

II. W. Benecke: Ein Beitrag zur mineralischen Nahrung der Pflanzen.

Eingegangen am 29. October 1894.

Nachdem die Nothwendigkeit der mineralischen Bestandtheile in der Nahrung der Pflanzen Gemeingut der Wissenschaft geworden war, erfuhr bekanntlich die weitere Frage nach der Vertretbarkeit der einzelnen Elemente, speciell der Metalle, im Laufe der Zeit eine verschiedenartige Beantwortung: Während LIEBIG¹⁾ einer universellen Vertretbarkeit der Alkalien und alkalischen Erden das Wort redete, leugnete C. SPRENGEL¹⁾, ferner ADOLF MAYER²⁾ eine solche gänzlich, letzterer stellte sogar die ganze Frage als eine widersinnige hin. Aus den verschiedenen Anschauungen, die zwischen diesen beiden Extremen lagen, hat sich schliesslich so zu sagen ein Compromiss herausgebildet, der Art, dass die in allen neueren Lehrbüchern vertretene Ansicht die folgende ist: Für die chlorophyllführenden Pflanzen sind an Metallen Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen unentbehrlich, kein anderes Element kann ihre Stelle einnehmen; für die Schimmelpilze hingegen genügt die Anwesenheit einer der Erden (Ca, Ba, Sr, Mg) im Nährsubstrat, und innerhalb der Gruppe der Alkalien kann das Kalium vortheilhaft durch Rubidium oder Caesium bei allen pilzlichen Organismen ersetzt werden. Diese Ansicht über die mineralische Nahrung der Pilze stützt sich bekanntlich auf Versuche von O. LOEW, die von der Autorität NÄGELI's³⁾ getragen werden.

Im Jahre 1884 trat WINOGRADSKY⁴⁾ den Angaben NÄGELI's entgegen: Zwar nicht für dieselben Organismen, wie der Münchener Forscher, wohl aber für *Mycoderma vini* constatirte er, dass das Magnesium unbedingt nothwendig, Kalk und Strontium bedeutungslos seien. Kali andererseits sei nur durch Rubidium, nicht durch Caesium vertretbar.

Für höhere Pflanzen (*Triticum*) stammt ferner noch aus dem

1) PFEFFER's Pflanzenphysiologie, I. pag. 249. Dort findet sich auch die ganze einschlägige Litteratur bis 1881 zusammengestellt.

2) A. MAYER, Lehrbuch der Agriculturchemie. 2. Aufl. Vorlesung 17.

3) C. NÄGELI, Ernährungsschemismus der niederen Pilze. Ernährung der niederen Pilze durch Mineralstoffe. Bot. Mitth. III, pag. 458.

4) WINOGRADSKY, Ueber die Wirkung äusserer Einflüsse auf die Entwicklung von *Mycoderma vini*. Arb. der St Petersburg. Naturf. Ges. XIV, 1884, Heft II, pag. 132 bis 135. Mir nur bekannt aus BORODINS' Referat im Bot. Ctrb. XX, pag. 165.

Jahre 1891 eine Arbeit von SESTINI¹⁾, die uns hier interessirt: ein Theil der Functionen des Magnesium soll vom Beryllium übernommen werden können.

1892 erwies schliesslich MOLISCH²⁾ die Nothwendigkeit des Eisens für *Aspergillus*. Dies war im Wesentlichen der Stand der Frage nach der Substituierbarkeit der metallischen Aschenbestandtheile der Pflanze, als ich mich entschloss zu untersuchen, ob vielleicht durch näheres Verfolgen dieser Vertretbarkeit ein Einblick in die noch so sehr im Dunkeln liegenden Functionen der Mineralien im Organismus zu gewinnen sei³⁾.

Die Versuche, die der folgenden Darstellung zu Grunde liegen, wurden während des Sommer-Semesters und der Herbstferien 1894 im botanischen Institut in Leipzig durchgeführt. Wenn die Frage, die ich hier behandle, auch nach vielen Seiten hin noch weiterer Förderung bedarf, so entschloss ich mich doch, wesentlich durch meinen Aufenthaltswechsel veranlasst, die folgenden Zeilen niederzuschreiben, und denke später auf denselben Gegenstand zurückzukommen, und bei dieser Gelegenheit besonders noch die Kalifrage befriedigender durchzuarbeiten.

Zunächst drängt es mich jedoch, an dieser Stelle Herrn Geheimrath PFEFFER meinen wärmsten Dank auszusprechen für die ausserordentlich vielseitige Anregung, die ich während der letzten zwei Jahre im Leipziger botanischen Institut von ihm empfangen habe.

Ich beginne mit den Erdmetallen:

NÄGELI schreibt hierüber (l. c. pag. 462): „Die einzige Versuchsreihe, die über die Vertretung der 4 genannten Elemente [Ca. Ba. Sr. Mg.] angestellt wurde, giebt aber nur im Allgemeinen Gewissheit darüber [über die Vertretbarkeit], es bleibt ungewiss, ob dieselben gleichwerthig seien, . . . u. s. f.“ Noch vorsichtiger drückt sich LOEW (pag. 482) aus: „Es ergibt sich hieraus, . . . dass jene 4 Elemente sich bei den Schimmelpilzen zu einem gewissen Grade vertreten können.“ Ferner ist es nicht uninteressant, dass LOEW⁴⁾ in einer späteren, wesentlich theoretisches Interesse bietenden Abhandlung sich nicht leicht mit der von ihm gefundenen Vertretbarkeit abzufinden

1) Le staz. agr. Ital. Bd. XX.

