Ueber die physiologischen Functionen der Calcium- und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus.

Von

O. Loew,

Privatdocent an der Universität München.

Die Frage, warum Calcium- und Magnesiumsalze bei physiologischen Functionen in den grünen Pflanzen einander nicht ersetzen können, bietet unstreitig ein hohes Interesse dar. Die Beobachtungen verschiedener Forscher stellten ausser Zweifel, dass beide Klassen von Salzen absolut nöthig sind, aber ganz verschiedenen Functionen dienen. Während Calciumsalze vorzugsweise in den Blättern Verwendung finden, folgen die Magnesiumsalze mehr dem Samen und begleiten die Eiweissstoffe. Diese auffallende Thatsache sollte geeignet sein, uns auf die Fährte zur Lösung jenes Räthsels zu führen.

Betrachten wir zunächst einige Beispiele, welche diese Verhältnisse beleuchten. Die Gramineen sind hiezu besonders gut geeignet, weil die meisten derselben weder oxalsauren Kalk noch andere unlösliche Kalksalze in den Zellen ausscheiden.

	In 100 Thl. Asche sind enthalten Procente:	
	Magnesia	Kalk
Gerstenkörner[1]	8,29	2,48
Haferkörner[2]	7,70	3,70
Weizenkörner[3]	11,75	3,30
Maiskörner[4]	13,60	0,57
Roggenkleie[5]	15,82	3,47
Gerstenstroh[1]	2,97	7,28
Haferstroh[6]	4,58	7,29
Weizenstroh[7]	1,69	6,93
Maisstroh[8]	1,84	5,35
Roggenstroh[9]	2,41	9,06

1) Analyse von Way und Ogston; mittlerer Gehalt. — 2) Boussingault. 3) Bibra. — 4) Way und Ogston. — 5) Weber. — 6) Levi. — 7) Will und Fresenius. — 8) Weber. — 9) Hrushauer. Diese und die folgenden Angaben sind Liebigs Werk: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie, 7. Aufl., Thl. I, entnommen.

Universitätsbibliothek Regensburg

urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0372-4

Nimmt man die Durchschnittszahlen und rechnet zur Ermöglichung eines richtigeren Vergleichs die Gewichtstheile in Molecule um, so findet man in den Gramineensamen[1]) auf 100 Mol. Magnesia nur 17 Mol. Kalk, in den Blättern aber auf 100 Mol. Magnesia volle 224 Mol. Kalk!

Die Samen von *Phaseolus vulgaris* gaben Way und Ogston eine Asche mit 6,53% Magnesia auf 8,65% Kalk, die Blätter aber eine mit 4,38% Magnesia auf 21,26% Kalk, also auf die gleiche Menge Magnesia wie in den Samen bezogen fast vier Mal so viel Kalk in den Blättern. Bei den ölreichen Samen von *Brassica Napus* fand Bär fast gleiche Mengen Kalk und Magnesia, im Stroh dieser Pflanze aber sieben Mal so viel Kalk als Magnesia.

Der Gehalt der Blätter an Kalk ist auch gegenüber dem der Wurzeln und Knollen relativ weit bedeutender als der an Magnesia. In der Asche des Krautes von *Daucus carota* wurde von Way und Ogston, das Gewichtsverhältniss zwischen Magnesia und Kalk wie 1 : 14, in der Wurzel aber wie 1 : 2,5 befunden. Im Kartoffelkraut fanden sie das Verhältniss wie 1 : 6,1, in den Knollen wie 1 : 0,6. Auch bei Blüthen ist der Kalkgehalt geringer; jene Analytiker fanden z. B. in der Hopfenblüthe auf 4,80 Theile Magnesia 9,59 Theile Kalk, in den Blättern aber auf 4,84 Theile Magnesia 30,78 Theile Kalk.

Die relative Zunahme der Magnesia im Samen tritt in besonders hohem Grade beim Vergleiche mit dem Holze hervor. Wittstein fand (l. c.) im Samen von *Abies pectinata* nur 1,54 Theile Kalk auf 16,79 Theile Magnesia, Böttinger im Samen von *Pinus sylvestris* auf 1,86 Theile Kalk 15,09 Theile Magnesia, während das Holz von *Pinus sylvestris* 31,74 Theile Kalk auf 19,76 Theile Magnesia enthielt. Im Holze von *Abies pectinata* fand ein anderer Autor (l. c.) auf 33,04 Theile Kalk nur 7,17 Theile Magnesia.

Vor kurzem hat R. Weber einen sehr lehrreichen Beitrag dazu geliefert, dass Magnesiumsalze bei der Samenbildung der Bäume in bedeutendem Maasse aus dem Holze herangezogen werden.[2]) Ein 150 Jahre alter Stamm einer Rothbuche, welcher reichlich Samen getragen hatte, wurde bezüglich der Aschebestandtheile (und des Stickstoffs) mit einem andern gleich grossen Stamm verglichen, welcher

1) In manchen Weizensorten ist die Menge des phosphorsauren Magnesia zehnmal grösser als die des phosphorsauren Kalks (Liebig, Chem. Briefe 4. Aufl. II. S. 291).

2) Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift I, 13.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0373-0

nahebei zwei Jahre vor dem Samenjahr gefällt worden war. Die Holzproben wurden in Zonen von je 30 Jahresringen separat untersucht. Aus den analytischen Tabellen heben wir folgende Zahlen hervor:

	Procente in der Asche im Stamme der Samenbuche		der Controlbuche	
	CaO	MgO	CaO	MgO
Rinde	85,05	2,60	82,10	3,65
Zone I	33,92	**12,65**	27,69	**29,25**
Zone II	34,13	**11,95**	31,52	**26,72**
Zone III	35,98	**12,15**	33,55	**20,89**
Zone IV	33,36	13,36	27,59	19,02
Kernholz Zone V . .			31,21	11,00

Während sich also bei der Samenbuche in Bezug auf Kernholz und Rinde keine sehr grossen Unterschiede gegenüber der Controlbuche ergeben, ist die Abnahme des Magnesiagehaltes bei den ersten beiden peripherischen Zonen der Samenbuche höchst auffallend; der Magnesiagehalt beträgt weniger als die Hälfte vom Magnesiagehalt der gleichen Zonen der Controlbuche. Für den Stickstoffgehalt ergab sich eine ähnliche Erscheinung, ebenso für die Phosphorsäure des Splintholzes der letzten 30 Jahre.

Cultivirt man Pflanzen bei Ausschluss von Calciumsalzen, so stellen sich bald auffallende Störungen in der Entwickelung ein, die allmählich den Tod nach sich ziehen. Stohmann[1]) cultivirte Maiskeimlinge fünf Wochen lang in kalkfreier Nährlösung, wobei die Vegetation bald zu einem Stillstand kam. Als er nun einen Zusatz von Calciumnitrat gab, drangen schon nach fünf Stunden aus den welk gewordenen Spitzen frische grüne Triebe hervor, die sich in den nächsten Tagen zu Blättern und Stielen entwickelten.

