Die von der Cronesche Nährsalzlösung.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN.

Von

W. Benecke.

Vor vier Jahren empfahl G. von der Crone[1]) auf Grund von Untersuchungen über die Wirkung der Phosphorsäure auf die höhere Pflanze eine neue Nährlösung, die sich von der Knopschen, Mayerschen und Pfefferschen dadurch unterscheidet, daß sie Phosphat nur in Form des schwer löslichen Ferro- und Tertiärkalziumphosphates, nicht aber als Kaliumphosphat enthält; mit der Sachsschen ist die von von der Crone empfohlene sehr nahe verwandt und wird ihr sogar ganz gleich, wenn man der Sachsschen Vorschrift, »Spuren von Eisen« hinzuzufügen, dadurch gerecht wird, daß man Ferrophosphat als Eisenquelle wählt; Phosphat in Form von Kaliumphosphat enthält die Sachssche Nährlösung ebenfalls nicht. Mit seiner Nährlösung will von der Crone weitaus bessere Ergebnisse erzielt haben als mit den anderen; insonderheit soll das Auftreten von Chlorose bei seinen Versuchspflanzen (Mais, Roggen, Gerste, Rebe, Buchweizen u. a. m.) nie zu befürchten gewesen sein.

Ich beabsichtige, im Folgenden der wertvollen Anregung, die der inzwischen im jugendlichen Alter verstorbene Forscher durch seine Untersuchungen gegeben hat, zu folgen, und dieselben einer eingehenderen kritischen Würdigung und Nachprüfung zu unterziehen, als sie bislang erfahren haben. Zunächst sei der Gedankengang seiner Arbeit hier wiedergegeben:

Von der Crone, sowie sein Lehrer Noll hatten beobachtet, daß Pflanzen in phosphathaltigen Nährlösungen chlorotisch

[1]) Inaug.-Diss., Bonn 1904, 46 S.

wurden, nicht aber in phosphatfreien; den naheliegenden Gedanken, daß das Phosphat das Eisen aus der Nährlösung ausgefällt und dadurch eine typische, durch Eisenmangel bewirkte Chlorose indirekt herbeigeführt habe, ließ von der Crone fallen, da fraktionierte Darbietung von Eisen die Chlorose nicht heilte, statt dessen glaubte er an eine in unbekannter Weise durch den Überschuß an gelösten Phosphaten bewirkte, vom Eisenmangel unabhängige Chlorose und stellte über ihre Ätiologie systematische Versuche an.

Zuerst wurde, da die Zufuhr von Kaliumphosphat stets eine mehr oder minder starke Abweichung von der neutralen Reaktion bedingt, der Einfluß der Reaktion auf das Wachstum untersucht und in Bestätigung einer alten Knopschen[1]) Angabe gefunden, daß Wurzeln in einer ca. 0,0125prozentigen Phosphorsäurelösung absterben, in neutralen oder schwach alkalischen Lösungen aber gut gedeihen. Dieser Befund führte unseren Autor dazu, bei seinen ferneren Versuchen an Stelle des gewöhnlich verwendeten primären eine Mischung des primären und sekundären Kaliumphosphates zu benutzen; enthielten nun seine Nährlösungen außer dieser Mischung (0,05 %) noch die anderen üblichen Nährsalze und als Eisenquelle 0,0005 % Ferrosulfat, so wurden die Pflanzen chlorotisch; sie blieben jedoch grün, wenn die Phosphatzufuhr unterblieb, obwohl dann begreiflicher Weise ihr Wachstum durch den P-mangel begrenzt war. Schon sehr geringe Mengen, z. B. 0,005 % Kaliumphosphat äußerten die besagte Wirkung, und in gleicher Weise löste auch die Zufuhr anderer löslicher Phosphate, z, B. des sauren Kaliumphosphates Chlorose aus. Nicht anders war das Ergebnis, wenn als Eisengabe Eisenphosphat diente, denn auch dann hatte Zugabe weiterer Phosphate die genannte Erkrankung zur Folge, während Eisenphosphat als alleinige Fe- und P-quelle geboten, gesunde Pflanzen zu züchten erlaubte. Von den beiden in Betracht kommenden Eisenphosphaten war das Ferrophosphat besser als das Ferriphosphat; diese Beobachtung versucht von der Crone damit zu erklären, daß das letztere stärker löslich sei, somit die den löslichen Phosphaten eigene schädliche Wirkung gleichfalls äußere. Endlich wurde er-

[1]) Landw. Versuchsstat. 1863, 5, S. 104.

mittelt, daß eine Mischung von Ferro- und Tertiärkalziumphosphat besonders günstig war, während die Kombination von Ferro- und sekundärem Kalziumphosphat minder gut wirkte, was wiederum darauf zurückgeführt wird, daß dieses mehr Phosphat in Lösung gehen läßt, als das tertiäre Kalziumsalz. Auf Grund dieser Erfahrungen empfiehlt nun von der Crone die folgende Lösung: 1000 g Wasser, 1 g Kaliumnitrat, je $^1/_2$ g Kalzium- und Magnesiumsulfat, und je $^1/_4$ g Tertiärkalzium- und Ferrophosphat.

Diese Nährlösung soll deshalb so günstig wirken, weil 1. das Phosphat, 2. das Eisen sich im ungelösten Zustand befinden, 3. beide, obwohl ungelöst, sich in gut resorbierbarem Zustand befinden, weil 4. die angewandte Eisenverbindung, obwohl ungelöst, eine große Aktivität besitzt, weil 5. den Wurzeln infolge des Vorhandenseins ungelöster Stoffe Gelegenheit gegeben ist, ihre naturgemäße Funktion möglichst vollkommen zu vollziehen und endlich 6. weil die Reaktion neutral ist und bleibt.