2) MOLISCH, Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen.

3) Zufällig beschäftigte sich Herr Prof. MOLISCH (Prag) zur selben Zeit mit ähnlichen Fragen, wie ich, und trug darüber auf der Naturforscher-Versammlung in Wien (Sept. 94) vor, wo ich auch einen kurzen Ueberblick meiner Resultate gab. — Erfreulicher Weise decken sich unsere Resultate da, wo die Fragestellung dieselbe war. (Unvertretbarkeit des Mg). Inzwischen erschien auch: MOLISCH, Die mineralische Nahrung der niederen Pilze (Unersetzbarkeit des Fe und Mg durch verwandte Elemente).

4) O. LOEW, Ueber die physiologischen Functionen der Calcium und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus. Flora 1892, S. 368.

vermag, und für *Mycoderma* mit Freuden die Ansicht WINOGRADSKY acceptirt. Da überdies der einzige hier in Rede stehende Versuch nicht gerade Vertrauen erweckender Natur ist — die Nährlösung war zu stark gesäuert, und erst nach Abstumpfen der Essigsäure für *Penicillium* verwerthbar — so stiegen mir gleich Anfangs Bedenken an seiner Beweiskraft auf. Und in der That kann ich es hier als stetes Resultat meiner zahlreichen Versuche anführen, dass in den verschiedensten Nährlösungen die Anwesenheit des Magnesiums zur Erzielung des Wachstums von *Aspergillus niger* und *Penicillium glaucum* durchaus erforderlich ist. Ca ist bedeutungslos, Ba und Sr, zumal ersteres, direct schädlich.

Nun in aller Kürze zu den Einzelheiten der Versuche: Da aus den vorhandenen Gewichtsbestimmungen und Analysen von Pilzen von vornherein klar war, dass minimale Mengen von Aschenbestandtheilen schon relativ kräftige Pilzdecken erzeugen können, so war subtilste Sauberkeit dringend geboten.

Als Culturgefäße benutzte ich meistens Glaskolben aus gewöhnlichem Thüringer Glas, das sich als ausreichend erwies, daneben auch solche aus Jenaer Normalglas. Die Gefäße wurden, nach sorgfältiger Reinigung, meist auch noch (nach dem Vorgang ABEGG's) ausgedämpft¹⁾, um zu erreichen, dass möglichst wenig von der Glassubstanz während der Versuchsdauer in die Nährlösung überging.

Die Reindarstellung der Stoffe im Einzelnen zu beschreiben, würde hier zu weit führen²⁾. Es genüge Folgendes: Die meisten Salze wurden durch wiederholtes Umkrystallisiren gereinigt. Glycerin durch Destillation, Zucker durch mehrfaches Umfällen mit Alkohol, wobei er als schönes mikrokrySTALLINISCHES Pulver ausfällt. Das Wasser wurde mit besonderer Sorgfalt in verzinntem Apparate überdestillirt.

Von organischen Stoffen wurden angewandt: Rohr- und Traubenzucker, Glycerin (hauptsächlich), Essigsäure, Weinsäure, Asparagin. Der Stickstoff bald als Ammon, bald als Nitrat. Von Salzen waren meist saures Kaliphosphat und die Erden als Sulfate oder Nitrate zugegen. Letztere hauptsächlich bei Versuchen mit Baryum, wo dann, nach dem Vorgang LOEW's, der Schwefel als Dithionsäure geboten wurde. (Diese wirkt übrigens wachstumshemmend.) Eisen als Vitriol oder Oxyd. Die Reaction war bald stärker³⁾ oder schwächer sauer, bald alkalisch, bald neutral. Die Concentration der Stoffe schwankte in weiten Grenzen.

1) cf. OSTWALD, Physico-chemische Messungen, p. 294f.

2) cf. zum Folgenden auch MOLISCH, l. c. p. 105ff.

3) LOEW (l. c. pag. 389 Anm.) sagt: „Bei der sauren Reaction der Nährlösungen für Schimmelpilze kann sich lösliches primäres Calciumphosphat bilden, aus welchem ein energisches Protoplasma wohl auch Phosphorsäure zu assimiliren vermag. Das muss aber mit der Annäherung an die neutrale Reaction immer schwieriger werden.“

Speciell sei erwähnt, dass auch die von LOEW verwandte Nährlösung versucht wurde (3 pCt. $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$; 0,1 pCt. K_2HPO_4 ; 0,04 pCt. $\text{S}_2\text{O}_6(\text{NH}_4)_2$; dazu die Chloride der Erden, in äquivalenten Mengen 0,016 pCt. MgCl_2 u. s. f.). Ich arbeitete mit Lösungen von 25—100 cc., *Aspergillus* wurde bei 20—30° C., *Penicillium* meist bei Zimmertemperatur gehalten.

Stets kamen Reinculturen in den mit Watte sorgfältig verschlossenen Kochflaschen zur Verwendung, obwohl in Kauf genommen werden musste, dass beim Erhitzen auf 100° ein geringes Uebergehen von Glas in die Lösung kaum zu vermeiden ist.