Böhm[2]) fand, dass eine Stockung der Stärkeleitung stattfindet, wenn den Keimpflanzen keine Kalksalze zugeführt werden. Nur Chlorcalcium hielt den Tod der Pflanzen nicht auf, ebensowenig konnte der krankhafte Zustand durch Magnesiumsalze beseitigt werden, ja kohlensaure Magnesia wirkte geradezu schädlich. Böhm arbeitete mit Feuerbohnen *(Phaseolus multiflorus)*. Während bei Zufuhr von Kalksalzen bei (im Dunkeln erwachsenen) Pflanzen die oberen Theilen der Stengel mit Stärke erfüllt waren, blieb bei Kalkausschluss die Stärke in den Mark- und Rindenzellen des unteren Stengeltheils.

1) Annal. Chem. Pharm. Bd. 121.
2) Wien. Akad. Ber. Bd. 71 (1875).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0374-6

Die Untersuchungen von E. v. Raumer und Kellermann bestätigten die Ergebnisse Böhms; ihre Beobachtungen an Feuerbohnen (sowohl Dunkel- wie Hellculturen) führten sie zum Schlusse, dass die Functionen der Kalksalze im engsten Zusammenhange mit der Verarbeitung der Kohlehydrate stehen. Die in kalkfreier Nährlösung gezogenen Pflanzen blieben bald im Wachsthum hinter den Normalpflanzen zurück und fingen nach längerem Stillstand an, oben abzusterben, was sich sehr langsam nach unten fortsetzte. In einzelnen Fällen fing das Absterben der Blätter unten an, was nun die Entwickelung eines neuen Blattes oben bedingte. Der Kalk, der festgelegt war, wurde theilweise wieder löslich, transportabel und führte nun zu neuer Zellbildung.[1])

Heiden fand,[2]) dass Mais und Erbse ohne Kalkzufuhr nur einen Monat lebten und 18,9 resp. 21 cm Höhe erreichten. Ohne Magnesiazufuhr lebten sie wesentlich länger, Mais $2^1/_2$—3 Monate, Erbsen 2 Monate, und die erreichte Höhe betrug 44 resp. 30 cm. Ohne Stickstoffsalze oder ohne Kaliumsalze oder ohne Phosphate betrug die Lebensdauer 2—3 Monate. Mangel an Kalksalzen macht sich also für die Pflanzen viel eher fühlbar, als der Mangel an anderen nothwendigen Verbindungen.

Schimper züchtete *Tradescantia Selloi* in kalkfreier Lösung und erhielt „kalkfreie" Blätter, welche sich ausser durch grösseren Stärkereichthum in gar nichts von normalen unterschieden.[3]) Die Seitenknospen aber gingen hier stets bald zu Grunde. In kali- oder magnesiafreien Lösungen dagegen gingen umgekehrt die Blätter bald zu Grunde, während die Knospen lange am Leben blieben. Kalksalze sind nach Schimper zwar unbedingt nöthig, aber „nur ausserhalb der Urmeristeme und in den grünen Theilen". Er bekämpft die Schlussfolgerung Böhms, dass Kalksalze beim Stärketransport eine Rolle spielen und glaubt diese Folgerung dadurch widerlegt zu haben, dass er nachwies, dass der entstandene Zucker bei seiner „Wanderung" nicht an Kalk gebunden ist. Das Letztere konnte man allerdings voraussehen; denn Zuckerkalk ist eine schon durch Kohlensäure sehr leicht zersetzbare Verbindung und bei der stetigen Athmungsthätigkeit der Zellen darf daher schon an die Entstehung von Zuckerkalk gar nicht gedacht werden. Der Stärketransport ist allerdings nur in Form

1) Es ist der Fall denkbar, dass die sämmtliche verfügbare Kalkmenge im Organbau verbraucht wird und im Zellsaft sich Calciumsalze nicht mehr nachweisen lassen.

2) Centralbl. f. Agriculturchem. 17, 622. Jahresber. f. Agriculturchem. 1888.

3) Flora 1889 S. 246.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0375-2

von Glucose möglich, allein damit die Stärke verzuckert wird, sind eben gewisse Bedingungen erforderlich, z. B. die Bildung der Diastase, und hier ist es, wo eine wenn auch indirecte Function von Kalksalzen zu suchen ist.

Das Vorhandensein von Diastase in den Blattzellen wurde zwar in neuerer Zeit angezweifelt, allein wenn man in getödteten Blättern keine Lösung und Verzuckerung von Stärke mehr beobachtet, so darf man daraus noch nicht auf das gänzliche Fehlen der Diastase schliessen. Wahrscheinlich ist ihre Menge in der Zeiteinheit nur äusserst gering und sie kann desshalb nur unter dem Einflusse des lebenden Plasmas stehend bedeutende Leistungen ausüben, ebenso wie Wärme ihre Wirkung bedeutend erhöht. Eine Mitwirkung des Plasmas erhellt auch daraus, dass statt Maltose und Dextrin Glucose entsteht. Dem Schlusse Wortmanns (Bot. Zeitg. 48. Jahrg. S. 581), das lebende Plasma besorge in vielen Fällen allein die Lösung der Stärke, kann ich nicht zustimmen. Das Einwirken eines gelösten Agens auf das Stärkekorn ist unbedingt erforderlich und wird auch durch die Beobachtungen Krabbes wahrscheinlich. Möglicherweise werden die Diastasespuren beim Absterben der Zellen mit verändert oder vom Plasma festgehalten.[1])

Verzuckerung der Stärke und Leitung der erzeugten Glucose sind zwei verschiedene Vorgänge, welche aus einander gehalten werden müssen. Schimper beobachtete wie Böhm Stärkeanschoppungen bei Kalkmangel, allein nach seiner Meinung liegt hier nur eine „secundäre pathologische Erscheinung“ vor.[2]) Er betont, dass „auch ältere Blätter,

1) Nachdem dieses niedergeschrieben war, kam ich in Besitz der Habilitationsschrift des Herrn C. Correns, worin (S. 143) die Möglichkeit dieses Einwurfes ebenfalls zugegeben wird. Dass zwischen der chemischen Natur der Enzyme und derjenigen des lebenden Plasmas eine innige Beziehung bestehen dürfte, wurde schon des öfteren sowohl von M. Nencki als von mir betont. Mehr als das Verhalten gegen verdünnte Säuren und Alkalien spricht für den innigen Zusammenhang das Verhalten gegen verdünnten Formaldehyd, welcher selbst in ganz neutraler Lösung Enzyme sowohl wie Plasma tödtet. Hier kommt die gleiche wirksame Atomgruppe in Betracht, welche angegriffen wird. Vgl. J. pract. Chem. 1887 S. 287 (Loew und Bokorny) und Ibid. 1888 S. 104 (Loew), ferner Jahresb. f. Thierchemie 18, 272.

2) Schimper theilt eine Beobachtung Déherains mit, dass höhere Temperatur dem Effekte des Kalkmangels entgegenwirke. Hiezu muss ich bemerken, dass bei Spirogyren dieses nicht zutrifft, im Gegentheil, der Tod erfolgt bei Kalkmangel rascher bei höherer Temperatur (24—28°). Wahrscheinlich handelt es sich bei der Beobachtung Déherains (deren Publikation ich nicht auffinden konnte) um ein Löslichwerden schwerlöslicher Salze, wodurch jüngere Organe mit Kalk aus älteren Organen versorgt werden konnten.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0376-7

welche von Stärke strotzen, bei Kalkmangel zu Grunde gehen" und hat damit meiner Ueberzeugung nach Böhms Ansicht nicht widerlegt, sondern bestätigt. Denn wenn die Zuckerbildung aus Stärke unterbleibt, so kann der Athmungsvorgang nicht unterhalten werden, es leiden Bildung von Cellulose und Eiweissstoffen, die Ernährung und damit die Functionen des Zellkernes, die wichtigsten physiologischen Vorgänge müssen bald zu einem Ende kommen, das durch einen Fettgehalt nur etwas hinausgeschoben aber nicht vermieden werden kann. Es könnte also unter gewissen Umständen selbst bei Reichthum an Stärkemehl der Hungertod von Zellen eintreten.