Bereits im Jahre 1902 hatte von der Crone[1]) der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde eine vorläufige Mitteilung seiner Ergebnisse vorgelegt. Ich selbst[2]) hatte ein Jahr später anläßlich der Besprechung einiger Arbeiten über den Einfluß von Mineralsalzen auf die Pflanzen die Frage zur Diskussion gestellt, ob sich die ungünstigen Erfahrungen, die von der Crone bei Verwendung leicht löslicher Phosphate machte, nicht trotz seiner andersartigen Erklärung auf eine typische Chlorose, d. h. auf Eisenhunger zurückführen ließen; dabei hatte ich besonders darauf hingewiesen, daß die Verwendung einer Mischung des primären und sekundären Kaliumphosphates statt des primären bedenklich sei, weil dadurch die Löslichkeit des Eisens herabgesetzt werde, hatte es ferner mit Rücksicht auf einige Ergebnisse von der Crones für möglich erklärt, daß vielleicht auch saure Phosphate u. U. eine Verminderung der Löslichkeit des Eisens herbeiführen könnten. In seiner, oben ihrem wesentlichen Inhalt nach wiedergegebenen Dissertion hat von der Crone diese Einwendungen dadurch als entkräftet erklärt, daß auch bei saurer Reaktion

[1]) Sitzungsber. vom 1. Dez. 1902.

[2]) Bot. Ztg. 1903, II. Abt., S. 123.

lösliche Phosphate Chlorose bewirken können. Nach dem was ich soeben über mein damaliges Referat sagte, sind aber meine Einwendungen damit nicht erledigt, die Frage, warum Phosphate Chlorose bewirken, ist vielmehr noch als offen zu bezeichnen.

Vor kurzem erschien eine Notiz von Takeuchi[1]), in der von der Crones Arbeit abfällig kritisiert und nachgewiesen wird, daß man bei geeigneter Zusammensetzung der Nährlösung trotz Gegenwart gelöster Phosphate gute Pflanzen in Nahrlösung züchten könne. Angesichts der häufigen und erfolgreichen Verwendung der Knopschen, Pfefferschen u. a. Lösungen, die gelöstes Kaliumphosphat enthalten, war dieser Nachweis kaum nötig. Die Kernfrage, warum von der Crone durch Darbietung gelöster Phosphate Chlorose hervorrief, berührt Takeuchi nicht. —

Neben dieser abfälligen Kritik findet sich aber auch lobende Erwähnung der von der Croneschen Nährlösung in der Literatur. So betont Noll[2]), daß in der von der Croneschen Nährlösung die Pflanzen ungleich besser gedeihen, als in der Knop'schen und Sachs'schen und daß die störende Entwicklung kleiner Algen sehr beschränkt sei; und Jost[3]) führt an, daß es gelinge in der von der Croneschen Nährlösung gute Pflanzen zu züchten.

Ich komme nun zu meinen eigenen Versuchen, und will unter I die chemische Frage behandeln, ob in solchen Lösungen in welchen von der Crone Chlorose eintreten sah, eine verminderte Löslichkeit des Eisens im Vergleich mit guten Nährlösungen nachweisbar ist; im Bejahungsfall würde meine Erklärung, daß es sich um Eisenhunger gehandelt habe, im Verneinungsfall die von der Cronesche Anschauung, daß eine besondere, von der Eisenzufuhr unabhängige Chlorose vorliege, zu bevorzugen sein.

Unter II sollen die Ergebnisse einiger vergleichender Versuche mitgeteilt werden, in welchen Pflanzen neben einander in der von der Croneschen und anderen älteren Nährlösungen gezüchtet wurden.

[1]) Bull. coll. agric. Tokyo. 1908, **7**, S. 425—428.

[2]) Lehrb. d. Bot. 8. Aufl., 1908. S. 160.

[3]) Vorles. üb. Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. 1908, S. 93.

I.

Da von der Crone in seinen wichtigsten Versuchen Eisenphosphate verwendet hatte, kamen auch für mich als Eisensalze, deren Löslichkeit unter verschiedenen Bedingungen ich zu untersuchen hatte, das Ferro- und das Ferriphosphat in Betracht. Wie von der Crone benutzte ich die im Handel erhältlichen Präparate, die ich, wie auch alle andern Salze, von Kahlbaum bezog. Das sog. Ferrophosphat, Ferrum phosphoricum oxydulatum, ist in Wirklichkeit ein Ferro-ferriphosphat. Von diesen Eisenphosphaten wurde eine geringe Menge, meist $^1/_{10}$ g, mit 250 ccm Wasser und zwar je nach der Fragestellung mit oder ohne weitere Zusätze in verschlossenen Flaschen tüchtig geschüttelt, dann noch zwei bis drei Tage unter häufiger Wiederholung des Umschüttelns stehn gelassen, hierauf 100 ccm klar abfiltriert und in diesem Filtrat der Eisengehalt colorimetrisch oder titrimetrisch festgestellt.