Wie nun oben schon erwähnt, war bei allen Combinationen der oben genannten Stoffe die Keimung der Sporen an die Bedingung geknüpft, dass Magnesium zugegen war. Trat ohne Magnesium eine Keimung ein, so blieb sie stets nur ganz kümmerlich und rührte offenbar von Verunreinigungen her. Ein minimales Keimen ist eventuell auch ohne Zugabe des Magnesiums, resp. auf Kosten der unendlich geringen Spuren, die in der Conidie sind, denkbar. Einen greifbaren Unterschied fand ich übrigens nicht zwischen Conidien, die auf normalen und solchen, die auf magnesiumarmen Lösungen erwachsen waren.

In dem periodischen System ist nun eine derartige Gruppierung der Elemente gegeben, dass sie allen Eigenschaften derselben, also wohl sicher auch denjenigen, vermöge deren sie in des Lebens geheimnissvolles Getriebe eingreifen, im weitesten Umfang Rechnung trägt; da nun nach diesem System das Magnesium dem Beryll, Zink und Cadmium näher steht als den Alkali-Erdmetallen, so war noch ein Versuch zu machen, mit jenen das Magnesium zu ersetzen, — ein Versuch, der ebenfalls misslang. Alle drei Elemente, zumal das letztere, waren den Pilzen im Gegentheil erheblich schädlich.

Auf einen weiteren Punkt wurde ich durch Herrn Geheimrath PFEFFER aufmerksam gemacht: NÄGELI theilte die zur vollkommenen Entwicklung der Pflanzen unentbehrlichen Stoffe in solche ein, die in die Constitution der das Leben an sich kettenden Stoffe eingehen, und in solche, die bloss durch ihre Anwesenheit — katalytisch — wirken. Nun zeigte vor Jahren RAULIN¹⁾, dass Nährlösungen durch den Zusatz gewisser Stoffe, wie Zinksalze, die an sich entbehrlich sind, einen bedeutend höheren Ertrag an Pilzsubstanz in derselben Zeit liefern. In welcher Weise solche Stoffe, zu denen vielleicht auch unentbehrliche wie das Eisen²⁾ gehören könnten, wirken, ist vorläufig vollkommen räthselhaft. Da sie aber jedenfalls dem Pilz ermöglichen, eine Nähr-

1) RAULIN, Annales des sciences naturelles. 5. sér., t. XI, pag. 190.

2) MOLISCH, Beziehungen der Pflanze zum Eisen. — Nach den Angaben RAULIN's wäre es vielleicht nicht aussichtslos, einen Ersatz des Fe durch Zn zu versuchen. — Ich selbst liess hier die Eisenfrage bei Seite und setzte stets etwas FeSO_4 , resp. Fe_2O_3 zu.

lösung in gegebener Zeit vollkommener auszunutzen, so war es denkbar, dass sie auch Stoffe, die an sich untauglich sind, zur Ernährung tauglich machten. Doch trotz Zusatzes der verschiedensten Stoffe, die hier in Betracht kommen könnten, in wechselnden Mengen, erwies sich durchweg das Magnesium als unentbehrlich. Auch Zugaben von Ca, Ba, Sr zu gleicher Zeit konnten das Magnesium nicht ersetzen.

Oben erwähnte ich die Bedeutungslosigkeit des Kalks für die Schimmelpilze. Um dem Einwand zu begegnen, dass vielleicht durch geringe Calciumspuren, so gering, dass sie nach unserer Methode nicht auszuschliessen sind, nothwendig seien, züchtete ich *Aspergillus* in Ca-freier Lösung in einer Platinschale¹⁾; als sich eine Decke gebildet hatte, wurde sie entfernt. Nach drei Tagen war wieder eine Decke vorhanden, nach deren Entfernung sich abermals eine solche bildete. Waren Spuren von Ca vorhanden, so hatte sie die erste Decke schon sicher vollkommen absorbiert. Führt man derartige Versuche noch weiter, so wird schliesslich das Wachsthum naturgemäss kümmerlicher, was einmal die Erschöpfung der Nährlösung, dann ganz besonders die Ausscheidungsproducte der früheren Decken bedingen.

Ueber meine quantitativen Versuche, die Beziehungen zwischen Deckengewicht und zugesetzter Menge des Magnesiumsalzes darzustellen, gehe ich an dieser Stelle kurz hinweg und erwähne nur das eine, dass in einer normalen, schwach sauren Glycerin-Nährlösung (100 ccm Inhalt) ein Gehalt von 0,001 pCt. $MgSO_4 + 7H_2O$ vollkommen zur Bildung einer stark mit Conidien besetzten Decke genügt, bei Zugabe von $\frac{1}{2} mg$ sich häufig schon darin, dass die Conidien bräunlich bleiben, ihre mangelnde Reife zu erkennen giebt, bei noch geringerem Mg-Gehalt unterbleibt die Sporenbildung ganz, und der *Aspergillus* präsentirt nur noch eine weisse Decke. Genaue Angaben lassen sich schwer machen. Die unseren gelten für reichliche Aussaat. Bei schwächerer Aussaat, wo der Kampf um die Magnesiummolekel wegfällt, kann natürlich die einzelne Spore mit geringeren Mengen ihren Entwicklungsgang vollkommen durchführen. Auch die Acidität der Nährlösung wirkt hier bedeutsam mit, insofern mit steigendem Säuregehalt die Conidienbildung immer weiter hinausgeschoben wird, um schliesslich ganz zu unterbleiben.