Was nun die Folgerung Schimpers betrifft, man könne kalkfreie Blätter erhalten, so steht dieselbe mit den Erfahrungen anderer Forscher im Widerspruche, ja sogar mit seinen eigenen; denn an einer anderen Stelle sagt er, Kalksalze seien für die grünen Theile unbedingt nöthig. Wahrscheinlich handelte es sich bei einem Versuche Schimpers um sehr kalkarme Blätter, deren Kalkgehalt übersehen werden konnte. Ich züchtete 10 cm lange Zweige von *Tradescantia repens* ebenfalls in kalkfreier Nährlösung, wobei sich nach einiger Zeit zwei neue Blätter entwickelten und aus dem untersten Knoten Würzelchen hervorbrachen. Das jüngste Blatt wurde nun eingeäschert und die Asche mit etwas Schwefelsäure auf dem Objectträger behandelt. Die bald entstehenden Gipsnadeln liessen keinen Zweifel über den Kalkgehalt der Blätter. Derselbe war aus anderen Theilen der Pflanze zugeströmt. Eine Untersuchung der Knoten ergab, dass diese nicht nur oxalsauren Kalk enthielten. Als ich 80 Knoten jener Species nach dem Zerdrücken mit 50 ccm Wasser auskochte, gab das Filtrat starke Reactionen auf Sulfate, Nitrate, Calciumsalze und nach dem Ausfällen des Kalks auch noch ziemlich starke Reaction auf Magnesia mit Dinatriumphosphat und Ammoniak.[1])

Schimper sucht den grossen Nutzen der Calciumsalze ausschliesslich darin, dass sie die in den Pflanzen häufig entstehende Oxalsäure in den unlöslichen Zustand überführen. Oxalsäure wirkt nach Schimper selbst in der Form der neutralen Salze giftig auf höher stehende Pflanzen.[2]) Dass hier also Calciumsalze werthvolle

1) Möglicherweise functioniren die Knoten als Speicherungsorgane.

2) Ich überzeugte mich von der Richtigkeit dieser Beobachtung. Blätter von *Elodea canadensis* und *Vallisneria spiralis* hatten z. B. nach 36 Stunden in einer 1procentigen Lösung von neutralem oxalsaurem Kali ihren Turgor gänzlich eingebüsst, während sie in ebenso starken Lösungen von neutralem schwefelsaurem oder weinsaurem Kali völlig intact geblieben waren.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0377-3

Dienste leisten, ist nicht zu bestreiten; allein es wäre entschieden unrichtig, darauf die ganze physiologische Function desselben zurückführen zu wollen. Zudem war noch die Frage zu prüfen, ob auch niederstehende Pflanzen empfindlich gegen neutrale oxalsaure Salze sind. Dass Pilze *(Penicillium, Saccharomyces)* dieselben vertragen ist eine alte Erfahrung und ich habe mich davon ebenfalls vor mehr als 10 Jahren überzeugt.[1] Bei Algen aber war das noch zweifelhaft; denn häufig erweisen diese sich resistenzfähiger als Phanerogamen. Chlornatrium z. B. beeinträchtigt schon bei einem Gehalte von 0,5% in der Nährlösung die Assimilationsthätigkeit der Maispflanze (Schimper) und Jodkalium ist für Phanerogamen ein starkes Gift. Beide Salze werden aber in 0,5procentigen Lösungen von Algenarten *(Spirogyra, Vaucheria)* längere Zeit ohne Schaden ertragen. Erst nach 5—6 Wochen beobachtete ich bei den unter dem Einflusse von Jodkalium stehenden Spirogyren ein Schmälerwerden der Chlorophyllbänder. Bei Chlornatrium aber wurde nach dieser Zeit kein schädlicher Einfluss bemerkt, auch die Assimilationsthätigkeit war nicht geschwächt, wenn noch Spuren der nöthigsten Nährsalze zugesetzt wurden.[2]

Ein anderes Beispiel wird durch das Verhalten der Algen gegen Borsäure geliefert, welche nach Hotter bei 10 milligr. pro Liter Nährlösung auf *Zea* und *Pisum* schädlich wirkt[3] und selbst in Form von Borax noch bei 1‰ erwachsene Maispflanzen in 20 Tagen tödtet.

Dagegen konnte ich bei Algen *(Spirogyra, Vaucheria)* selbst nach vielen Wochen keinen schädlichen Einfluss bemerken, wenn dem Culturwasser noch 0,2‰ Borsäure zugesetzt wurde. Demgemäss erwartete ich auch eine grössere Resistenz der Algen neutralen Oxalaten gegenüber. Zu meiner Ueberraschung aber erwiesen sich diese Salze bei nicht allzugrosser Verdünnung auch hier giftig! Der Unterschied im Verhalten von Pilzen und Algen ist in dieser Beziehung somit höchst auffallend und lässt vermuthen, dass derselbe durch die Chlorophyllkörper bedingt wird. In der That gewahrt man bei *Spirogyra majuscula,* dass derselbe unter dem Einflusse neutralen Kaliumoxalats[4] (2procentige Lösung) bald verquillt, schon nach

---

1) Die Gährthätigkeit der Bierhefe wird z. B. nicht im Mindesten geschädigt bei Zusatz von 4% neutralen Kaliumoxalats zur gährenden Flüssigkeit.

2) In neuerer Zeit hat auch Richter ähnliche Beobachtungen gemacht (Flora 1892 S. 54).

3) Landwirth. Versuchsstation 37, 437.

4) Sollte das käufliche Oxalat schwach alkalisch reagiren, so ist die Lösung mit äusserst verdünnter Oxalsäure genau zu neutralisiren.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0378-9

30—40 Minuten, dass aber schon vorher, nach ca. fünf Minuten der Einwirkung, der Kern eine Contraction erfährt, was eine Einschnürung des Cytoplasmas an den Anheftestellen der Plasmastränge in vielen Zellen im Gefolge hat. *Spirogyra Weberi* und *Spirogyra majuscula*, welche 10 Minuten in einer 2procentigen Oxalatlösung verweilt und trotz Verletzung des Kernes noch ihren vollen Turgor bewahrt hatten, erholten sich beim Einsetzen in kalkreiches Quellwasser nicht wieder, nach 24 Stunden waren die Zellen total abgestorben. Schon fünf Minuten Aufenthalt tödtete die meisten Zellen! In einer 0,5procentigen Lösung schrumpft in der Regel der Kern nicht zu einem Faden zusammen, sondern quillt erst nach längerer Zeit zu einer Kugel auf, um schliesslich öfters zu einem unregelmässigen zackigen Gebilde zu werden. In einer 0,1procentigen Lösung geht aber die Giftwirkung auf Spirogyren bereits so langsam vor sich, dass die Zellen erst nach einer Reihe von Tagen in allen Theilen abgestorben sind.[1])

Bei anderen Algenspecies, wie *Vaucheria, Mougeotia, Zygnema, Cosmarium, Oedogonium, Cladophora, Sphaeroplea*, habe ich beobachtet, dass sie in einer 0,5 proc. Lösung nach 24 Stunden unter Verquellung der Chlorophyllkörper abgestorben waren. Bei Diatomeen beobachtete ich nach 15 Stunden Aufenthalt in 0,5 proc. Lösung keine Bewegungen mehr, wohl aber in einer 0,05 procentigen noch bei einzelnen Diatomeen nach drei Tagen.