Im ersten Falle wurde das Eisen als Ferri-ion bestimmt: die 100 ccm wurden auf dem Wasserbad unter Zusatz von 1 ccm conc. Salzsäure und etwas chlorsaurem Kalium zur Trockene eingedampft, der Rückstand in 10 oder 20 ccm 0,1 $^0/_0$iger Salzsäure wieder aufgelöst, und die Lösung mit Rhodankalium versetzt. Da die zu vergleichenden Proben ganz identisch behandelt, in gleichgeformten Gefässen mit derselben Menge Rhodankaliumlösung versetzt wurden, war es nicht schwer, ein plus oder minus an Eisen festzustellen. Bei der titrimetrischen Methode, die fast nur dann zur Anwendung gelangte, wenn es sich um Ferrosalz handelte, wurde der Eisengehalt in den 100 ccm unmittelbar nach dem Filtieren bestimmt. Ich verwendete eine sehr schwache Kaliumpermanganatlösung, von der, wie die Einstellung mit Mohrschem Salz zeigte, 1 ccm 0,08 mg Eisen entsprach. Da 100 ccm Wasser erst nach dem Eintropfen von 0,6 ccm der Permanganatlösung deutlich gefärbt wurden, mußte bei jeder Bestimmung diese Menge in Abzug gebracht werden. In den wenigen Fällen, in welchen die titrimetrische Methode auch zur Bestimmung der Löslichkeit von Ferrisalz verwendet wurde, wurden die 100 ccm eingeengt, mit Zink und Salzsäure in einem mit Bunsenventil verschlossenen Kölb-

chen reduziert, hierauf wieder auf 100 ccm aufgefüllt und mit Permanganatlösung untersucht. —

Vor der kolorimetrischen hat die titrimetrische Methode den Vorzug voraus, daß sie quantitative Ergebnisse liefert, andererseits hat sie den Nachteil, daß in der schnellen Oxydierbarkeit des Ferro-ions eine Fehlerquelle liegt, die bei den schwachen, hier in Betracht kommenden Konzentrationen erheblich werden könnte. Es wurden aus diesem Grund natürlich auch hier immer nur vergleichende Versuche ausgeführt, denen diese Fehlerquelle im gleichen Maße anhaftete.

Ich beginne nunmehr mit dem Vergleich der Löslichkeit des Ferro- und Ferriphosphates; wie oben gesagt, hat von der Crone bei Verwendung des letzteren schlechte Erfahrungen gemacht, und führt das auf die stärkere Löslichkeit zurück, welche die schädliche, Chlorose erregende Wirkung gelöster Phosphate in die Erscheinung treten lasse; diese stärkere Löslichkeit will er durch Versetzung einer wässrigen Ausschüttelung des Ferriphosphates mit Magnesiamixtur und durch die dabei auftretende Trübung nachgewiesen haben; die Ausschüttelung des Ferrophosphats soll diese Trübung nicht ergeben haben; Eisenbestimmungen hat von der Crone nicht vorgenommen. — In frisch destilliertem, darum kohlensäurearmen Wasser lösen sich beide Phosphate nur recht wenig; zwar ergab der kolorimetrische Vergleich eine stärkere Löslichkeit des Ferrosalzes, immerhin war bei der geringen Menge der Ausfall der Versuche nicht recht überzeugend, außerdem bleibt ungewiß, ob nicht die geringen Mengen Kohlensäure, die während und nach der Destillation in das Wasser gelangen am Erfolg beteiligt sind; da ferner die Frage, wie reines Wasser hier wirkt zwar chemisches Interesse hat, dann aber auch nur mit dauernd vor Luftzutritt geschütztem Wasser in befriedigender Weise beantwortet werden könnte, jedoch kein biologisches Interesse, so zog ich es vor, von vornherein reines, selbst destilliertes Wasser für meine Versuche zu verwenden, in das ich etwas Kohlensäure einleitete; so erhält man unzweideutige Ergebnisse und ahmt außerdem die Verhältnisse nach wie sie in der Nährlösung infolge der Atmung der Wurzeln liegen.

Ich ging so vor, daß ich bei einem Versuch mehr, bei einem andern weniger Kohlensäure in das Wasser leitete, dasselbe dann auf zwei Flaschen verteilte, in die eine das Ferro-, in die andere das Ferriphosphat brachte, und weiter so verfuhr, wie oben geschildert. Es konnte nun sowohl mit der kolorimetrischen, als auch mit der in diesem Fall seltener angewandten titrimetrischen Methode zweifelsfrei festgestellt werden, daß das Ferrophosphat in kohlensäurehaltigem Wasser weitaus löslicher ist, als das Ferriphosphat. Ein quantitativer (titrimetrischer) Versuch zeigte, daß in einer Ausschüttelung jenes Salzes mehr als dreimal soviel Eisen vorhanden ist, als in einer solchen dieses Salzes. Auch einige einfachere Versuche führten zum gleichen Ergebnis: so gibt das Filtrat einer Ausschüttelung von Ferrophosphat mit Ferricyankalium eine deutliche Reaktion, eine solche des Ferriphosphates mit Ferrocyankalium oder Rhodankalium nicht. Auch Wägungen des Lösungsrückstands zeigten die größere Löslichkeit des Oxyduls an, und ich füge noch hinzu, daß sich das Resultat nicht änderte, wenn ich verschiedene käufliche Präparate untersuchte; dieselben besitzen nämlich einen bald mehr, bald weniger starken grünlichen Farbenton, was auf verschiedene Zusammensetzung hinweist. Verunreinigung der von mir verwendeten Präparate durch leicht lösliche Eisensalze können deshalb keine Rolle gespielt haben, weil Ausschüttelungen von 0.1 g in 100 ccm ebensoviel Eisen ergaben, wie Ausschüttelungen von 1 g in 100 ccm. Endlich füge ich noch hinzu, daß auch in der chemischen Literatur gleichsinnige Erfahrungen niedergelegt sind: bei Dammer[1]) finde ich angegeben, daß sich ein Teil Ferrophosphat in 1000 Teilen kohlensäurehaltigen Wassers löst, ein Teil Ferriphosphat aber erst in 12500 Teilen. Wie es zu erklären ist, daß von der Crone das Umgekehrte fand, vermag ich nicht zu sagen; die von ihm angewandte Methode führte mich nicht zum Ziel. Jedenfalls aber können wir seinen Befund, daß ferriphosphathaltige Nährlösungen Pflanzen hervorbringen die zur Chlorose neigen, jetzt auf die denkbar einfachste Weise damit erklären, daß sie zu wenig Eisen gelöst enthalten.

