH}_4 \times \text{OH}$ kleiner wird und damit auch die NH_3 -Tension; denn bei p_{H} 5,0 beträgt die OH -Ionenkonzentration nur noch etwa $\frac{1}{16}$ der bei p_{H} 6,2. JACOBS erhielt mit tierischen Zellen, die mit Neutralrot vital gefärbt waren, dieselben Ergebnisse.

Zu besonders schönen Ergebnissen kam 1922/23 BROOKS, die mit den großen Zellen von *Valonia ventricosa* arbeitete. Wurde dem Meerwasser 0,03 mol. NH_4Cl zugesetzt, so stellte sich ein p_{H} -Wert von 7,6 ein. Wurden in diese Lösung *Valonia*-Zellen gebracht, so stieg in 1 Stunde der p_{H} -Wert des Zellsaftes von 6,6 bis 8,6. Eine 0,03 mol. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Lösung bewirkte in 30 Minuten denselben Aziditätsanstieg. IRWIN (1925) stellte mit Hilfe der großen einzelligen *Nitella*-Internodien fest, daß bei p_{H} 6,9 der Außenlösung eine 0,005 mol. NH_4Cl -Lösung schon nach 5 Minuten einen p_{H} -Anstieg, also Aziditätsabfall, im Zellsaft bewirkt. In einer halben Stunde war der p_{H} -Wert von 5,6 bis auf 5,94 gestiegen. Nach 6 Stunden gingen die Zellen zugrunde. HOAGLAND und DAVIS (1923) beobachteten bei anderen Nitellen in Gegenwart von 0,005 mol. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ bzw. NH_4Cl bzw. NH_4NO_3 innerhalb 24 Stunden eine Re-

aktionsverschiebung von p_H 5,2 bis auf p_H 6,2. Die Zellen wurden stark geschädigt, das ließ sich an dem Austritt von Chloriden feststellen. Der Eintritt der Schädigung war in weitem Maße von der Temperatur abhängig. Bei 10° erfolgt erst nach Tagen Cl-Austritt, bei 25° schon nach 12 Stunden. Einmal dürfte dieses auf die geförderte hydrolytische Spaltung der Ammoniumsalze zurückgeführt werden müssen. Vielleicht aber könnte auch durch die höhere Temperatur die Permeabilität für die Chloride erhöht worden sein.

Für die Aufnahme der NH_3 -Moleküle und gegen das Eindringen von NH_4 -Ionen spricht auch weiterhin die Beobachtung von HOAGLAND und DAVIS, daß Gegenwart oder Abwesenheit von Calciumsalzen keinen Einfluß auf das Eindringen von Ammoniak aus Ammoniumsalzlösungen ausübte.

Ferner wird sich auch der außerordentlich schnell erfolgende Aziditätsanstieg, der unter dem Einfluß der Versuchspflanzen in NH_4Cl - bzw. $(NH_4)_2SO_4$ -Lösungen erfolgt, sehr schwer mit einer Ionenaufnahme in Einklang bringen lassen; denn der Aziditätsanstieg gibt ein Maß von dem Ammoniakverbrauch. Wie schnell nun der p_H -Abfall erfolgt, darauf hat schon 1926 PRIANISCHNIKOW hingewiesen. In Gegenwart von Gerste und $(NH_4)_2SO_4$ als N-Quelle erfolgte innerhalb 24 Stunden ein p_H -Abfall von 6,2 auf 3,9. Andererseits sind in Gegenwart von physiologisch alkalischen Alkalinitraten sehr viel größere Zeiten erforderlich, damit derartig große Reaktionsveränderungen erfolgen. Hier dürfen wir mit großer Wahrscheinlichkeit einen Ionenaustausch zwischen den Nitraten und der Atmungskohlensäure annehmen; denn das Auftreten von Alkalikarbonaten bzw. Bikarbonaten in dem Nährmedium spricht dafür. Der p_H -Anstieg ist bedingt durch die Gegenwart der hydrolytisch gespaltenen Karbonate.

An dieser Stelle wäre auch noch kurz von dem Verhalten des Ammoniumnitrats zu sprechen. Besonders wichtig ist schon seit Jahren die Frage nach der physiologischen Reaktion des Ammoniumnitrats, da beide Bestandteile dieses Salzes als N-Quellen für die Pflanzen in Betracht kommen. Die physiologische Azidität von Ammoniumchlorid und Ammoniumsulfat soll, wie schon auseinandergesetzt worden ist, darauf zurückzuführen sein, daß die Pflanze für die Kationen einen sehr viel größeren Bedarf hat als für die Anionen, und daß sie deshalb das Anion sehr viel langsamer aufnimmt oder nach Spaltung der Ammoniumsalze in der Zelle wieder nach außen abgibt. Diese Gründe fallen beim Ammoniumnitrat fort. Von PRIANISCHNIKOW (1900, 1905) ist die Vermutung ausgesprochen worden, daß dieses Salz physiologisch amphoterer Natur sei. Sein Mitarbeiter SCHULOW (1913) zeigte sodann an sterilen Kulturen, daß beim Mais diese Ansicht zu Recht besteht, allerdings wurden damals die Reaktionsveränderungen noch nicht