Der Zellkern der Zwiebel contrahirt sich unter dem Einflusse einer 2procentigen Lösung von neutralem Kaliumoxalat nach 10—15 Minuten um etwa $^1/_5$ seines Durchmessers, wird trübe und verliert allmählich seine scharfen Conturen.

Lässt man weinsaures oder schwefelsaures Kali auf die erwähnten Objecte wirken, so gewahrt man keine derartigen Erscheinungen. Es ist also richtig, dass überall da, wo in den Pflanzenzellen Oxalsäure producirt wird, lösliche Kalksalze eine wichtige Rolle spielen, indem sie diese Säure resp. ihre löslichen Salze in unlösliches Calciumoxalat überführen. Freilich existiren eine Anzahl Beispiele, welche zeigen, dass lösliche — sogar saure — Oxalate in den Pflanzen existiren, ohne Schaden anzurichten — man denke an Rumex und Oxalis —, allein hier sind diese giftigen Körper im Zellsaft und werden vom Tonoplasten abgehalten, zum Zellkern und den Chlorophyllkörpern vorzudringen. Da aber die Oxalsäure im Cytoplasma

1) Eine so rasche Abnahme der Giftigkeit ist aber bei der freien Oxalsäure nicht zu beobachten (siehe unten).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0379-7

— vielleicht auch öfters im Zellkern[1]) — entsteht, so muss eine Kraft existiren, welche dieses Gift sofort in die Vacuole schafft — wenn lösliche Calciumsalze nicht zugegen sind.[2]) — Dass das Cytoplasma nicht direct durch Oxalate angegriffen wird, sondern erst infolge des Todes des Kernes und der Chlorophyllkörper stirbt, scheint mir auch daraus hervorzugehen, dass viele Stunden lang die lebhafte Strömung im Plasma der Wurzelhaare von *Chara* unter dem Einflusse einer 0,2 procentigen Lösung neutralen Kaliumoxalats fortdauert.

Worin liegt nun der Grund dieser auffallenden giftigen Wirkung? Nach dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft ist wohl die plausibelste Erklärung die, dass Calciumverbindungen eine wichtige Rolle beim Aufbau jener Organoide spielen.[3]) Wird durch das Eindringen des Oxalats das Calcium durch Ueberführung in oxalsauren Kalk der lebenden Materie entrissen, so ändert sich das Quellungsvermögen und die damit herbeigeführte Strukturstörung bedingt auch die Umlagerung aus dem activen in den passiven Zustand. Von der Oxalsäure kennen wir keine andere so charakteristische Eigenschaft als die, den Kalk aus allen Verbindungen unlöslich abzuscheiden. Schwefelsaure oder weinsaure Salze fällen dem gegenüber den Kalk erst aus relativ concentrirten Lösungen und weit langsamer. — Der Einwand, das oxalsaure Kali werde gespalten und die freie Oxalsäure wirke eben wie jede Säure schädlich auf das Plasma, ist nicht stichhaltig, denn sonst müsste ja weinsaures Kali ebenso wirken.

Unter diesem Gesichtspunkt wird es begreiflich, warum Calciumsalze auch solchen Pflanzen nöthig sind, welche keine Oxalsäure erzeugen; sie müssen hier einen anderen Zweck haben, als den von Schimper betonten. Dieser Forscher meint allerdings, dass in den Fällen, in denen Oxalate mangeln,[4]) stets andere Salze, wie z. B. weinsaure, erzeugt werden, welche ebenfalls schädlich wirken möchten und durch Umsetzung mit Kalksalzen unwirksam gemacht werden. Auch wird die Vermuthung ausgesprochen, dass bei Wasserpflanzen die löslichen Oxalate leicht herausdiosmiren könnten. Ersteres ist

1) Vgl. O. Loew, Biol. Centralbl. XI, 277.

2) Ein schönes Beispiel, welches zeigt, wie gelöste Stoffe von der lebenden Vacuolenwand abgehalten werden wieder in das Cytoplasma einzudringen, hat H. Molisch mitgetheilt (Botan. Zeitg. 1889 Nr. 2).

3) Das Vorkommen von Calciumsalzen — meist $CaCO_3$ — in vielen Zellmembranen dürfte wohl wichtigere physiologische Beziehungen nicht haben.

4) Oxalatfrei sind bekanntlich die meisten Grasarten, Selaginellaarten, Farne, Moose, Equiseteen (vgl. Kohls Werk über Kalksalze und Kieselsäure in den Pflanzen).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0380-8

indessen nur für einzelne Fälle richtig und letzteres wurde — was Algen betrifft — von Migula widerlegt.

Kleinere Spirogyraarten bilden gewöhnlich keine Oxalsäure, welche bei Züchtung in kalkreichem Wasser doch als Calciumoxalat sichtbar werden müsste; grössere Arten trifft man aber öfters mit einigen kreuzförmig gestellten Nadeln von Calciumoxalat. Unter gewissen Umständen aber können sie grössere Mengen von Oxalsäure erzeugen,[1]) nach Migula[2]) besonders bei Aufenthalt in äusserst verdünnten Lösungen organischer Säuren. Ist hiebei nun Kalk ausgeschlossen, so häufen sich lösliche Oxalate an, so dass die Algenzellen nachher beim Einsetzen in kalkreiches Wasser binnen wenigen Stunden grössere Mengen Calciumoxalat in Form kreuzförmiger Krystalle des quadratischen Systems im Innern abscheiden.[3]) Die löslichen Oxalate diosmiren also keineswegs rasch aus dem Zellsaft heraus, wohl aber dringen sie sehr leicht von aussen in das Cytoplasma ein und durch die Plasmastränge bis zum Kern vor, wie die beschriebenen Giftwirkungen erkennen lassen.

Bei geringem Säuregehalt der Culturflüssigkeit wird zuerst die Zelltheilung eingestellt, dann nehmen Assimilationsthätigkeit und Eiweissbildung ab. Waren bei Säurezusatz Calciumsalze ferngehalten, so gehen die Algen viel eher zu Grunde, als im blossen Wasser ohne Kalksalze oder als in Säurelösungen mit Kalksalzen (Migula l. c.).

Wenn nun eine protoplasmatische Calciumverbindung wesentlich für den Chlorophyllkörper ist,[4]) so muss mit der Zahl dieser Organoide auch der Calciumgehalt der Blätter steigen, was die eingangs hervorgehobenen Verhältnisse am einfachsten erklärt. Da am Albinismus

1) O. Loew, Biolog. Centralbl. XI, 278.

2) Migula, Ueber den Einfluss stark verdünnter Säuren auf Algenzellen. Breslau 1888.