Nun habe ich zwar meine Ergebnisse nur an Lösungen der

[1]) Hdb. d. anorgan. Chemie 1893, **3**, S. 346 u. 348.

beiden Phosphate in Wasser gewonnen und nicht an Nährlösungen, doch liegt kein Grund vor, dieselben nicht auch auf Nährlösungen zu übertragen, da nicht anzunehmen ist, daß sich in solchen das Löslichkeitsverhältnis beider Salze umkehrt. — Wenn wir somit zu einer andern Erklärung der Wirkungsweise beider Phosphate kommen als von der Crone, so bleibt es doch dessen Verdienst auf das Ferrophosphat als ein für Wasserkulturzwecke geeigneteres Salz, als das Ferriphosphat es ist, hingewiesen zu haben. Denn soviel mir bekannt ist, hat vorher niemand dieses Salz bei Wasserkulturen verwendet. —

Wichtiger noch zur Beurteilung der von der Croneschen Ergebnisse ist die Beantwortung der weiteren Frage, ob auch durch Zugabe löslicher Phosphate in solchen Mengen, wie sie zu Nährlösungen zugesetzt werden, die Löslichkeit des Eisenphosphats herabgedrückt wird. Zu diesem Zweck schütteln wir Eisenphosphat entweder in Wasser oder in verdünnten, 0,05 %-igen Lösungen von Kaliumphosphat und vergleichen den Eisengehalt der Filtrate. Auch hier verzichten wir aus den oben angegebenen Gründen auf die Verwendung reinen und benutzen kohlensäurehaltiges Wasser, da wir mit der stärkeren Löslichkeit auch deutlichere Ergebnisse erhalten.

Wir beginnen mit dem Ferrophosphat: Suchen wir dasselbe in möglichst reinem Wasser zu lösen so erhalten wir titrimetrisch einen Gehalt von etwa 0,014 bis 0,02 mg Fe in 100 ccm. Leiten wir aber Kohlensäure bis zur Sättigung in reines Wasser, mischen wir davon 10 ccm mit 90 ccm reinen Wassers und untersuchen die Löslichkeit des Ferrophosphates in diesem Wasser so finden wir einen Gehalt von ca. 0,28 mg, d. h. zehn bis zwanzig Mal so viel. Bei den folgenden Versuchen benutzte ich immer Wasser das weit weniger Kohlensäure enthielt, um möglichst sicher zu sein, daß ich kein stärker saures Wasser verwendete als in Nährlösungen infolge der Atmung vorliegt. Ich erwähne übrigens in dieser Beziehung noch daß von der Crone, wie er angibt meist vier Pflanzen in $^1/_4$ Liter Nährlösung züchtete, so daß sein Wasser jedenfalls sehr reich an Kohlensäure war.

Es zeigte sich nun, daß Zusätze von Kaliumphosphat, sei es, daß man das primäre, sei es, daß man Mischungen des primären

und sekundären nimmt, die Löslichkeit des Ferrophosphats in kohlensäurehaltigem Wasser herabsetzen. Um ein paar Zahlen zu nennen: In einem Fall hatte sich im kohlensäurehaltigen Wasser ohne weitere Zusätze 0,042 mg Fe gelöst, bei Zusatz von 0,05 % prim. Kaliumphosphat nur 0,014 mg, bei Zusatz einer Mischung beider Phosphate noch weniger. Dasselbe Ergebnis hatte eine große Zahl ähnlicher Versuche, im Durchschnitt löste sich ohne Phosphatzusatz etwa sechsmal soviel als mit Phosphatzusatz. Kolorimetrische Versuche ergaben dasselbe, so daß es sich erübrigt, dieselben genauer zu besprechen. Solche wurden auch mit Ferriphosphat mit und ohne Zusatz von Kaliumphosphat angestellt und zeigten, daß die Löslichkeit auch dieses Salzes durch Zugabe von Phosphaten herabgemindert wird.

Arbeitet man mit Ferrophosphat, so kann man übrigens auch ohne Eindampfen des Filtrates durch Zusatz von Ferricyankaliumlösung kolorimetrisch nachweisen, daß die Reaktion bei vorherigem Zusatz von Kaliumphosphat undeutlicher, der Eisengehalt also herabgemindert wird. —

Um die Löslichkeit des Eisenphosphats im Wasser zu steigern, kann man statt der Kohlensäure auch andere Säuren zusetzen, da es offenbar nur auf die Konzentration der Wasserstoffionen im Wasser ankommt. Ich verfuhr z. B. so, daß ich zu reinem Wasser, das über einem Überschuß von Ferrophosphat stand, so lange Schwefelsäure in geringen Mengen zusetzte, bis eine abfiltrierte Probe eben eine deutliche Fe-reaktion mit Ferricyankalium gab. Dann wurde das H_2SO_4-haltige Wasser mit aufgerührtem Phosphatniederschlag auf zwei Flaschen verteilt, in die eine noch 0,05 % Kaliumphosphat gegeben und nach einiger Zeit der Gehalt an gelöstem Fe in beiden Flaschen ermittelt. In der verdünnten Schwefelsäure ohne weitere Zusätze hatten sich in 100 cc 5,3 mg Eisen gelöst, bei Zusatz von 0,05 % primären Phosphats nur 3,6 mg, noch weniger, falls eine Mischung von primärem und sekundären Phosphat zugesetzt worden war. Auch der Einfluß eines Zusatzes von Calciumphosphat wurde ermittelt. Es ergab sich, daß Zusatz von tertiärem Calciumphosphat den Gehalt der verdünnten Schwefelsäure an gelöstem Eisenphosphat ebenfalls sehr stark herabsetzt und zwar noch stärker als das Kaliumphosphat. Am energischsten