einwandfrei quantitativ verfolgt. Beim Beginn des Versuches war das Ammoniumnitrat physiologisch sauer, also NH_4 wurde schneller aufgenommen als NO_3 , später, nachdem die Pflanzen kräftig gewachsen waren, überwog immer mehr die physiologische Alkalität. Merkwürdigerweise hat PRJANISCHNIKOW später (1925, 1927) seine Ansicht zum Teil geändert. „Wir sehen also, daß die physiologische Azidität von NH_4NO_3 mit voller Klarheit hervortritt. Die Anzeichen der Amphoterität treten in unseren Versuchen viel schwächer auf; es ist möglich, daß es bestimmte Bedingungen gibt, bei denen diese Amphoterität sich besser äußert, aber diese Bedingungen sind noch nicht ausfindig gemacht. Wir müssen im allgemeinen feststellen, daß die *physiologische Azidität in diesem Salz über seine Amphoterität dominiert*.“ 1927 weist PRJANISCHNIKOW darauf hin, daß aus Lösungen von Ammoniumnitrat die *normale* Pflanze bedeutend schneller das Ammoniak als die Salpetersäure aufnimmt. Die Nährlösung wird dabei um so saurer, je größer die Wurzelmasse ist, welche mit gewissem Volumen der Lösung in Berührung kommt. OLSEN (1923) hatte nur beobachtet, daß Ammoniumnitrat physiologisch sauer ist. In Gegenwart von NH_4NO_3 wurde der p_{H} -Wert ebenso tief getrieben, als wenn NH_4Cl als Stickstoffquelle gegeben wurde — p_{H} -Anfangswert 4,5, Endwert 3,4 (*Medicago sativa*), 2,2 (*Aira flexuosa*). KAPPEN und LUKACS (1925) kommen auf Grund eigener Versuche zu der Ansicht, daß die ältere Meinung von PRJANISCHNIKOW zu Recht besteht. Sie müssen aber auch die Frage offen lassen, wann die physiologisch-saure und wann die physiologisch-alkalische Reaktion des Ammoniumnitrats in Erscheinung tritt.

Auf Grund meiner Versuche glaube ich, etwas zur Beantwortung dieser Frage beitragen zu können. Bei Wachstumsversuchen mit Mais sind bestimmend für die physiologische Reaktion des NH_4NO_3 zunächst der Anfangs- p_{H} -Wert der Nährlösung, ferner deren Zusammensetzung, und drittens der Entwicklungszustand der Versuchspflanzen. Bei p_{H} -Werten von 7,0 und mehr erwies sich das Salz immer als physiologisch sauer, dasselbe war der Fall bei p_{H} -Werten von 4,3 und tiefer. Am wenigsten ausgesprochen war diese Eigenschaft bei p_{H} -Werten, die innerhalb des für das Wachstum günstigsten p_{H} -Intervalls lagen. Hier machte sich nur bei ganz jugendlichen Pflanzen oder bei ungünstigen Vegetationsbedingungen eine geringe physiologische Azidität bemerkbar. Waren letztere günstig, so fand nach einigen Tagen keine Reaktionsveränderung mehr statt. In Gegenwart von noch älteren Pflanzen erwies sich sogar das Ammoniumnitrat als ausgesprochen physiologisch alkalisch. Ich glaube, daß allein der Stickstoffbedarf der Versuchspflanze darüber entscheidet, ob Ammoniumnitrat physiologisch-sauer, -neutral oder -alkalisch ist.

Nach diesen Ausführungen dürfte eine Erklärung für die Abhängigkeit der NH_4 -Salzwirkung von der Reaktion keine Schwierigkeiten mehr bereiten. Bestimmend für die Schädlichkeit einer NH_4 -Salzlösung ist die

zu ihr gehörige NH_3 -Tension; denn je größer diese ist, in um so größerem Maße dringt Ammoniak in die Zellen ein. Die Tension richtet sich bei gleicher H-Ionenkonzentration nach der Menge der NH_4 -Ionen oder nach der NH_4 -Salzkonzentration. Dies geht auch einwandfrei aus meinen Versuchen mit steigenden NH_4NO_3 -, NH_4Cl - und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -Gaben hervor. Weiterhin ist aber bei gleicher NH_4 -Salzkonzentration bestimmend für die NH_3 -Tension die Reaktion der Lösung. Sie wird mit steigendem p_{H} -Wert dauernd zunehmen. Es werden also in sauren Lösungen stärkere NH_4 -Salzmengen vertragen als bei neutraler oder sogar alkalischer Reaktion. Ist dieses der Fall, dann muß natürlich mit steigender Azidität, auf gleiches Gewicht der Versuchspflanzen berechnet, der NH_4 -Verbrauch ständig abnehmen. Das stimmt mit einigen von meinen Versuchen, besonders mit denen, die im Spätherbst angestellt worden sind, gut überein. Aber es gibt auch in der Literatur eine Reihe von Bestätigungen. So fand z. B. KUSNETZOW (1925) bei *Citromyces glaber* bei steigender Azidität fallende NH_4 -Aufnahme. Sehr schön zeigen dies auch Versuche von PRIANISCHNIKOW, die dieser mit NH_4NO_3 als N-Quelle und Hafer und Erbse als Versuchspflanzen 1926 veröffentlichte. Auch SABININ soll nach PRIANISCHNIKOW dieselben Beobachtungen gemacht haben.