Einen weiteren Versuch führe ich unten, im Anschluss an eine genauere Besprechung der NÄGELI'schen Versuche an.

1) Eine solche Vermuthung war mit Rücksicht auf die Chlorophyllpflanzen sehr gerechtfertigt. — Bei den meisten bisherigen Versuchen mit Pilzen — WEHMER macht u. a. hiervon eine Ausnahme in seiner Oxalsäure-Arbeit — wurde $CaCl_2$ in geringer Menge zur Nährlösung zugesetzt. cf. auch AD. MAYER, Agriculturchemie, II. A. pag. 267: „Auch einige niedrige chlorophyllose Organismen scheinen des Mg nicht entrathen zu können, und ist für diese Gruppe von Organismen jedenfalls dieser Aschenbestandtheil von viel höherer Bedeutung als das Calcium . . .“

Man sieht, dass dieser Forscher der Wahrheit sehr nahe kam.

Während bei der Frage nach der Vertretbarkeit der Erdmetalle NÄGELI unentschieden gelassen hatte, welches Element das vortheilhafteste für die Pilze sei, kam er betreffs der Alkalien, auf LOEW'S Versuchen fussend, zu dem Resultat, dass eine Ersetzung des Kaliums durch Rubidium oder Caesium vortheilhaft sei — stets wurde bei dieser Ersetzung ein höheres Pilzgewicht erzielt, als wenn Kalisalze angewandt wurden. WINOGRADSKY erzielte bei Kalium und Rubidium eine „gleich prachtvolle Haut“ (BORODIN'S Ref.) von *Mycoderma*.

Es ist ausserordentlich viel schwieriger, eine Nährlösung kalifrei als etwa magnesiumfrei zu erhalten. Die grosse Verbreitung des ersten Stoffes, ferner wohl auch die nicht ganz geringe Flüchtigkeit und Leichtlöslichkeit seiner Salze mag dies zum grössten Theil bedingen. NÄGELI sah prophetischen Geistes solche Schwierigkeiten schon voraus, Schwierigkeiten, die ich selbst noch keineswegs vollkommen überwunden habe.

Da betreffs der Versuchsanstellung mutatis mutandis dasselbe gilt, wie für die Erdmetall-Versuche, so kann ich mich bezüglich meiner eigenen Resultate im Folgenden kürzer halten. Ich fand:

1. War kein Kalisalz in der Nährlösung, so fand stets eine geringe Keimung statt. Ich lasse unentschieden, ob eine solche ohne Kalium möglich ist, oder ob sie, was mir wahrscheinlicher dünkt, auf Verunreinigungen der Lösung durch Kalium bedingt ist: Schon ganz geringe Kalisalzmengen ermöglichen recht erhebliche Deckenbildung.
2. Weder Rubidium, noch Caesiumsalze können das Kalium vertreten. Die Keimung war zwar stets, besonders bei Rubidium, etwas erheblicher, als wenn Alkalimetalle der Nährlösung ganz abgingen. Ich muss die Frage offen lassen, ob dies der Wirkung der zwei Elemente zuzuschreiben ist, oder wiederum auf minimalen Kalibeimengungen zu ihren Salzen beruht. Ich versuchte, Rb und Cs durch wiederholtes Umfällen mit Alkohol von Kali zu reinigen, was bei dem Isomorphismus der Salze zweifellos sehr schwierig ist. Theils als Sulfate, theils als Nitrate, auch als saure Tartrate kamen sie zur Verwendung¹⁾.

1) Als Beispiel eines der zahlreichen Versuche führe ich folgenden an:

Rohrzucker	3 pCt.
(NH ₄)H ₂ PO ₄	0,4 „
MgSO ₄ + 7H ₂ O	0,05 „
FeSO ₄ + 7H ₂ O	0,01 „
KNO ₃	0,1 „

resp. äquivalente Mengen der anderen Alkalien. Die Nährlösung ist übrigens nicht besonders günstig, wohl weil die Phosphorsäure im Verhältniss zum Stickstoff zu reichlich vertreten ist. Sie wurde namentlich mit Rücksicht darauf ausgewählt, dass möglichst wenig Salze zur Herstellung einer completten Nährlösung in Anwendung kamen.

Wie man sieht, ist die Frage noch nicht ganz sauber durchgearbeitet. Ich hoffe in einiger Zeit Weiteres darüber berichten zu können, zumal auch die Versuche noch auf andere Organismen ausdehnen zu können, wobei dann hoffentlich auch eine Erklärung der Differenz zwischen WINOGRADSKY's und meinen Befunden sich ergeben wird. Woran es liegt, dass NÄGELI bei Rubidium und Caesium eine bessere Ernte erzielen konnte als bei Kali, ist mir schleierhaft.