in dieser Beziehung wirkte aber ein Zusatz von sekundärem Calciumphosphat. In einem Fall z. B. enthielt schwefelsäurehaltiges Wasser 0,08 mg Fe gelöst, dasselbe bei Zusatz von tertiärem Calciumphosphat nur 0,03 mg, während bei Zusatz von sekundärem Calciumphosphat Eisen überhaupt nicht mit Sicherheit in der Lösung nachgewiesen werden konnte.

Es bedarf kaum des Hinweises darauf, daß alle diese Versuche in quantitativer Beziehung noch weiter auszuführen wären. Ich erwähne nur kurz, daß z. B. bei Verwendung noch stärkerer Gaben von Kaliumphosphat, z. B. 0,5% KH_2PO_4, die Verringerung der Löslichkeit des Fe noch deutlicher wird. — Aber auch noch in anderer Hinsicht erheischen die genannten Versuche eine Ergänzung: Wenngleich der Nachweis der Herabsetzung der Löslichkeit des Eisenphosphats durch andere Phosphate zweifellos auch für Nährlösungen Giltigkeit hat, so wäre doch erst durch weitere Versuche zu ermitteln, wie sich in diesen komplizierten Gemischen die Dinge im einzelnen gestalten. Ich stellte vorläufig die folgenden Versuche in dieser Richtung an: Ich versuchte titrimetrisch den Gehalt an gelöstem Eisen in der von der Croneschen Lösung zu ermitteln, und zwar mit wie ohne Zusatz von Kaliumphosphat zu derselben. Hier stieß ich jedoch auf die Schwierigkeit, daß ich wegen des Gehaltes dieser Lösung an tert. Calciumphosphat den Gehalt an gelöstem Eisen nur sehr gering fand. In 100 cc waren nur etwa 0,02 mg Eisen nachweisbar, während ich 0,08 mg fand, wenn ich das Calciumphosphat weggelassen hatte. In diesem letzteren Fall konnte ich aber, in Übereinstimmung mit meinen obengeschilderten Versuchen nachweisen, daß auch hier Zugabe von Kaliumphosphat den Gehalt an gelöstem Eisen herabmindert. Dies gilt also auch für den Fall, daß außerdem noch Calciumnitrat, Calciumsulfat und Magnesiumsulfat in der Lösung zugegen sind.

Auch falls man Chloride hinzugibt, ändert sich das Ergebnis nicht in merklicher Weise.

Somit können wir in allen den Fällen, in welchen von der Crone seine »Phosphat-Chlorose« beobachtete, einen verminderten Gehalt der Nährlösung an gelöstem Eisen nachweisen und uns damit die Chlorose ohne weiteres verständlich machen. Damit soll nicht gesagt sein, daß man alle Beobachtungen nun

durch den Lösungszustand der Salze in der Nährlösung außerhalb der Pflanzenwurzeln erklären kann; vielmehr kommen zweifellos noch andere Momente hinzu. So ist es sehr wahrscheinlich, daß die Pflanzenwurzel bei Darbietung größerer Mengen leicht löslicher Phosphate diese in verhältnismäßig großer Menge aufnimmt und so in ihrem Innern Bedingungen herstellt, welche die Assimilation des Eisens erschweren. Ich verweise hier auf folgende interessante Befunde von der Crones: Polygonum wurde in bestimmten Nährlösungen chlorotisch, wenn in diesen nur das Eisen fehlte, zeigte aber keine Chlorose, wenn gleichzeitig Eisen und Phosphate fehlten. Hier bedingte offenbar die Phosphatzufuhr, daß dieses reichlich aufgenommen wurde, und die starke Steigerung des Gehaltes an Phosphaten im Zellsaft hatte nun zur Folge, daß das in der Pflanze gespeicherte Eisen nicht in Funktion treten konnte. Auf ähnliche Weise dürfte die eigenartige Beobachtung von der Crones zu erklären sein, daß Pflanzen, die infolge reichlicher Phosphatzufuhr chlorotisch geworden waren, nachher trotz fraktionierter Darbietung des Eisens nicht ergrünen konnten. Die Erscheinung, daß manche Maissorten zur Chlorose neigen, erklärt unser Autor endlich selbst damit, daß in deren Körnern zu viel phosphorhaltige Reservestoffe im Verhältnis zum Reserveeisen gespeichert seien.

Wir fassen nun unsere bisherigen Ergebnisse kurz zusammen:

Es gelingt der Nachweis, daß in allen Nährlösungen, in welchen die Versuchsobjekte von der Crones zur Chlorose neigten, eine verminderte Löslichkeit des Eisens besteht im Vergleich zu solchen Lösungen, in welchen unser Autor gesunde Pflanzen erziehen konnte. Insonderheit bedingt Zufuhr löslicher Phosphate, auch des sauren Kaliumphosphates, zu Nährlösungen, welche Eisenphosphat als Eisensalz führen, eine verminderte Löslichkeit des Eisens. Es liegt kein Grund vor, anzunehmen, daß Phosphate außerdem eine von der Eisenzufuhr unabhängige Chlorose der Pflanzen bewirken können. Ebenso wie Phosphate in der Nährlösung außerhalb der Pflanze die Aufnahme des Eisens erschweren oder verhindern können, kann wahrscheinlich auch reicher Phosphatgehalt des Zellsaftes, zumal wenn in diesem noch andere die Löslichkeit des Eisens herab-

setzende Bedingungen vorhanden sind, die Weiterleitung und Verarbeitung des Eisens in der Pflanze erschweren oder unmöglich machen und so Chlorose hervorrufen[1]).