PRIANISCHNIKOW (1927, 1928) hatte weiterhin bei seinen Versuchen mit Keimlingen häufiger die Beobachtung gemacht, daß bei niedrigen p_{H} -Werten und Ammoniumnitrat als N-Quelle unter Umständen der Gehalt an NH_4 in der Lösung nicht allein unverändert blieb, sondern sogar zugenommen hatte. Es mußte also NH_3 aus der Pflanzenzelle ausgetreten sein. Dieselbe Beobachtung über das Austreten von Ammoniak in die Nährlösung wurde auch gemacht, wenn die Pflanzen in ein stark saures N-freies Medium gestellt wurden (siehe auch KRULL 1924). PRIANISCHNIKOW ist nun der Ansicht, daß die NH_3 -Abgabe auf eine Störung des normalen Verlaufes der Umwandlung stickstoffhaltiger Substanzen zurückgeführt werden muß. Es unterbleibt die Umwandlung des beim Eiweißabbau entstehenden Ammoniaks in Amidstickstoff. Diese Hemmung soll in folgenden Fällen eintreten: 1. Wirkung freier Säuren, 2. Wirkung physiologisch saurer Salze wie NH_4Cl und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 3. Wirkung anästhesierender Mittel, 4. Einfluß des Hungerns, 5. zu starke NH_4 - bzw. NO_3 -Zufuhr bei Kohlenhydratmangel.

Es sei aber an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß sich bei 1. und 2. im Gegensatz zu 3.—5. das Auftreten von Ammoniak in der Nährlösung auch sehr wohl ohne Zuhilfenahme einer gestörten Amidbildung erklären läßt. Wie vorher schon auseinandergesetzt, läßt sich eingedrungenes Ammoniak wieder auswaschen. Würden also andrerseits im Innern der Zelle Ammoniak bzw. Ammoniumsalze auftreten, und das muß, da PRIANISCHNIKOW mit etiolierten Keimlingen gearbeitet hat, der Fall ge-

wesen sein, so muß natürlich entsprechend der NH_3 -Tension in der Zelle Ammoniak nach außen austreten, und zwar so lange, bis die Tension in der Außenlösung so groß ist wie die in der Zelle. Wenn nun bei gleicher NH_4 -Salzkonzentration innen und außen die Reaktion in der Außenlösung stärker sauer ist als die in der Zelle, so muß ein besonders starkes NH_3 -Gefälle entstehen, und solange das Produkt $\text{NH}_4 \times \text{OH}$ außen kleiner ist als im Innern, kann auch aus der Zelle in eine NH_4 -Salzlösung NH_3 diffundieren, und das ist natürlich in stark sauren Lösungen der Fall. Ohne weiteres gegen die Ansicht von PRIANISCHNIKOW spricht aber die Beobachtung von OLSEN, daß bei einer durch starken Aziditätsanstieg in einer NH_4Cl -Lösung bedingten Schädigung der p_H -Wert des Preßsaftes kleiner war als bei normalen Pflanzen. Würde die Amidbildung gestört worden sein, dann müßte sich eine Ammoniakanreicherung durch einen *Alkalitätsanstieg* bemerkbar gemacht haben, wie das auch bei BUTKEWITSCH (1912) der Fall war, wenn er Lupinenkeimlinge hungern ließ.

Bei den Ammoniumsalzen liegen die umgekehrten Verhältnisse vor wie bei den Nitriten. Hier ist bei alkalischer Reaktion die Wirkung am günstigsten, um sodann mit steigender Azidität ständig abzunehmen. Dem Aziditätsanstieg muß natürlich, da das Produkt $\text{NO}_2 \times \text{H}$ ständig zunimmt, auch ein ständiges Anwachsen der Zahl der HNO_2 -Moleküle parallel gehen. Wir wissen heute aber, daß der Unterschied hinsichtlich des Eindringens starker und schwacher Säuren in die Pflanzenzelle darauf beruht, daß in ungeschädigte Protoplasten vollständig dissoziierte starke Säuren in nennenswerten Mengen nicht eindringen, daß hingegen die Moleküle der schwach dissoziierten Säuren durch die Ultrafilter der Protoplasten, falls Größe und Form kein Hindernis sind, schnell ins Zellinnere gelangen. Nitrite sind nun in größeren Mengen giftig für die Zellen, falls sie ins Innere gelangen. Solange die Nitrite vollständig dissoziiert sind, und es wegen der geringen Wasserstoffionenkonzentration der Nährlösung nicht zu einer etwas größeren Bildung von HNO_2 -Molekülen kommt, sind Nitrite eine günstige N-Quelle. Sobald aber die Lösung sauer wird, kommt es durch die starke Bildung von HNO_2 -Molekülen zu einer mehr oder weniger starken Überschwemmung der Zellen durch salpetrige Säure. Auch unter der Annahme, daß das Molekül HNO_2 nicht beständig ist und sofort in H_2O und N_2O_3 zerfällt, behalten die eben vorgetragenen Überlegungen ihre Richtigkeit. Wir könnten dann von einer für jede Nitritlösung charakteristischen N_2O_3 -Tension sprechen, deren Größe mit steigender Azidität bei gleichbleibender Nitritkonzentration anwächst. Wie wir uns den Einfluß von HNO_2 bzw. N_2O_3 in den Zellen zu denken haben, sei dahingestellt. Es sei aber nur auf die leichte Reaktionsfähigkeit von N_2O_3 mit den NH_2 -Gruppen der Aminosäuren hingewiesen. Hiermit stehen meine *Tradescantia*-Versuche in vollständiger Übereinstimmung. Einen Beweis für die soeben vorgetragenen Ansich-