An dieser Stelle mag eine kleine Auseinandersetzung über die NÄGELI-LOEW'sche Versuchsanordnung und ihre Fehlerquellen am Platze sein: Die Versuche waren durchweg keine Reinculturen; obwohl genauere Angaben fehlen, entstammte die Vegetation offenbar meist der Luftinfection. Weder über die Form und den Verschluss der Gefässe sind die Angaben irgendwie ausreichend, noch über das Material, das zur Herstellung der Nährlösung diente.

Eben so gut, wie nun Pilzkeime aus der Luft in die Nährlösungen fallen konnten, konnten es auch andere Verunreinigungen, an denen es in einem Laboratorium sicher nie fehlt. Ich erinnere nur an den Tabaksdampf! In der That erreichte ich in magnesiumfreien Nährlösungen fast durchweg ein erheblich stärkeres Wachsthum, falls die Culturkolben offen anstatt mit Watte verschlossen dastanden. Man kann jedoch aus den von LOEW angeführten Trockengewichtszahlen mit grosser Sicherheit schliessen, dass die Kalk-, Baryt- und Strontiumsalze, die er anwandte, mit Magnesium verunreinigt waren. Unverständlich ist mir nur, warum bei Zugabe von Magnesium allein ein relativ niedriges Deckengewicht erzielt wurde. (Ohne Erden: 0,026 g, mit Mg: 0,153 g, mit Mg und Ca: 0,491 g.) Ich erzielte in einer Versuchsreihe, die eine etwaige Förderung durch Kalkzusatz ergeben sollte, folgende Zahlen:

Kochflaschen mit 100 ccm Nährlösung:

3 pCt. Glycerin
 0,4 pCt. $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$
 0,2 pCt. KH_2PO_4
 0,1 pCt. $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
 0,01 pCt. FeSO_4

Flasche 1: MgSO_4 (kryst.) 0,0025 pCt.
 " 2: " " " 0,00125 "
 " 3: " " " 0,0006 "

Flasche 1¹ }
 " 2¹ } wie 1, 2, 3, nur ausserdem je 0,05 pCt. CaSO_4
 " 3¹ }

Nach 14 Tagen, innerhalb deren der *Aspergillus* bei 32° gestanden hatte, zeigten sich Flasche 1 und 1¹ beim makroskopischen Anblick mit kräftigen, schwarzen Decken besetzt, Flasche 2 und 2¹

hatten auch noch schöne, reichlich mit Conidien besäete Decken, während bei Flasche 3 und 3¹ die Conidienbildung schon zurücktrat.

Ein Unterschied zwischen kalkhaltigen und kalkfreien Versuchen war nicht zu sehen; dem entsprechend ergab die Gewichtsbestimmung der Trockensubstanz:

Flasche 1: 0,332 g	Flasche 1 ¹ : 0,351 g
„ 2: 0,422 g	„ 2 ¹ : 0,398 g
„ 3: 0,360 g	„ 3 ¹ : 0,358 g

Einmal ergibt sich hieraus, dass, wenigstens bei solcher Versuchsanwendung, eine Förderung des Pilzwachstums durch Kalkzusatz nicht eintritt; des Weiteren ist interessant, dass bei abnehmendem Magnesiumgehalt sich der Mangel an dieser Erde zunächst nicht in einer Verminderung der Pilzmasse, sondern nur der Conidienzahl fühlbar macht¹⁾.

Im Obigen mussten wir, gestützt auf unsere Resultate, die Versuche NÄGELI's als unzulänglich bezeichnen. Dies involvirte um so weniger einen Vorwurf, als gerade nach der technischen Seite hin die Wissenschaft in den 15 Jahren, die seit den Experimenten LOEW's verstrichen sind, grosse Fortschritte gemacht hat. Wer übrigens NÄGELI kennt, den wird es nicht Wunder nehmen, dass in seinen Arbeiten manchmal der experimentelle Theil nicht im richtigen Verhältniss steht zu den glänzenden theoretischen Auseinandersetzungen, aus denen auch wir unsere Fragestellung schöpften.

Im Gegensatz zu den Pilzen war bekanntermassen eine vollkommene Vertretbarkeit der Mineralbasen bei Chlorophyllpflanzen von jeher geläugnet worden. Ebenso jedoch wie durch WOLFF²⁾ die Möglichkeit einer theilweisen Vertretbarkeit des Kaliums durch Natrium in Wasserculturen erwiesen worden war, behauptete neuerdings SESTINI³⁾ eine solche Vertretbarkeit des Magnesiums durch Beryllium bei Weizenculturen, und zwar soll diese Vertretbarkeit so weit gehen, dass eine Generation ganz ohne Magnesium resp. mit dem im Samen vorhandenen Vorrath auskommen könnte. Die Samen blieben allerdings hinter denen normal ernährter Pflanzen zurück, und ihre Keimlinge gediehen

1) NÄGELI, l. c. pag. 463, schreibt: „Die in die Albuminate eingelagerten Salze sind Phosphate, und nach Analogie möchte man erwarten, dass in den Sporen vorzüglich Magnesiumphosphate enthalten seien. Aus der . . . Versuchsreihe darf man aber wohl schliessen, dass die Sporen ebensowohl das Kalksalz als das Magnesiumsalz aufnehmen können.“ — NÄGELI war offenbar hier auf der richtigen Spur und wurde durch den falchen Versuch irre geleitet.

2) cf. die Litteratur hierüber in PFEFFER's Physiologie, Bd. I, S. 258 f.