II.

Ich komme nun zur Besprechung einiger vergleichender Versuche, bei denen ich Pflanzen sowohl in der von der Croneschen als auch in einigen anderen Nährlösungen unter sonst identischen Bedingungen kultivierte, um mir ein Urteil über den Wert derselben bilden zu können.

Ich benutzte:

1. Die von der Cronesche Lösung. Sie enthält, wie erwähnt:

aq. dest.	1000
KNO_3	1
$CaSO_4$ + aq.	0,5
$MgSO_4$ + aq.	0,5
$Ca_3(PO_4)_2$	0,25
$Fe_3(PO_4)_2$ + aq.	0,25.

2. Die Pfeffersche Nährlösung:

aq. dest.	1000
$Ca(NO_3)_2$ + aq.	1,3
KNO_3	0,33
KH_2PO_4	0,33
$MgSO_4$ + aq.	0,33
KCl	0,16

Eisen: Auf 7 Liter oder auf 3 Liter 3—6 Tropfen der off. Fe_2Cl_6-Lösung. Ich gab auf $1^1/_2$ Liter 2 oder 3 Tropfen.

3. Die Sachssche Nährlösung:

aq. dest.	1000
KNO_3	1
$CaSO_4$ + aq.	0,5
$MgSO_4$ + aq.	0,5
$Ca_3(PO_4)_2$	0,5

[1]) Es liegt mir fern, hier die Frage nach den Ursachen, welche Eisenhunger und damit die Chlorose hervorrufen, erschöpfend behandeln zu wollen. Eine gute Orientierung darüber gibt das Studium der Arbeit von E. Molz. Bakt. Ztb. 2. Abt. 1907, **19**, S. 461f und **20**, S. 71f. Vgl. auch Jost, Vorl. üb. Pflanzenphys. 2. Aufl. 1908, S. 110f.

»Spuren Eisen«. Ich setzte Fe_2Cl_6 in der von Pfeffer vorgeschriebenen Menge zu. von der Crone verwendete $FeSO_4$ + aq., 0,005 g im Liter. — Es ist unbedingt erforderlich, die Art der Eisenzufuhr genau anzugeben, da hiervon der Wert der Lösung ganz wesentlich abhängt.

4. Die Mayersche Nährlösung:

aq. dest.	1000
$Ca(NO_3)_2$ + aq.	1
KNO_3	0,25
KH_2PO_4	0,25
$MgSO_4$ + aq.	0,25
$Fe_2(PO_4)_2$ + aq.	0,2.

Die von von der Crone außerdem noch benutzte Kreuslersche Nährlösung (aq. dest. 1000, $MgSO_4$ 0,23, $Fe_2(PO_4)_2$, in der Lösung selbst gefällt 0,1, $Ca(NO_3)_2$ 0,9. KNO_3 0,24, NaCl 0,1 und KH_2PO_4 0,24), zog ich nicht in den Bereich der Untersuchung. Wie ersichtlich, enthält sie im Gegensatz zu den andern auch Natrium, was nach den neueren Untersuchungen Osterhouts u. a. über die Bedeutung »balanzierter« Lösungen vielleicht in manchen Fällen von Bedeutung sein dürfte. — Jede Versuchspflanze wuchs in $1^1/_2$ Litern Nährlösung.

Die ersten Versuchsreihen stellte ich an mit *Zea Mays*, und zwar mit einer kleinkörnigen, im Handel als *Zea praecox* bezeichneten Sorte. Ich verglich das Wachstum in von der Cronescher, Sachsscher und Pfefferscher Nährlösung. Der erste Versuch begann Ende März im geheizten Zimmer. Anfang April gelangten die Pflanzen in das Gewächshaus. Gegen Ende April war die Pflanze in der Pfefferschen Nährlösung weitaus am besten entwickelt, die beiden andern auch nicht schlecht, neigten aber zur Chlorose. Gegen Mitte Mai wurde der Zustand der beiden letztgenannten so bedenklich, daß ich durch Zusatz von etwas Salpetersäure, 6 Tropfen auf 1500 ccm nachhelfen mußte. Der Erfolg war der, daß sie sich bald erholten, und wenn sie auch kleiner blieben als die in Pfefferscher Lösung wachsende, so doch tiefer grün wurden. Ende Juni wurde der Versuch abgebrochen. Die Pflanzen hatten kurz vorher ihre Blüten entwickelt. Das Frischgewicht betrug bei Pfeffer 55,

bei Sachs 37, bei von der Crone 35 g. Die Höhe der Pflanze in Pfefferscher Lösung betrug 70 cm, die der beiden andern etwa 40 cm.