ten dürften wir auch darin erblicken, wenn relativ die Nitritaufnahme mit steigender Azidität zunähme. Daß dies der Fall ist, haben aber auch wieder Versuche von PRIANISCHNIKOW mit der Wicke als Versuchspflanze 1926 gezeigt.

Welcher Art sind nun die Schäden, die durch das eingedrungene Ammoniak im Innern der Zelle hervorgerufen werden? Hier sind zwei Möglichkeiten gegeben. Wir können uns der Ansicht von BOKORNY anschließen und eine besonders große Empfindlichkeit des Plasmaeiweißes (aktives Albumin) gegen Ammoniak annehmen, oder aber in Anlehnung an die schon vorgetragene Ansicht von MAYER in der durch das eingedrungene Ammoniak bewirkten Reaktionsverschiebung im Zellinnern den Grund für die schädliche Wirkung des Ammoniaks suchen. Es sprechen zahlreiche Untersuchungen (siehe Verf. 1927a) dafür, daß bei den meisten Zellen eine p_H -Veränderung des Zellsaftes von einer mehr oder weniger großen Schädigung der Protoplasten begleitet ist, die, falls die Reaktionsveränderung nicht rückgängig gemacht wird, zum Tode der Zelle führt. Charakteristisch für diese Schädigung ist vor allen Dingen die auftretende Exosmose. Die anfängliche Reversibilität der NH_3 -Einwirkung dürfte nach meiner Ansicht leichter mit der zweiten Annahme, daß eine indirekte Wirkung des Ammoniaks vorliegt, zu erklären sein, als unter Annahme der Theorie von BOKORNY. Auch dürfte eine Reaktionsveränderung im Zellsaft leicht eine Änderung in der Dissoziation der Eiweißsubstanzen und damit auch eine Beeinflussung der Permeabilität der Protoplasten (Exosmose) ermöglichen.

Sofort wird jetzt aber der Einwand zu erheben sein, daß die potentielle Azidität der Wurzelzellen sicher so groß sein wird, um die Reaktion des Zellsaftes konstant zu halten. Dagegen kann man allerdings die Versuche an *Nitella*- und *Valonia*-Zellen anführen. Hier hat die potentielle Azidität nicht ausgereicht. Unter natürlichen Bedingungen stehen aber den höheren Pflanzen noch andere Quellen zur Verfügung, um das eingedrungene Ammoniak unschädlich zu machen. Wir kennen heute zwei Wege, die von den Pflanzen eingeschlagen werden können, um eingedrungenes Ammoniak unschädlich zu machen. PRIANISCHNIKOW und seine Mitarbeiter haben bekanntlich festgestellt, daß eine Gruppe von Pflanzen imstande ist, in Gegenwart von Kohlenhydraten im Stoffwechsel entstehendes oder von außen eingedrungenes Ammoniak unter Überführung in Amide, besonders *Asparagin*, zu entgiften — siehe auch SMIRNOW und MOTHES. Diesen Amidpflanzen wurde von RUHLAND und WETZEL eine zweite Gruppe, die Säure- oder Ammonpflanzen, gegenübergestellt. Durch starke Bildung von organischen Säuren wird das entstandene Ammoniak gebunden und durch große aktuelle Azidität gleichzeitig verhindert, daß die durch die hydrolytische Spaltung der Ammoniumsalze dieser Säuren entstehende NH_3 -Tension einen nennenswerten

Betrag erreicht. Es müßte also bei günstigen Assimilationsbedingungen den Pflanzen möglich sein, immer für genügende Mengen Kohlenhydrate zu sorgen, um das eingedrungene Ammoniak unschädlich zu machen. Es wird daher auch verständlich, daß, wie schon A. MAYER 1874 zeigen konnte, die Blätter der grünen Pflanzen relativ viel Ammoniak ohne Schädigung aufnehmen können, solange die Assimilation in Tätigkeit ist. MUNK zeigte 1896, daß im Licht das leicht in die Blätter eingedrungene Ammoniak sehr schnell verschwindet, während es im Dunkeln aufgespeichert wird. Eine relativ große Unempfindlichkeit der Blätter gegen Ammoniumsalze geht auch aus den Untersuchungen von MOTHES (1926) hervor. A. MAYER hat aber weiterhin auch schon darauf aufmerksam gemacht, daß die Wurzeln höherer Pflanzen eine sehr viel größere Empfindlichkeit gegen Ammoniak besitzen als die Sprosse. Hierauf weist er auch besonders noch in der letzten Auflage seiner Agrikulturchemie hin. Auch aus meinen Versuchen mit *Tradescantia*-Stecklingen geht der große Unterschied in der Empfindlichkeit des Sprosses und der Wurzeln deutlich hervor. Während bei 0,066% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ auch in vollständigen Nährlösungen das Wurzelwachstum stark gehemmt und ganze Wurzelteile zum Absterben gebracht wurden, zeigten die in die Lösungen eintauchenden Sproßenden auch nicht die geringste Schädigung. In Gegenwart von Nitriten konnte dieselbe Beobachtung gemacht werden.