3) a. a. O., ich kenne die Arbeiten bloss aus den Referaten im Centralblatt für Agriculturchemie und in JUST's Jahresbericht.

nur noch kümmerlich. Hieraus folgert SESTINI eine „theilweise Vertretbarkeit“ des Magnesiums durch Beryllium.

Ich untersuchte diese Frage an Wasserculturen von *Triticum dicoccum*, die allerdings nicht über lange Zeit dauerten. Ausserdem waren die nasskalten August- und Septembertage dieses Jahres dem Gedeihen der Versuchspflanzen nicht eben förderlich.

Ich verwandte folgende Nährlösungen in einer Concentration von $1\frac{1}{2}$ pro Mille.

1. normal (2 Pflanzen): $\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$ 0,25
 $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,1
 KH_2PO_4 0,15
2. Mg frei: statt Mg SO_4 : Na_2SO_4 in äq. Menge.
 (2 Pflanzen)
3. statt Mg: Be; statt Mg SO_4 : Be SO_4 in äq. Menge.
 (2 Pflanzen)
4. aq. dest.
 (2 Pflanzen).

Die Culturen 3 und 4 blieben nach kurzer Zeit zurück, während 1 und 2 zunächst gleichen Schritt hielten. Erst nach ca. 5 Wochen machte sich der Mg-Mangel durch gelbliche Färbung geltend, und die Pflanzen kamen nicht mehr recht voran, während die normalen zu leidlich kräftigen Pflänzchen herangewachsen waren.

Nach 7 Wochen, wo die Versuche abgebrochen werden mussten, ergab das Trockengewicht folgende Resultate:

Normal:	0,28	}	0,32 g
	0,36		
ohne Mg:	0,16	}	0,145 g
	0,13		
Be statt Mg:	0,08	}	0,07 g
	0,06		
aq. dest.:	0,05	}	0,05 g,
	0,05		

während das Gewicht des einzelnen Samens 0,034 g betragen hatte.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass das Beryllium in einer molekularen Concentration, in der das Magnesium ernährungstüchtig ist, hemmend auf die Entwicklung der Pflanze wirkt. Dieser schädigende Einfluss macht sich sehr deutlich in der minderwerthigen Ausbildung des Wurzelsystems geltend: Die Wurzeln höherer Ordnung wachsen nicht ordentlich aus, sondern sitzen als missbildete Auswüchse an ihren Mutterachsen. Diese Wirkung, die auch von anderer Seite schon beobachtet ist, ist übrigens keine specifische des Berylls; ich beobachtete genau dasselbe bei Pflanzen, denen Strontium statt des Kalks dargeboten war.

Wenn ich hiernach auch glaube, dass SESTINI in seinen Versuchen durch Verunreinigung mit Magnesium irre geleitet worden ist¹⁾, so ist doch die Möglichkeit einer solchen „theilweisen Vertretbarkeit“, wie er sie annimmt, keinesfalls schlechterdings von der Hand zu weisen, geht aber sicherlich bei Mg und Be nicht so weit, dass eine ganze Generation ohne Mg mit Be auskommen könnte. Es ist absolut nicht einzusehen, warum nicht in solchen Leistungen, die weniger eng an vitale Functionen gekettet, mehr als formale Bedingungen des Lebens aufzufassen sind, — nahe liegt es hier, z. B. an osmotische Leistungen zu denken — z. B. die Natriummolekel für das Kalium einspringen könnten. Auch ist ja absolut sicher, dass z. B. das Natrium, wenn auch an sich entbehrlich, doch da, wo es aufgenommen wird, also wohl in jedem in der Natur vorkommenden Organismus, gemäss seinen physico-chemischen Eigenschaften lebt und webt, also andere Stoffe u. s. w. ersetzt. Eine ganz andere Frage ist es allerdings, ob eine solche Vertretung realisirbar ist, ob etwa zwei Parallelpflanzen gezüchtet werden könnten, die nur dadurch verschieden wären, dass in der einen von Alkalien nur Kali vorhanden wäre, in der andern dasselbe überall da, wo es nur auf osmotische Leistung ankommt, durch Natrium ersetzt wäre. Dies ist schon deshalb unwahrscheinlich, weil zweifellos jedes in einen Organismus aufgenommene Element im Laufe der Entwicklung, nach dem jeweiligen Bedarf, zu den verschiedensten Dienstleistungen herangezogen wird. Es wird deshalb auch wohl zweifellos der Entwicklungsgang, je nach dem vorhandenen Nährmaterial von vornherein in verschiedene Bahnen gesteuert.

Nachträglich sei hier bemerkt, dass ich bei den Pilzen stets nur den Entwicklungsgang von Conidie zu Conidie in's Auge fasste, und überhaupt die mikroskopische Beobachtung vorläufig in den Hintergrund treten liess.

Des Oefteren war von einer Giftwirkung einzelner Elemente die Rede. Ich möchte hier darauf aufmerksam machen, dass unsere Befunde gut zu einer schon mehrfach von Anderen discutirten Erscheinung passen: Wie sich herausgestellt hat, dass alle kurz gesagt physikalisch-chemischen Eigenschaften der Elemente Functionen ihres Atomgewichtes sind, so gilt dies auch, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, für ihre physiologische Wirkung: Schon SESTINI²⁾ fand, dass alle für die Pflanzen „nothwendigen“ oder „nützlichen“ Elemente ein Atomgewicht unter 56 (Fe) haben³⁾. Wir können diesen Satz heute

1) Zu bedenken ist auch, dass SESTINI mit Sand-, ich mit Wasserculturen arbeitete.