Ganz ähnlich verliefen drei weitere derartige Versuche. Stets erwies sich für den Mais die Pfeffersche Nährlösung als den andern überlegen. Besonders ungünstig wirkte die von der Cronesche und Sachssche dann, wenn man die Pflanzen durch Wärme zu treiben versuchte, was bei Verwendung der Pfefferschen Lösung weit leichter gelang. Züchtete man die Pflanzen bei mäßiger Temperatur, etwa im Kalthaus an schattiger Stelle, so glich sich der Unterschied etwas aus, nie aber war die Überlegenheit der Pfefferschen Lösung zu verkennen. Säuerte man andererseits die von der Cronesche Lösung zu geeigneter Zeit an, so ergab sie schöne Pflanzen, und erwies sich also die Kombination $Fe_3(PO_4)_2 + Ca_3(PO_4)_2$ als Fe- und P-quelle als vortrefflich geeignet. Dies zeigt, daß die Überlegenheit der Pfefferschen Lösung darauf beruht, daß sie infolge ihres Gehaltes an Ferrichlorid und Monokaliumphosphat sauer reagiert und später auch bei lebhaftem Wachstum die Aufnahme der schwer löslichen Stoffe, des Eisens, in ausreichender Weise ermöglicht.

Das Wurzelsystem war in der von der Croneschen und in der Sachsschen Nährlösung nicht schlechter, häufig sogar eher besser entwickelt, als in der Pfefferschen. Auch dies ist Folge der Reaktion der Lösung, da, wie von der Crone in Bestätigung älterer Angaben findet, für die Wurzeln vieler Pflanzen ein neutraler oder auch schwach alkalischer Nährboden besser taugt, als ein saurer; die Frage ist noch offen, ob diese bessere Eignung neutraler bezw. schwach alkalischer Reaktion nur so lange gilt, als die Wurzel vorwiegend vom Samen her ernährt wird und aufhört mit dem Augenblick, wo sie selbst auf Stoffaufnahme aus der Nährlösung angewiesen ist. Häufig wird man jedenfalls einen Kompromiß schließen und schwach saure Nährlösungen verwenden müssen, da sonst die Löslichkeit des Eisens so stark herabgesetzt wird, daß der Sproß in dieser Beziehung nicht zu seinem Recht kommt. In manchen Fällen dürfte es sich auch empfehlen, zur Heranzüchtung besonders kräftiger Wasserkulturpflanzen, die Objekte zuerst in neutraler Lösung zu halten und

diese erst nach Entwicklung eines starken Wurzelsystems schwach anzusäuern. — Auch wäre mit Rücksicht auf meine oben mitgeteilte Erfahrung, daß der Gehalt an $Ca_3(PO_4)_2$ den Gehalt der Lösung an Eisen stark herabsetzt, der Versuch gerechtfertigt, die von der Croneschen Lösung durch Weglassen des Kalkphosphats auch für solche Pflanzen tauglich zu machen, die sonst in ihr chlorotisch werden. — Soweit meine Erfahrungen am Mais. Nun gibt, wie oben zitiert, Jost an, daß es gelinge mit Hilfe der von der Cronesche Lösung gute Pflanzen zu züchten. Auf meine Bitte teilte er mir mit, daß er diese Erfahrung an Haferpflanzen gemacht habe. Ich stellte daher auch mit diesem Objekt einen Versuch an, der vom Mai bis zum September dauerte. Es gelang mir hier in der Tat, sowohl in der Pfefferschen als in der von der Croneschen Lösung gesunde Pflanzen zu züchten. Doch war auch hier die in Pfefferscher Nährlösung erwachsene besser entwickelt. Als der Versuch am 6. Sept. abgebrochen wurde, hatten beide Pflanzen geblüht. Die in Pfefferscher Lösung gezüchtete stand aber besser, und war tiefer grün.

Ich finde somit, daß die von der Cronesche und die Sachssche Nährlösung für die von mir untersuchten Pflanzen etwa gleichwertig sind, die Pfeffersche aber besser als diese beiden ist; wie erklären sich nun die anders lautenden Befunde von der Crones? Wenn er in der Sachsschen Lösung keine guten Pflanzen züchten konnte, so dürfte dies darauf beruhen, daß er hier als Eisenquelle Ferrosulfat gab, während für diese neutrale Nährlösung offenbar das von mir verwendete Ferrichlorid besser taugt, da es die Lösung schwach ansäuert. Einen andern Grund aber müssen die Mißerfolge von der Crones mit der Pfefferschen Lösung gehabt haben, und ich finde hier denselben, gerade umgekehrt, darin, daß er diese Lösung stärker ansäuerte als die Vorschrift lautet und so seine Pflanzen durch die Säure schädigte. Statt nämlich »auf 7 Liter oder auf 3 Liter 3 bis 6 Tropfen der off. Fe_2Cl_6-Lösung« zu geben, setzte er auf 1 Liter 6 Tropfen hinzu. Diese vorschriftswidrig starke Ansäuerung und die dadurch erzielten schlechten Resultate scheinen überhaupt unsern Autor zu einer ungerechtfertigten Verurteilung schwach sauer reagierender Nährlösungen geführt zu haben

Außerdem gibt von der Crone ein Rezept für die Pfeffersche Nährlösung, dem das $MgSO_4$ fehlt; dies mag aber ein Druckfehler sein.

Noch zu erklären bleibt, warum ich mit Mais in der von der Croneschen Lösung schlechte, dieser Forscher aber gute Resultate zu verzeichnen hatte. Wahrscheinlich liegt das daran, daß wir mit verschiedenen Sorten arbeiteten. Darüber wären weitere Versuche erwünscht, und ich möchte betonen, daß meine Ausführungen nicht im mindesten den Wert der von der Croneschen Nährlösung vollkommen leugnen, vielmehr nur dartun wollen, daß der Beweis noch aussteht, ob und in welchen Fällen seine Lösung wirklich den Vorzug verdient vor älteren guten Nährlösungen. Denn Universalrezepte von Nährlösungen für höhere Pflanzen zu schreiben, ist ebensowenig möglich wie etwa für Bakterien oder Pilze.