Wir müssen also annehmen, daß in vielen Fällen die bei der Assimilation gebildeten Kohlenhydrate nicht in genügender Menge schnell genug in die Wurzeln gelangen können, um eine NH_3 -Vergiftung zu unterbinden. Im Jugendzustand, wo die assimilierende Fläche besonders klein ist, oder wenn den Versuchspflanzen keine vollständige Nährlösung zur Verfügung gestellt worden ist, oder bei ungünstigen Lichtverhältnissen, muß sich diese Schwierigkeit in besonders verstärktem Maße auswirken. Bei kräftiger Sproßentwicklung und günstigen Assimilationsbedingungen ist die Gefahr, daß zu den gefährdeten Wurzelteilen nicht die genügenden Kohlenhydratmengen gelangen, stark gemindert. Eisenmangel und damit fehlende Ausbildung normal grüner Chloroplasten müssen die NH_3 -Vergiftung stark fördern. Da nun aber in vielen Fällen die erste NH_3 -Wurzelschädigung auch in vollständigen Nährlösungen und mit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ als Eisenquelle immer von einer mittleren bis starken Eisenchlorose begleitet war, so muß diese wieder die Bedingungen für die Wurzelschäden fördern. Alle diese Überlegungen finden ihre Bestätigung durch meine Versuche. Der langsame Transport von Kohlenhydraten geht auch aus den Beobachtungen von BUTKEWITSCH (1912) hervor. Lupinenkeimlinge, die im Dunkeln gehalten worden waren, hatten große Mengen von NH_3 , das bei der Veratmung von Eiweißsubstanzen entstanden war, in den Zellen gespeichert, durch Ernährung mit Glukose konnten diese NH_3 -Mengen zum Verschwinden gebracht werden, allerdings nur in den unteren Teilen

Literatur.

- Benecke, W.:** Einige neue Untersuchungen über den Einfluß von Mineralsalzen auf Organismen. Bot. Z. **62**, II. 113, (1904). — Die v. d. Cronese Nährlösung. Z. f. Bot. **1**, 255 (1909). — **Benecke, W. u. Jost, L.:** Pflanzenphysiologie I. Jena 1924. — **Beyer, A.:** Einige Betrachtungen bei den diesjährigen Vegetationsversuchen in wässerigen Lösungen. Landw. Versuchsstat. **9**, 480 (1867). — Bericht über die im Sommer 1867 an der Versuchsstat. Regenwalde ausgeführten Wasserkulturversuche. Ebenda **11**, 262 (1869). — **Birner, H. u. Lukanus, B.:** Wasserkulturversuche mit Hafer. Ebenda **8**, 128 (1866). — **Bokorny, Th.:** Neue Untersuchungen über den Vorgang der Silberabscheidung durch aktives Albumin. Jb. f. wiss. Bot. **18**, 194 (1887). — Über die Einwirkung basischer Stoffe auf das lebende Protoplasma. Ebenda **19**, 26 (1888). — Vergleichende Studien über die Giftwirkung verschiedener chemischer Substanzen bei Algen und Infusorien. Pflügers Arch. **64**, 262 (1896). — Einwirkung einiger basischer Stoffe auf Keimpflanzen. Zbl. Bakter. II, **32**, 587 (1912). — Bindung von Ammoniak durch das Zelleiweiß. Biol. Zbl. **35**, 25 (1915). — **Boussingault, J. B.:** Agronomie, Chimie agricole et Physiologie I. Paris 1860. — **Brooks, M. M.:** Studies on the permeability of living and death cells III. Publ. Health Rep. (U.S.A.) **38**, 1, 2074 (1923). — **Butkewitsch, W.:** Das Ammoniak als Umwandlungsprodukt der stickstoffhaltigen Substanzen in höheren Pflanzen II. Biochem. Z. **41**, 431 (1912). — **v. d. Crone, G.:** Ergebnisse von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze und eine neue Nährlösung. Diss. Bonn (1904). — **Czapek, F.:** Über Fällungsreaktionen in lebenden Pflanzenzellen und einige Anwendungen derselben. Ber. dtsh. bot. Ges. **28**, 147 (1910). — **Dibbits, H. C.:** Über die Dissoziation der Ammoniumsalze in wässriger Lösung. Z. anal. Chem. **13**, 395 (1874). — **Ehrenberg, P.:** Die Bewegung des Ammoniakstickstoffs in der Natur. Mitt. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 47 (1907/09). — **Euler, H.:** Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie. II/III. Braunschweig 1909. — **Frank, B.:** Über Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze. Ber. dtsh. bot. Ges. **5**, 476. (1887). — Untersuchungen über die Ernährung der Pflanze mit Stickstoff und über den Kreislauf desselben in der Landwirtschaft. Landw. Jb. **17**, 421 (1888). — Die Assimilation des freien Stickstoffs bei den Pflanzen in ihrer Abhängigkeit von Species, von Ernährungsverhältnissen und von Bodenarten. Ebenda **21**, I (1892). — **Gerlach, M. u. Vogel, J.:** Ammoniakstickstoff als Pflanzennährstoff. Zbl. Bakter. II **14**, 124. (1905). — **Giustiniani, E.:** Sur l'emploi des engrais ammoniacaux. Ann. agronom. **21**, 422. (1901). — **Griffiths, A.:** Direct absorption of ammonical salts by certain plants. Chem. News **64**, 147. (1891). — **Hampe, W.:** Über die Assimilation von Harnstoff und Ammoniak durch die Pflanzen II. Landw. Versuchsstat. **9**, 157 (1867). — **Harvey, E. N.:** Studies on the permeability of cells. J. of Exp. Zool. **10**, 507 (1911). — A criticism of indicator methods of determining cell permeability for alkalies. Amer. J. Physiol. **31**, 335 (1912/13). — The permeability of cells for oxygen and its significance for the theory of stimulation. J. gen. Physiol. **5**, 215 (1923). — **Harz, C. O.:** Über mineralische Stickstoffernährung höherer Pflanzen. Bot. Zbl. **29**, 223 (1887). — Über vergleichende Stickstoffernährungsversuche. Ebenda **33**, 218 (1888). — **Helriegel, H.:** Versuche über Pflanzenwachstum aus dem Laboratorium der Versuchsstat. Dahme. Ann. Landw. kgl. preuß. Stat. **38**, 296 (1861); **42**, 53, 119, 268, 297 (1863). — **Hoagland, D. R. a. Davis, A. R.:** The composition of the cell sap of the plant in relation to the absorption of ions. J. gen. Physiol. **5**, 629. (1923). — **Jacobs, M. H.:** The influence of ammonium salts on cell reaction. Ebenda **5**, 181 (1923). — **Jones, L. H. a. Shive, J. W.:** Effect of ammonium sulphate upon plants in nutrient solutions supplied with ferric phosphate and ferrous sulphate as source of iron. J. agricult.