2) Landwirthschaftliche Versuchstationen. Bd. 32, 1886, pag. 197.

3) cf. u. a. ferner LOEW, Giftwirkungen, pag. 37, Anm.: „Nach BLAKE steigt die physiologische Wirkung der Metallsalze mit dem Atomgewicht des Metalls innerhalb einer isomorphen Gruppe.“

Ferner betr. der Alkalien pag. 113 ff.

vielleicht dahin erweitern: Die für den Organismus nothwendigen, in der Asche sich wiederfindenden Grundstoffe halten im Allgemeinen mit ihrem Atomgewicht eine mittlere Lage ein, Elemente mit sehr niedrigem oder sehr hohem Atomgewicht wirken giftig, indifferente Stoffe schliessen sich den unentbehrlichen an. Betrachten wir die Alkalien, so wirkt Li = 7 giftig. Für *Aspergillus* und *Penicillium* konnte ich dies deutlich constatiren. Hierauf beruht es auch, dass NÄGELI bei Ersatz des K durch Li keine Spur Schimmelbildung constatirte. Für höhere Pflanzen ist die Giftwirkung des Li schon länger bekannt¹⁾. Na = 23 indifferent, K = 39 ist nothwendig, betr. Rb = 85 und Cs = 133 kann ich für die Pilze noch wenig aussagen. Immerhin mag für die Thatsache, dass bei Cs-Zusatz stets weniger Keimung als bei Rb-Zusatz eintrat, eine schädigende Wirkung des Cs thätig gewesen sein. Für grüne Pflanzen ist das Rubidium und besonders das Caesium giftig²⁾.

Deutlicher noch treten diese Verhältnisse bei den Elementen der Mg-Gruppe hervor.

Be = 9: für Pilze³⁾ und höhere Pflanzen giftig.

Mg = 24: nothwendig.

Zn = 65, Cd = 112: giftig, besonders letzteres.

Auch für die Alkali-Erdmetalle habe ich gefunden, dass Ca = 40 indifferent, Sr = 87 schwach, Ba = 137 deutlich giftig wirkt.

Die giftige Wirkung der schweren Metalle schliesslich ist zur Genüge bekannt.

Die vorstehende Auseinandersetzung soll nichts weiter sein, als ein Versuch. Fernere Untersuchungen werden zeigen, in wie weit sie allgemein gültig sind, in wie weit sie ferner auf bekannte „chemische Eigenschaften“ der Elemente zurückzuführen sind, die in Wechselwirkung mit den übrigen, in der Nährlösung gebotenen Stoffen in die Erscheinung treten.

Ausserdem bedarf es hier noch folgender Einschränkung: Wenn hier von giftiger Wirkung schlechthin des Be, des Li gesprochen wird, so ist damit gemeint, dass sie hemmend auf die Entwicklung des Organismus wirken, wenn ihre Ionen in gleicher Menge an die Flächeneinheit des Organismus anprallen, in der das Magnesium, das Kalium günstige Ernährungserfolge erlauben.

Nun ist durch verschiedene ältere und neuere Untersuchungen erkannt, dass selbst schwere Gifte, wenn sie nur in hinreichend verdünnter Form geboten wurden, ihre Giftwirkung nicht nur einbüssen, sondern sogar eine Förderung des Wachstums bedingen. Unter anderm wäre hier zu erinnern an die Beobachtung RAULIN's³⁾, dass bei Zu-

1) cf. u. a. GAUNERSDORFFER, Versuchsstationen 34, 1887, pag. 171.

2) BIRNER und LUCANUS, Versuchsstationen, Bd. 8, 1866, pag. 128.

3) Ein starkes Gift ist Be für Pilze nicht; nur wenn einigermaßen concentrirt, tritt diese Wirkung hervor.

satz einer geringen Menge von Zinksulfat, das bekanntlich in grösseren Dosen giftig wirkt, eine sehr beträchtliche Erhöhung des Pilzgewichtes erzielt wird. Spricht man also von der „Giftwirkung“ eines Stoffes, so ist es, falls überhaupt geringere Mengen in Betracht kommen könnten, nöthig, zugleich die Concentration des betreffenden Stoffes mit anzugeben¹⁾).