3) Oxalsäure kann auf mehrerlei Weise in den Pflanzen erzeugt werden: in erster Linie durch einen unvollkommenen Athmungsprocess. Die interessanten Studien Migulas lassen hierüber gar keinen Zweifel, sie lehren uns auch, dass hydroxylirte Säuren (Weinsäure, Citronensäure etc.) der Oxalsäureproduction günstiger sind als nicht hydroxylirte, wie Essigsäure. — In zweiter Linie kann Oxalsäure auch entstehen bei der Verarbeitung von Nitraten und Sulfaten im Eiweissbildungsprocess, wobei der Sauerstoff dieser Säuren auf den Zucker geworfen wird. — Niemand hat behauptet, dass hier stets Oxalsäure entstehen müsse und es sind desshalb auch die hochtrabenden Bemerkungen Wehmers (Bot. Ztg. 1891) völlig gegenstandslos.

4) Wenn man bedenkt, dass die Moleculargewichte der Proteinstoffe sehr gross, das Atomgewicht des Calciums aber nur gering ist, so wird klar, dass das einem Chlorophyllkorn nöthige Minimum von Kalk relativ sehr gering ist und es wird begreiflich, dass man bei Behandlung mit löslichen Oxalaten keine Krystalle von Calciumoxalat im Chlorophyllkorn zu sehen bekommt.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0381-4

leidende Blätter nach Zimmermann oft wenig ausgebildete Leukoplasten haben — verglichen mit den Chlorophyllkörpern gesunder Blätter —, so liesse sich bei jenen auch ein geringerer Kalkgehalt erwarten. Aus den von Church mitgetheilten Untersuchungen über albicate Blätter von *Quercus rubra*[1]) ergab sich in der That ein bedeutender Unterschied: die weissen Blätter enthielten bei 100° getrocknet 0,687% Kalk, die grünen 0,928%; allein eine weitere Folgerung kann daraus desshalb nicht gezogen werden, weil der Gehalt an oxalsaurem Kalk nicht bestimmt wurde.

Vergleicht man die Wirkung freier Oxalsäure mit den anderen organischen Säuren, so stellt sich auch hier ein auffallender Unterschied bei den Absterbesymptomen heraus. Migula (l. c.) beobachtete bei *Spirogyra orbicularis*, dass Oxalsäure am giftigsten von allen organischen Säuren wirkt, womit auch meine eigenen Beobachtungen übereinstimmen; der Kern schwillt unter dem Einflusse der Oxalsäure (0,004 procentige Lösung) oft kugelig an, manchmal bis aufs Sechsfache seines ursprünglichen Volums, und wird undurchsichtig. Das Cytoplasma kann dann zwar noch einige Zeit am Leben bleiben, die Zellen erholen sich jedoch in frischem Wasser nicht wieder (Migula). „In stärkeren Oxalsäurelösungen sterben die Zellen in der Regel in kurzer Zeit, ohne diese charakteristische Wirkung der Oxalsäure zu zeigen". — Meiner Ansicht nach liegt hier doch ebenfalls ein deutlicher Fingerzeig dafür vor, dass im Kerne Kalkverbindungen eine wichtige Rolle spielen. Die Vermuthung, dass eine Calciumverbindung des activen Nucleins die Gerüstsubstanz des Kerns[2]) bildet, dürfte wohl einige Berechtigung besitzen.

Ich beobachtete, dass nach fünf Tagen Aufenthalt von einigen Fäden der *Spirogyra majuscula* in 500 ccm einer Lösung von 0,0001% freier Oxalsäure[3]) in den meisten Zellen eine bedeutende Schädigung eingetreten war; die Plasmastränge waren eingezogen, der Kern war

1) Chem. Soc. Journ. Bd. 35, Bd. 37, Bd. 49.

2) Der Kern muss eine gewisse Festigkeit besitzen, wenn er der Träger des Idioplasmas sein soll, wie schon Nägeli hervorhob. Wird der Kalk durch Oxalsäure entzogen, so wird das Quellungsvermögen grösser, falls das Leben des Kernes nicht sofort erlischt. Dass die Kalkverbindung des Nucleins sehr schwer löslich ist, geht aus einer Mittheilung Kossels hervor (Untersuchungen über die Nucleine S. 7).

3) Es wurde das reinste destillirte Wasser verwendet, von dem ein Controlversuch die Unschädlichkeit für die Algen ergeben hatte. Oft wirkt destillirtes Wasser wegen Spuren von gelösten Metalloxyden giftig. Migula nahm bei seinen Versuchen meist Breslauer Leitungswasser.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0382-0

geschrumpft und lag an der Seite, die gezackten Ränder der Chlorophyllkörper waren verquollen und häufig zahlreiche Tröpfchen sichtbar geworden.[1]) Dabei hatten die Zellen meist noch Turgor, das Cytoplasma war noch am Leben und unbeschädigt, Anilinfarben liessen es ungefärbt und Coffeinlösung brachte im Cytoplasma und Zellsaft noch eine starke Aggregation des activen Proteins hervor. In einer 0,01 procentigen Oxalsäurelösung sind schon nach 12 Stunden viele Zellen derselben Alge abgestorben. Bei Zellen mit noch nicht contrahirtem Plasmaschlauch sieht man auch hier Chlorophyllkörper und Zellkern deformirt, oft den letzteren wie mit einer stark gequollenen Schichte umgeben.

Gehört nun eine Calciumverbindung eines Proteinstoffes, wie Nuclein, zur Constitution des Zellkernes und der Chloroplasten, so wird die Abhängigkeit des Stärketransports von der Gegenwart von Kalksalzen auch einigermaassen begreiflich.[2]) Zwei verschiedene Ursachen, einzeln oder zusammen wirkend, können hier von Einfluss sein. Entweder es fehlt an Diastase zur Verzuckerung der Stärke oder es fehlt an der Bildung einer normalen Anzahl von Leukoplasten oder Chlorophyllkörpern behufs Rückverwandlung des gebildeten Zuckers in Stärkemehl an den Stellen, wohin das letztere transportirt werden soll.

Da B. Hofer an Amöben nachgewiesen hat,[3]) dass der Kern

1) Sehr verschieden verhält sich Weinsäure, welche wie die Oxalsäure zweibasisch ist. In einer Lösung von 0,001% Weinsäure in destillirtem Wasser waren nach sieben Tagen bei Proben derselben Algencultur noch die meisten Zellen lebend und normal. Einige Zellen zeigten Unregelmässigkeiten in der Form der Chlorophyllbänder, andere hatten einige Vacuolen im Chlorophyllband und kleine Tröpfchen. Der Kern schien aber auch bei diesen kränkelnden Zellen noch sein ursprüngliches Volum zu besitzen, auch die normale Lage in der Mitte der Zelle war noch nicht alterirt. — In einer Lösung von 0,00012% Weinsäure waren nach neun Tagen die meisten Zellen nicht im Geringsten geschädigt, nur ein kleiner Theil kränkelte, sehr wenige waren bereits todt. Auch Weinsäure wird zwar kalkentziehend wirken, aber weit langsamer als Oxalsäure; denn während oxalsaurer Kalk in Wasser ganz unlöslich ist, löst sich weinsaurer Kalk in 2000 Theilen Wasser bei 8°. Der schädliche Effect der Oxalsäure kann schwerlich auf eine andere Ursache, als die hier angenommene zurückgeführt werden. Wenn man annehmen wollte, sie wirke bei der obigen enormen Verdünnung lediglich umlagernd auf das active Nuclein, so müsste die aequivalente Menge Weinsäure ceteris paribus ebenso wirken!