Res. **21**, 701 (1921). — Influence of ammonium sulphate on plant growth in nutrient solutions and its effect on H-conc. and iron availability. *Ann. Bot.* **37**, 355 (1923). — **Irwin, M.**: Accumulation of brilliant cresyl blue in the sap of living cells of *Nitella* in the presence of NH_3 . *J. gen. Physiol.* **9**, 235 (1926). — **Kappen, H.** u. **Lukaes, M.**: Zur physiologischen Reaktion der Düngesalze. *Z. Pflanzenernährg. Abt. A* **5**, 249 (1925). — **Knop, W.**: Ein Vegetationsversuch. *Landw. Versuchsstat.* **1**, 181 (1859). — Über die Ernährung der Pflanzen durch wässrige Lösungen bei Ausschluß des Bodens. *Ebenda* **2**, 65 u. 270 (1860). — Quantitative Untersuchungen über den Ernährungsprozeß der Pflanze. *Ebenda* **7**, 93 (1865). — **Kossowitsch, P.**: Ammoniaksalze als unmittelbare Stickstoffquelle für Pflanzen. *Russ. J. exp. Landw.* **2**, 637 (1901). — Über die gegenseitige Einwirkung (Wechselwirkung) der Nährsalze bei der Aufnahme mineralischer Nahrung durch die Pflanzen. *Ebenda* **5**, 598. 1904. — **Kostytsehw, S.**: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie **1**. Berlin (1926). — **Krüger, W.**: Über die Bedeutung der Nitrifikation für die Kulturpflanzen. *Landw. Jb.* **34**, 761 (1905). — **Krull, C.**: Untersuchungen über die Reaktionsempfindlichkeit von Keimlingen. *Bot. Arch.* **6**, 334. 1924. — **Kusnetzow, S. J.**: Die Bedeutung des Kalziums für die Gattung *Citromyces*. *Biochem. Z.* **157**, 339. 1925. — **Lepeschkin, W.**: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin (1925). — **Liebig, J.**: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. 1840. — **Loew, O.**: Über Giftwirkung des Hydroxylamins und der salpetrigen Säure. *Bot. Zbl.* **7**, 810 (1890). — **Loo, T. L.**: On the mutual effects between the plant growth and the change of reaction of the nutrient solution with ammonia salts as the source of nitrogen. *Jap. J. Bot.* **3**, 163 (1927). — **Maercker, M.**: Bericht über die auf Veranlassung der Dünger-Abteilung der deutschen Landwirtschafts-Ges. ausgeführten Versuche mit schwefelsaurem Ammoniak. *Jb. dtsh. Landw.-Ges.* **4**, 450 (1890). — **Mayer, A.**: Über die Aufnahme von Ammoniak durch oberirdische Pflanzenteile. *Landw. Versuchsstat.* **17**, 329 (1874). — Beiträge zur Frage über die Düngung mit Kalisalzen. *Ebenda* **26**, 77. (1881). — Lehrbuch der Agrikulturchemie **1**, 7. Aufl. (1920). — **Mazé, P.**: L'assimilation de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal par les végétaux supérieurs. *C. R. Acad. Sci.* **127**, 1031 (1898). — Recherches sur l'influence de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal sur le développement du maïs. *Ann. Inst. Pasteur* **14**, 26 (1900). — Recherches sur la physiologie végétale. *Ebenda* **25**, 705 (1911); **27**, 1093 u. 651 (1913). — **McCutcheon, M. a. Lucke, B.**: The mechanism of vital staining with basic dyes. *J. gen. Physiol.* **6**, 501 (1924). — **Mevius, W.**: Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstum. *Freising-München* 1927. — Kalziumion und Wurzelwachstum. *Jb. f. wiss. Bot.* **66**, 183 (1927). — Bedeutung der Reaktion für die Wirkung der Ammoniumsalze auf das Wachstum von *Zea mays*. *Z. Pflanzenernährg. Abt. A* **10**, 208 (1928). — **Mothes, K.**: Die Bedeutung der Säureamide für den Stickstoffwechsel der höheren Pflanzen. *Planta* **1**, 317 (1926). — Ein Beitrag zur Kenntnis des N-Stoffwechsels höherer Pflanzen. *Ebenda* **1**, 472 (1926). — Über den N-Stoffwechsel der Coniferen. *Ber. dtsh. bot. Ges.* **45**, 472 (1927). — **Müller, W.**: Die Abhängigkeit der Kalkoxalatbildung in der Pflanze von den Ernährungsbedingungen. *Beih. Bot. Zbl. I.* **39**, 321 (1922). — **Müntz, A.**: Sur le rôle de l'ammoniaque dans la nutrition des végétaux supérieurs. *J. d'agricult. pratique* **53**, 2, 671 (1889) u. *C. r. Acad. Sci.* **109**, 646 (1889). — Recherches sur l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la nutrition végétale. *Ann. sci. Agronon. II. Sér.* **2**, 1, 161 (1896). — **Nagaoka, M.**: On the behavior of the rice plant to nitrates and ammonium salts. *Bull. Agricult. Tokyo. Imp. Univ.* **6**, 285 (1904/05). — **Olsen, C.**: Studies on the H-conc. of the soil and its significance especially to the natural distribution of plants. *C. r. travaux Lab. Carlsberg* **15**, H. 1 (1923). — **Overton, E.**: Über die osmotischen Eigenschaften