Ich setzte schließlich noch eine Anzahl von Kulturen an, um die von der Cronesche Angabe über die Chlorose erregende Wirkung gelöster Phosphate, für die oben (I) die chemische Erklärung gefunden wurde, auch im Versuch zu bestätigen. Zunächst züchtete ich Mais in der von der Croneschen Lösung mit oder ohne Zugabe von 0,05—0,1 % Kaliumphosphat, und zwar entweder primärem Phosphat oder der Mischung des primären und des sekundären. Hierbei konnte ich die Angabe unseres Autors bestätigen, daß solche Zugaben diese Nährlösung verschlechtern, allerdings war dies weitaus deutlicher, wenn ich die besagte Mischung, als wenn ich das saure Phosphat verwendete. Beim Hafer war die Chlorose durch Phosphatzusatz viel weniger deutlich als beim Mais zu beobachten.

In diesem Zusammenhang stellte ich auch einige Versuche mit Mayerscher Nährlösung an, die nach meinen Erfahrungen der Sachsschen etwa gleichwertig ist. von der Crone empfiehlt, aus der Mayerschen das prim. Phosphat wegzulassen und statt dessen die Menge des Ferriphosphats zu steigern; was für einen Zweck diese Steigerung haben soll, ist nicht ersichtlich, da das Eisenphosphat so wie so im Überschuß vorhanden ist. — Auch ich konnte bei Verwendung der Mayerschen Nährlösung beobachten, daß Phosphate die Neigung der Pflanzen

zur Chlorose steigern, sehr auffallend war das Ergebnis aber nicht. —

Auch hier müssen wir fragen, warum von der Crone diese Chlorose erregende Wirkung gelösten Phosphats so viel stärker fand als ich in meinen Versuchen. Das mag nun z. T. daran gelegen haben, daß er meistens jene Mischung von primärem und sekundärem Phosphat verwendete in der unbegründeten Furcht, durch alleinige Darbietung des sauren die Pflanze durch Säurewirkung zu schädigen. Z. T. mag es aber auch damit zu erklären sein, daß von der Crone seine Pflanzen unter sehr ungünstigen Bedingungen züchtete, indem er in der Regel vier Exemplare in ein $^1/_4$ Liter-Gefäß brachte. Wenngleich hierdurch zweifellos der Kohlensäuregehalt des Wassers und damit die Löslichkeit des $Fe_3(PO_4)_2$ gesteigert worden ist, kann doch als wahrscheinlich angenommen werden, daß für jede einzelne der auf so geringe Flüssigkeitsmengen angewiesenen Pflanzen die Herabsetzung des Gehalts an gelöstem Eisen durch das Kaliumphosphat fühlbarer geworden ist als in meinen Versuchen, bei denen das Wurzelsystem jeder Pflanze über $1^1/_2$ Liter Lösung verfügte. —

Wir fassen nun die Ergebnisse des zweiten Teils unserer Ausführungen kurz zusammen:

1. Der Versuch von der Crones, eine Nährlösung einzuführen, die Ferro- und Tertiärkalziumphosphat als einzige Fe- und P-quellen enthält, ist zwar an sich glücklich, weil in dieser neutral reagierenden Lösung die Wurzeln vieler Pflanzen sehr gut gedeihen, während sie in etwas zu stark angesäuerten Lösungen leicht Schaden nehmen. Voraussetzung für die günstige Wirkung der von der Croneschen Nährlösung ist aber, daß dem Sproß genügend Eisen zugeführt wird. Diese Voraussetzung ist nach eigenen Erfahrungen ziemlich gut erfüllt beim Hafer, nach von der Crone vollkommen auch bei vielen anderen Pflanzen; sie ist aber nach meinen Versuchen z. B. nicht erfüllt bei bestimmten Maissorten, die vielmehr in der von der Croneschen Lösung wegen Eisenhungers chlorotisch werden, wenn man die Lösung nicht ansäuert. Es empfiehlt sich durch weitere Versuche, diese Erfahrungen zu ergänzen und die von der Cronesche Nährlösung durch geeignete Veränderungen z. B.

durch Weglassen des Kalziumphosphats (das die Löslichkeit des $Fe_3(PO_4)_2$ herabsetzt), auch für solche Pflanzen geeignet zu machen, die sich verhalten wie der Mais in meinen Versuchen.

2. Die Behauptung von der Crones, seine Nährlösung sei der Pfefferschen überlegen, konnte ich nicht bestätigen; das Gegenteil war in meinen Versuchen der Fall. Die entgegengesetzte Erfahrung von der Crones dürfte darauf beruhen, daß er vorschriftswidrig viel Fe_2Cl_6 zur Pfefferschen Nährlösung zusetzte und sie dadurch zu stark ansäuerte.

3. Der Chlorose erregende Einfluß löslicher Phosphate, der von der Crone dazu veranlaßte, den Zusatz derselben zu jeglicher Nährlösung als verwerflich zu erklären, ist von diesem Autor offenbar überschätzt worden. Das hat seinen Grund einmal wohl darin, daß er statt des primären Kaliumphosphats eine Mischung des primären und sekundären verwendete, ferner wohl auch in den ungünstigen Bedingungen, unter denen er seine Pflanzen wachsen ließ, indem er meistens vier Exemplare in einem Gefäß unterbrachte, das nur $^1/_4$ Liter faßte.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 1

Autor(en)/Author(s): Benecke Wilhelm

Artikel/Article: Die von der Cronesche Nährsalzlösung. 233-252