2) Böhm (l. c.) schreibt u. a.: „Es unterbleibt also bei jenen Pflanzen, bei welchen wegen Kalkmangel kein weiterer Zellenbau stattfinden kann, merkwürdig genug auch die weitere Zuleitung des organischen Baustoffes aus den Reservebehältern. In welchem nothwendigen Zusammenhange dieser Transport mit dem Kalke steht, ist mir völlig räthselhaft."

3) Sitzungsber. d. Ges. f. Morph. u. Physiol. in München (1889) S. 59. — Vgl. auch M. Verworn, Pflüg. Archiv 51 S. 80.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0383-6

für die Production von Enzym wesentlich ist, wird für den pflanzlichen Zellkern dieses ebenfalls wahrscheinlich. Es ist nun der Fall denkbar, dass bei ungenügender Kalkzufuhr der Kern wegen beginnenden Kränkelns keine Diastase mehr producirt.

Wenn es an Kalk mangelt wird aber auch eine unvollkommene Ausbildung und Sistirung der Vermehrung der Leukoplasten und Chlorophyllkörper stattfinden. Es kann also der Fall eintreten, dass gewisse Organe, denen noch Zucker zugeführt wird, keine Stärke mehr daraus zu bilden vermögen. Diesen Fall haben Raumer und Kellermann bei Dunkelpflanzen von *Phaseolus multiflorus* beobachtet.[1] „Die Stengel waren reich an Zucker (und Fett) jedoch war die obere Parthie derselben leer von Stärke, die erst im unteren Theile sich fand."

Die Intensität des Stärketransports hängt wesentlich von zwei Factoren ab, der hydrolytischen lösenden Thätigkeit und der ansetzenden Thätigkeit, welche den überschüssig zugeführten Zucker aus dem Kreislauf als Stärke zeitweilig entfernt.[2]

Wenn wir nun der Frage näher treten, wie kommt es, dass Magnesiumsalze bei gewissen physiologischen Functionen nicht durch Calciumsalze ersetzt werden können, so müssen wir zunächst den chemischen Charakter beider Klassen von Salzen in Berücksichtigung ziehen; denn offenbar sind ihre physiologischen Functionen durch die chemischen Qualitäten bedingt. Es ist nun auffallender Weise noch in keinem pflanzenphysiologischen Werke auf den grossen Unterschied in der Dissociirbarkeit jener Salze hingewiesen worden. Magnesia als schwächere Base trennt sich viel leichter von einer Säure als der Kalk. Schon bei der Darstellung von kohlensaurer Magnesia aus Soda und Bittersalz macht sich dieser Umstand geltend, ein basisches Magnesiumcarbonat fällt nieder, ein Theil der Kohlensäure entweicht. Das ist durchaus nicht der Fall bei Darstellung von Calciumcarbonat.[3]

1) Landwirth. Versuchsstat. 25 S. 32.

2) Die interessante Beobachtung Nobbes, dass Chlorkalium förderlich auf den Stärketransport wirkt, beruht vielleicht auf einer Reizwirkung, durch welche die producirte Diastasemenge gesteigert wird.

3) Mit dieser Thatsache contrastirt einigermaassen die Beobachtung, dass eine Lösung von doppeltkohlensaurem Kalk leichter unter Abscheidung des neutralen Carbonats beim Stehen an der Luft zerlegt wird, als eine Lösung von doppeltkohlensaurer Magnesia. Indessen hier liegt jedenfalls eine verschiedene Constitution der Bicarbonate vor. Nur die Magnesiumverbindung dürfte ein wahres Bicarbonat sein von der Formel:

$$Mg \begin{matrix} O - CO_2H \\ O - CO_2H \end{matrix}$$

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0384-1

Das krystallisirte Chlormagnesium $MgCl_2 + 6H_2O$ verliert schon beim Eindampfen der Lösung eine gewisse Menge Chlor als Chlorwasserstoff unter Bildung von basischem Chlorid; bei Chlorcalcium ist das nicht der Fall. Beim Glühen wirkt Wasserdampf auf jenes Salz weit energischer, als auf dieses unter Freiwerden von Chlorwasserstoff. Aehnliche Unterschiede gewahrt man auch beim Glühen der Carbonate; das Magnesiumcarbonat wird ungleich leichter zersetzt als das Calciumcarbonat.

Es liegt also eigentlich der Schluss nahe, dass die Assimilation von Stickstoff und Schwefel aus dem Nitrat und Sulfat des Magnesiums leichter erfolgen müsse, als aus den entsprechenden Kalksalzen und aus diesen wieder leichter als aus Kalium- oder Natriumsalzen. Als erste Phase muss hiebei eine Dissociation in Base und Säure angenommen werden. Die Magnesia als sehr schwache Base wird auch bei einiger Menge keinen Schaden im Plasma hervorbringen, anders dagegen jene Säuren. Wenn die aus dem Nitrat und Sulfat frei werdenden Säuren nicht fast momentan nach ihrer Freisetzung reducirt würden, um im Eiweissbildungsprocess Verwendung zu finden, so würden sie den baldigen Tod der Zellen herbeiführen. Manche Umstände deuten aber darauf hin, dass erst eine gewisse Anhäufung von Glucose beim Vorgang der Eiweissbildung Anregung zur Spaltung jener Salze gibt.

Wenn wir die Wirkung einzelner Salze auf Pflanzenzellen vergleichen, so finden wir bei den Magnesiumsalzen aber eine auffallend schädliche Wirkung, die sich weder bei Calcium- noch bei Kaliumsalzen zeigt, wenn sie bei Ausschluss anderer Nährsalze lange mit den Zellen in Berührung sind.[1])

In einer 1promille Lösung von Magnesiumsulfat sterben Spirogyren nach 4–5 Tagen, während sie in ebenso starken Lösungen von Calcium-, Kalium- oder Natriumsulfat lange am Leben bleiben. In einer 1procentigen Lösung von Magnesiumnitrat sterben kleinere Spirogyren nach 6—12 Stunden, während sie sich in ebenso starken Lösungen von Calcium-, Kalium- oder Natriumnitrat lange Zeit wohl

1) Von den gewöhnlichen Kalksalzen stärkerer Mineralsäuren hat nur das Chlorcalcium einen schädlichen Einfluss; die freiwerdende HCl kann hier nicht wie Salpeter- oder Schwefelsäure im Eiweissbildungsprocess verbraucht, resp. unschädlich gemacht werden. Ueber die Wirkung von Chlorcalcium auf Keimlinge der Feuerbohnen schreibt Böhm (l. c.): „Die in Lösungen von $^1/_{10}$ oder $^1/_3$ p. m. gezogenen Keimlinge unterschieden sich in ihrer Entwickelung nicht von den in destillirtem Wasser cultivirten; durch concentrirtere Lösungen aber wurden die jungen Wurzeln alsbald getödtet. Die giftige Wirkung der kohlensauren Magnesia und des Chlorcalciums wird durch Zusatz von kohlensaurem Kalk paralysirt".

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0385-7

befinden. Nur ist bei Kaliumnitrat bald eine übermässige Stärkeanhäufung im Chlorophyllband zu sehen, welche Störungen nach sich ziehen kann.