der Zelle in ihrer Bedeutung für Toxikologie und Pharmakologie. Z. physik. Chem. **22**, 189 (1897). — **Pagnoul, M.**: Assimilabilité de l'azote par les plantes. Ann. agronom. **22**, 485 (1896). — **Pitseh, O.**: Versuche zur Entscheidung der Frage, ob salpetersaure Salze für die Entwicklung unserer landwirtschaftlichen Kulturgewächse unentbehrlich sind oder nicht. Landw. Versuchsstat. **34**, 217 (1887); **42**, 1 (1893); **46**, 357 (1896). — **Port, J.**: Über die Wirkung der Neutralsalze auf das Durchdringen der H- und OH-Ionen durch das Pflanzenplasma I. Biochem. Z. **166**, 105 (1925). — **Prianischnikow, D. N.**: Weitere Beiträge zur Kenntnis der Keimungsvorgänge. Landw. Versuchsstat. **46**, 459 (1896). — Eiweißzerfall und Eiweißbildung in den Pflanzen. Ber. dtsh. bot. Ges. **17**, 151 (1899). — Über den Einfluß der Temperatur auf die Energie des Eiweißzerfalles. Ebenda **18**, 285. 1900. — Über die Ausnutzung der Phosphorsäure der schwer löslichen Phosphate durch höhere Pflanzen. Ebenda **18**, 411. 1900. — Zur Frage der Asparaginbildung. Ebenda **22**, 35 (1904). — Über den Einfluß von Ammoniumsalzen auf die Aufnahme von Phosphorsäure bei höheren Pflanzen. Ebenda **23**, 8. 1905). — Zur Frage über den relativen Wert verschiedener Phosphate. Landw. Versuchsstat. **65**, 23 (1907). — Zur physiologischen Charakteristik der Ammoniumsalze. Ber. dtsh. bot. Ges. **26a**, 716 (1908). — Quantitative Bestimmung der im Boden vorhandenen adsorptiv gebundenen Basen. Landw. Versuchsstat. **79/80**, 667 (1913). — La synthèse des corps amidés aux dépens de l'ammoniaque absorbé par les racines. Rev. gén. Bot. **25**, 5 (1913). — Das Ammoniak als Anfangs- und Endprodukt des N-Umsatzes in den Pflanzen. Landw. Versuchsstat. **99**, 267. 1922. — Über den Aufbau und Abbau des Asparagins in den Pflanzen. Ber. dtsh. bot. Ges. **40**, 242. 1922. — Sur l'assimilation de l'ammoniaque par les plantes supérieures. Rev. gén. Bot. **36**, 5 (1924). — Asparagin und Harnstoff. Biochem. Z. **150**, 407 (1924). — Die Düngelehre. Berlin 1923. — Zur physiologischen Charakteristik von Ammoniumnitrat. Z. Pflanzenernährg, Abt. A, **4**, 242 (1925). — Ammoniak, Nitrate und Nitrite als N-Quellen für höhere Pflanzen. Erg. Biol. **1**, 407 (1926). — Über physiologische Azidität von Ammoniumnitrat. Biochem. Z. **182**, 204 (1927). — Über die Ausscheidung von Ammonium durch die Pflanzenwurzeln bei Säurevergiftung. Ebenda **193**, 211 (1928). — **Prianischnikow, D. u. Schulow, J.**: Über die synthetische Asparaginbildung in den Pflanzen. Ber. dtsh. bot. Ges. **28**, 253 (1910). — **Prianishnikov, D. N. a. Domontovitch, M. K.**: The problem of a proper nutrient medium. Soil. Sci. **21**, 327 (1926). — **Rautenberg, F. u. Kühn, G.**: Vegetationsversuche im Sommer 1863. Landw. Versuchsstat. **6**, 355 (1864). — Bericht über die auf der Landw. Versuchsstat. Weende ausgeführten Versuche. J. Landw., N. F. **9**, 107 (1864). — **Ruhland, W.**: Beiträge zur Kenntnis der Permeabilität der Plasmahaut. Jb. f. wiss. Bot. **46**, 1 (1909). — Zur Frage der Ionenpermeabilität. Z. f. Bot. **1**, 747 (1909). — **Ruhland, W. u. Wetzel, K.**: Zur Physiologie der organischen Säuren in grünen Pflanzen I. Planta **1**, 558 (1926); **3**, 765 (1927). — **Sachs, J.**: Bericht über die physiologische Tätigkeit an der Versuchsstation Tharandt. I. Landw. Versuchsstat. **1**, 203 (1859); IV. Ebenda **2**, 219 (1860); V. Ebenda **3**, 30 (1861). — **Schneidewind, W.**: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 6. Aufl. Berlin 1928. — **Schulow, J.**: Zur Frage über die Methodik der sterilen Kultur höherer Pflanzen. Russ. J. exp. Landw. **12**, 777 (1911). — Sterile Kulturen einer höheren Pflanze. Assimilation von Ammoniak- und Nitratstickstoff. Ebenda **13**, 200 (1912). — Die Eiweißbildung durch höhere Pflanzen in der Dunkelheit. Ebenda **13**, 207. (1912). — Versuche mit sterilen Kulturen höherer Pflanzen. Ber. dtsh. bot. Ges. **31**, 97 (1913). — **Smirnow, A. J.**: Über die Synthese der Säureamide in den Pflanzen bei Ernährung mit Ammoniaksalzen. Biochem. Z. **137**, 1 (1923). — Die Eigentümlichkeiten des Stoffwechsels bei den Lupinenkeimlingen in Gegen-