Neuerdings hat ALEXANDER TSCHIRCH²⁾, wenn auch unbewusst, einen recht interessanten Beitrag zu dieser Umkehr der physiologischen Wirkung mit steigender Verdünnung gegeben: Auf der Wiener Naturforscherversammlung berichtete er über Erfahrungen mit Wasserculturen, von denen die einen normale Zusammensetzung hatten, die anderen ausserdem noch einen Zusatz von Kupferoxyd (oder Oxydul?) erhielten. Die letzteren entwickelten sich eher besser, wie die ersteren. Da nun Kupfervitriol als starkes Gift bekannt ist, folgert TSCHIRCH aus seinen Versuchen die indifferente Wirkung des Cu und erklärt die Giftwirkung des Vitriols, „vom Standpunkte des Apothekers aus“, durch die „ätzende Wirkung des Kupfersulfats“. Dem kann entgegengehalten werden, dass die Pflanze Stoffe nur in gelöster Form aufnehmen kann, folglich das Cu, was er in der Pflanze nachweisen konnte, ihre Membranen nur in Form löslicher Salze durchsetzt haben konnte. Solche Salze bilden sich naturgemäss, wenn auch nur in geringen Mengen, sobald die Nährlösung, was zweifellos der Fall war, sauer ist, indem dieser Ueberschuss freier Säureradicale sich auf die in der Lösung vorhandenen Säuren (H_2SO_4 , HNO_3 , H_3PO_4) vertheilt, und diese freien Säurereste sich mit dem CuO in's Gleichgewicht setzen. So entstehen nur geringe Mengen von CuN_3O_8 und $CuSO_4$, die von der Pflanze aufgenommen werden, aber bei der schwachen Säuerung der Nährlösung sich in so kleinen Mengen vorfinden, dass sie nicht schädlich wirken können, sich aber in geringem Masse immer wieder bilden können, da durch die Lebensthätigkeit des Wurzelsystems das Gleichgewicht der Nährlösung dauernd gestört wird. Mit einem Wort: TSCHIRCH erreicht durch seine Versuchsanordnung dasselbe, als wenn er fortwährend minime Mengen löslicher Kupfersalze zufügte. Da diese aber nur gering sind, sich ausserdem auf eine grosse Zahl einzelner Zellen vertheilen, wirken sie nicht schädlich, und wie gesagt, wäre es höchst interessant, wenn thatsächlich so geringe Mengen von Kupfersalzen eine Förderung des Wachstums bewirken sollten.

Kehren wir zum Schluss zu unseren eigenen Resultaten zurück, so sehen wir, dass für das Leben aller Pflanzen, wenigstens im Rahmen

1) Ausserdem können natürlich auch unentbehrliche Elemente in höherer Concentration giftiger wirken als entbehrliche.

2) Ob eine Publication darüber erschienen ist, weiss ich nicht. Ich citire im Folgenden aus dem Gedächtniss.

der uns bisher von der Wissenschaft an die Hand gegebenen Culturmethoden, an Mineralbestandtheilen Schwefel, Phosphor, Kalium, Magnesium, Eisen unentbehrlich und durch andere Elemente nicht ersetzbar sind. Letzteres gilt wenigstens für die Metalle, für die Metalloide liegen meines Wissens Erfahrungen nicht vor. Die grünen Pflanzen bedürfen ausserdem noch eines Elements, des Kalks, und so gewinnt nach unseren Untersuchungen die oft vertretene Behauptung, dass letzteres Element nicht in innigster Beziehung zu dem Getriebe des Lebens gehört, sondern in mehr indirecter Weise damit zusammenhängt, präcisere Fassung. Ob hier in erster Linie Neutralisirung schädlicher Säureradicale durch den Kalk, oder Betheiligung am Lösungsprocess der Stärke in Betracht kommt, ob überhaupt die Function des Kalkes in näherer oder weiterer Beziehung zum Assimilationsprocess selbst steht, das ist noch unbekannt.

Was die Function der von uns als unentbehrlich erkannten Metalle betrifft, so können wir naturgemäss, da unsere Untersuchungen bezüglich der Vertretbarkeit verneinend ausfielen, zunächst auch nur negative Resultate verzeichnen.

So fällt die Ansicht NÄGELI's, dass die Tauglichkeit von Kalium, Rubidium, Caesium im Gegensatz zu den anderen Alkalien, auf ihrer geringeren Verwandtschaft zum Wasser beruhe, als unhaltbar hinweg.

Und ebenso ist nicht einzusehen, warum das Magnesium nur als Einlagerungen in die Albuminate vorkommen und nicht auch in die Constitution der Eiweissmolekel eingehen sollte, da ohne dieses Element ein Leben überhaupt unmöglich zu sein scheint.¹⁾

12. E. Heinricher: Die Keimung von *Lathraea*.

▲ Mit Tafel XVII.

Eingegangen am 1. November 1894.

Die Keimung von *Lathraea* hat bereits mehrere Forscher beschäftigt. Schon VAUCHER²⁾ versuchte es, *Lathraea Squamaria* zur Keimung zu bringen, doch ohne Erfolg. „Les graines se conservaient en bon état, mais elles ne donnaient aucun indice de germination.“ Nicht besser ging es BOWMAN³⁾, der im Uebrigen eine für seine Zeit

1) Es liegt nahe, hier an SCHMIEDEBERG's Untersuchungen über die Proteinkörner zu denken, nach denen letztere Vitellinate des Magnesiums sind. — Ztschr. f. physiol. Chemie 1877, p. 205.

2) VAUCHER, Monographie des Orobanches, 1827. (Mémoire du Muséum d'hist. nat. Tome X, 1823, p. 261).

3) On the parasitical connection of *Lathraea Squamaria* and the peculiar structure of its subterranean leaves. Transactions of the Linnean Society, Vol. XVI, p. 400.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: [12](#)

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

Artikel/Article: [Ein Beitrag zur mineralischen Nahrung der Pflanzen 1105-1117](#)