Aber selbst bei ziemlich hoher Verdünnung zeigt sich noch der schädliche Einfluss der Magnesiumsalze: kleinere Spirogyraarten, welche mehrere Wochen in einer Lösung von 0,1‰ Monokaliumphosphat in reinstem destillirten Wasser gesund bleiben können, sterben nach 3—4 Tagen, wenn noch 0,2‰ Magnesiumnitrat oder -sulfat zugefügt wird; sie sterben erst nach 5—7 Tagen, wenn das Monokaliumphosphat weggelassen wird, und bleiben 15—18 Tage am Leben, wenn statt des Monokaliumphosphat Dikaliumphosphat zugefügt wird.

Spirogyra Weberi und *Spirogyra communis* wurden in drei mit destillirtem Wasser hergestellte Lösungen von 0,1‰ Dikaliumphosphat gesetzt. Die erste erhielt noch einen Zusatz von 0,05‰ Magnesiumsulfat, die zweite ebenso viel Calciumsulfat, die dritte je halb so viel Magnesium- und Calciumsulfat zugleich. Es wurde nur eine geringe Algenmenge auf je einen Liter Lösung genommen. Nach 12 Tagen waren in der ersten Flasche bereits todte Zellen zu bemerken, nach 20 Tagen waren alle Zellen abgestorben, während in den anderen beiden Flaschen die Algen noch ein völlig gesundes Aussehen hatten.

Fäden von *Spirogyra majuscula* wurden einerseits in eine Lösung von 0,2‰ Magnesiumnitrat mit 0,02‰ Ammoniumsulfat versetzt, andererseits in eine Lösung, worin statt des Magnesiumnitrats Calciumnitrat sich befand. Dort starben die Zellen nach 10—11 Tagen, hier aber blieben sie über sechs Wochen lebend — trotz der Unvollständigkeit der Nährlösung; es fand sogar noch Wachsthum der Zellen statt, doch unterblieb die Zelltheilung. — Das Absterben durch Magnesiumsalze konnte weder durch Zusatz von Kalium- oder Natriumsalzen, noch durch Zufuhr organischer Nährstoffe (0,5% Methylalkohol oder Glycerin) zur Versuchslösung verhindert werden — sondern nur durch Zufuhr von Calciumsalzen! — Einige Fäden von *Spirogyra majuscula* wurden einerseits in 0,1 procentige Lösung von Magnesiumnitrat gebracht, andrerseits in solche, die ausserdem noch 0,3% Calciumnitrat enthielt. Dort starben die Zellen nach wenigen Tagen,[1]) hier blieben sie wochenlang lebendig!

---

1) Die Zeit, innerhalb welcher blosse Lösungen von Magnesiumsalzen tödtlich wirken, hängt daher mit der grösseren oder geringeren Menge gespeicherter Kalksalze zusammen; auch anhängender kohlensaurer Kalk beeinflusst das Resultat, da er mit den meisten Magnesiasalzen sich umsetzt und löslich wird.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0386-3

Es mag nebenbei erwähnt werden, dass Spirogyren 5—6 Wochen lang auch in reinstem destillirten Wasser am Leben bleiben können. Ist die Flasche verschlossen, welche pro Liter Wasser nur wenige Fäden enthalten darf, so stellt sich bald ein Gleichgewicht zwischen Athmung und Assimilation ein, es dient nur die durch Athmung erzeugte Kohlensäure wieder zur Assimilation, die Menge der Stärke kann nicht zunehmen. Der Stoffwechsel ist auf ein Minimum beschränkt, da bei dem Mangel aller Nährsalze Eiweissbildung und Zelltheilung unterbleiben.

Die schädliche Wirkung der Magnesiumsalze macht sich in auffallender Weise auch bei Wurzeln von Keimlingen bemerklich. Keimlinge von *Vicia* und *Pisum* treiben in 0,5 procentigen Lösungen von schwefelsaurer oder salpetersaurer Magnesia keine neuen Nebenwurzeln mehr und Wurzelhaube sowie Epidermiszellen sterben nach einigen Tagen ab. In einer ebenso starken Lösung von salpetersaurem Kalk, ferner in einer gesättigten Gipslösung bleibt die Wurzel am Leben und treibt Nebenwurzeln, wenn auch langsamer als in blossem destillirten Wasser.

Bei Phaseolus-Keimlingen, welche in eine Lösung von 1‰ Magnesiumsulfat mit 1‰ Monokaliumphosphat gesetzt wurden, bemerkte ich ein Absterben der Wurzel nach fünf Tagen, bald darauf sistirte auch der Spross jede Weiterentwickelung und starb ab.

Solche Beobachtungen wurden schon mehrmals gemacht, blieben aber unbeachtet — weil unerklärt. So theilte W. Wolf mit,[1]) dass es ihm nicht gelang, in Lösungen von schwefelsaurer Magnesia Bohnenpflanzen mit gesunden Wurzeln fortzubringen. Die Wurzeln verloren ihre Turgescenz, die Zellenthätigkeit in den Wurzeln war vernichtet. „Es ist möglich, dass auch dieses Salz vielleicht von den Wurzeln zersetzt wird und dass ein Zersetzungsproduct zerstörend auf die Pflanzenzellen wirkt."

Die absoluten und relativen Mengen der gespeicherten Calcium- und Magnesiumsalze bedingen Intensität und Art der pathologischen Erscheinungen, wenn Samen in kalk- resp. magnesiafreien Nährlösungen gezogen werden. Es sei hier auch auf die Beobachtungen an Bohnenpflanzen hingewiesen, welche Raumer und Kellermann (l. c. S. 31) beschrieben. Die Wurzeln wuchsen in den kalkfreien (aber magnesiahaltigen) Nährlösungen nicht mehr in die Länge, sondern nahmen an Dicke zu, bildeten keine Seitenwurzeln mehr,

1) Landw. Versuchstationen 6, 218.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0387-9

sondern nur „ganz kurze, dicke, fast warzenförmige Gebilde", die Wurzelhaube starb ab. Als das Magnesiumnitrat aus der kalkfreien Nährlösung weggelassen wurde und nur noch das Magnesiumsulfat blieb, trat eine so vollständige Missbildung der Wurzel nicht ein.[1])

Lehrreich ist es, die Wurzelentwickelung von Tradescantiazweigen in kalk- und magnesiafreien Nährlösungen zu beobachten. Ich stellte drei Nährlösungen zu je ½ Liter her, die erste (volle) enthielt:

Monokaliumphosphat	0,1 ‰
Kaliumnitrat . . .	0,5
Natriumsulfat . . .	0,2
Calciumnitrat . . .	0,5
Magnesiumsulfat . .	0,2
Eisenvitriol . . .	Spur.

Bei der zweiten Lösung (b) fehlte das Calciumsalz, bei der dritten (c) das Magnesiumsalz. Aus den untersten Knoten der 10 cm langen Zweige brachen nach sechs Tagen 5—6 Würzelchen hervor, welche sich während der ersten zwei Wochen ziemlich rasch entwickelten. Höchst bemerkenswerth war nun die Verschiedenheit der Entwickelung der Wurzelhaare, welche in der kalkhaltigen Lösung (c), in der Magnesia mangelte, einen dichten Wald bildeten und ¼ cm Länge erreichten,[2]) in der kalkfreien, aber magnesiahaltigen, Lösung jedoch nur sehr spärlich zu sehen waren und sehr kurz blieben. Andrerseits waren die Wurzeln selbst in letzterer Lösung (b) länger als in ersterer (c) und maassen 4,1 cm gegen 3,2 cm.