wart von Ammonium- und Kalziumsalzen. Z. Pflanzenernährg Abt. A **3**, 30 (1924). — **Stohmann, F.**: Über einige Bedingungen der Vegetation der Pflanzen. J. Landw., N. F. **7**, 1 (1862). — Über einige Beziehungen der Vegetation der Pflanzen. Ann. Chem. **121**, 285 (1862). — Vegetationsversuche in wässerigen Lösungen. Landw. Versuchsstat. **6**, 347 (1864). — Mitteilungen der Landw. Versuchsstat. Braunschweig. I. J. Landw., N. F. **9**, 65 (1864). — **Takabayashi, S.**: On the poisonous action of ammonium salts upon plants. Bull. Coll. Agricult. Tokyo Imp. Univers. **3**, 265 (1897/98). — **Thomson, A.**: Der Wert der Ammonsalze für die Ernährung der höheren Kulturpflanzen. Acta et commentationes Univ. Dorpatensis A III, H. 2 (1922). — **Treboux, O.**: Zur Stickstoffernährung der grünen Pflanze. Ber. dtsch. bot. Ges. **22**, 570 (1904). — **Tröndle, A.**: Neue Untersuchungen über die Aufnahme von Stoffen in die Zelle. Biochem. Z. **112**, 259 (1920). — **Uspenski, E. E.**: Eisen als Faktor für die Verbreitung niederer Wasserpflanzen. Pflanzenforsch. H. 9. Jena 1927. — **Vries, H. de**: Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges. Arch. néerl. Sci. **6**, 117 (1871). — **Wagner, P.**: Vegetationsversuche über die Stickstoffernährung der Pflanzen. Landw. Versuchsstat. **11**, 287 (1869). — Die Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak und organischen Stickstoffdüngern im Vergleich zum Chilisalpeter. Arb. dtsch. landw. Ges. H. 80. Berlin 1903. — Die Stickstoffdüngung der landw. Kulturpflanzen. Berlin 1892. — Bericht über die Tätigkeit der Landw. Versuchsstat. Darmstadt für das Jahr 1905. — **Walter, H.**: Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena 1927. — **Warburg, O.**: Über die Oxydationen in lebenden Zellen nach Versuchen am Seeigellei. Hoppe-Seyler Z. **66**, 303 (1910).