Der Kalkmangel der Lösung resp. die schädliche Wirkung des Magnesiagehalts konnte sich nur an der Epidermis äussern und verhinderte hier die volle Entwickelung der Wurzelhaare, während die inneren Theile genügend Calciumsalze aus den Knoten eine Zeit lang zugeführt erhielten, um nicht nur die schädliche Wirkung der Magnesiumsalze völlig paralysiren zu können, sondern sogar deren Ernährungseffect in das hellste Licht treten zu lassen; denn die Wurzeln waren ja fast um ein Drittel länger als bei Magnesiamangel (Erklärung hiefür weiter unten). Dass diese in kalkfreier Lösung gezogenen Wurzeln doch Kalk enthielten, resp. aus dem Knoten bezogen hatten,[3]) lehrte die Behandlung der Asche mit etwas concentrirter

1) Bei einem grösseren Gehalt der Bohnen an Calciumsalzen wäre offenbar diese Missbildung in kalkfreier Nährlösung weniger zum Vorschein gekommen.

2) Auch in der vollen Controllösung standen die Wurzelhaare sehr dicht, waren aber kürzer.

3) Siehe oben S. 373. Es war hier dieselbe Species.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0388-5

Schwefelsäure, nach deren Abdampfen mit Salzsäurezusatz bald die charakteristischen Gipsnadeln zu sehen waren. Dass Magnesiasalze niemals schaden, wo Calciumsalze in genügender Menge vorhanden sind, ging auch daraus hervor, dass verschiedene Samen (*Vicia, Lupinus, Helianthus* etc.) nicht ihre Keimfähigkeit verloren, als sie zwei Tage in einer 0,2procentigen Lösung von Magnesiumnitrat aufquellen gelassen wurden. Seit lange ist festgestellt, dass Magnesiumsalze unentbehrlich für die Pflanzen sind; wie kommt es nun, dass sie bei Ausschluss von Calciumsalzen so schädlich wirken? Wie ist es zu erklären, dass bei Anwesenheit von Calciumsalzen ihre schädliche Wirkung gar nicht zum Vorschein kommt?

Hierauf gibt es nur eine Antwort und diese wird gegeben durch die Schlussfolgerungen, welche wir oben aus dem Verhalten der Pflanzenzellen gegen neutrales Kaliumoxalat und höchst verdünnte freie Oxalsäure gezogen haben. Enthält der Chlorophyllkörper ein Gerüst bestehend aus der Calciumverbindung des Plastins[1]) und der Zellkern ein Gerüst bestehend aus der Calciumverbindung des Nucleins, so wird bei der Einwirkung von Magnesiumsalzen starker Säuren ein Austausch von Calcium gegen Magnesium stattfinden müssen. Hiedurch wird aber auch die physikalische Beschaffenheit der Gerüstsubstanz verändert, die Quellungscapacität wird eine andere und wahrscheinlich die Festigkeit verringert. Dieses bringt aber eine Structurstörung mit sich, infolge deren auch Umlagerung des activen Proteinstoffs zu passiven erfolgt. Die Symptome beim Absterben durch schwefelsaure Magnesia sind in der That die gleichen wie bei verdünnter Lösung von oxalsaurem Kali, wenn auch die Wirkung weit langsamer sich vollzieht. Nach 12 Stunden zeigt sich bei der Einwirkung einer 1procentigen Lösung von schwefelsaurer Magnesia auf Fäden der *Spirogyra majuscula* zunächst der Kern angegriffen, meist gequollen wie bei kurzer Einwirkung einer 0,5procentigen Kaliumoxalatlösung. Durch den Uebergang des Kerns von der Linsen- in die Kugelform werden aber die Plasmastränge nachgezogen und infolge dessen

1) Ich fasse das Plastin lediglich als eine polymere Modification des Nucleins auf, so lange nicht durch genauere chemische Untersuchungen eine andere Auffassung nöthig wird. — Offenbar bestehen auch die Plasmastränge zum grossen Theil aus nucleinartiger Materie; denn nach Behandlung mit Pepsinsalzsäure bei 30—35° bleiben auch diese ihrer äusseren Form nach ungelöst (bei Spirogyra), und färben sich dann ebenso intensiv wie der Kern durch Farbreagentien. E. Zacharias hat jene Unlöslichkeit nach gütiger Privatmittheilung schon früher beobachtet.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0389-3

entsteht eine Einschnürung des Cytoplasmas in der Region ihrer Anheftungsstellen. Viele Zellen sind aber noch scheinbar unversehrt. Nach 20 Stunden ist auch eine Verquellung der Chlorophyllbänder in vielen Zellen bemerklich, das Cytoplasma ist aber überall noch gesund. Nach 40 Stunden sind nicht nur der Zellkern überall, sondern auch fast überall die Chlorophyllkörper bedeutend verquollen, auch das Cytoplasma ist (wohl infolge der abgestorbenen Chlorophyllbänder) meist schon todt. Nur wenige Zellen haben noch Turgor.

Eisenvitriol (in 1 procentiger Lösung) wirkt ganz analog dem Bittersalz, wenn auch weit rascher. Nach 12 Stunden ist der Zellkern überall todt, meist geschrumpft (wenn auch nicht so stark wie bei der 2 procentigen Kaliumoxalatlösung), seltener gequollen. Das Chlorophyllband zeigt fast überall schon bedeutende Verquellung und bei einer Anzahl Zellen ist auch das Cytoplasma bereits todt, was sehr leicht bei dem häufigen Gerbstoffgehalt der Zellen an der Blaufärbung des ganzen Inhalts kenntlich ist. Nach 20 Stunden sind nur wenige Zellen mehr am Leben und noch farblos, sie haben noch Turgor, da sie sich nach beiden Seiten auswölben wenn die Nachbarzellen bereits todt sind, und bei diesen wenigen Zellen ist nicht nur der Zellkern völlig geschrumpft, sondern auch die Chlorophyllkörper mehr oder weniger aus der normalen Lage gebracht und contrahirt.

Weit heftiger wirkt der Kupfervitriol. Eine 1 procentige Lösung tödtet schon nach einer Stunde alle Zellen der *Spirogyra majuscula*. Wenn auch hier zuerst der Kern sich contrahirt, so bleibt doch kaum ein Zweifel, dass hier noch eine andere Ursache der Giftwirkung als die bei Bittersalz und Eisenvitriol anzunehmende vorhanden ist; denn hier zeigt sich die Giftwirkung noch bei erstaunlich grosser Verdünnung.

Die schädliche Wirkung der Magnesiumsalze tritt im Vergleich zu derjenigen der Ferrosalze nur langsam ein und desshalb kann sie bei Gegenwart von Calciumsalzen auch so schnell wieder aufgehoben werden, dass keine weiteren Folgen zu beobachten sind. Diese merkwürdige Thatsache bestätigt aber unsere oben ausgesprochene Auffassung: Sind nämlich genügende Mengen von Calciumsalzen in der Lösung vorhanden, so kann nach dem Gesetz der Massenwirkung die umgekehrte Reaction eintreten d. h. das in die organsirte Kernsubstanz an Stelle von Calcium getretene Magnesium wird wieder durch Calcium ersetzt. Solche mit der Massenwirkung zusammenhängende Rückverwandlungen sind ja

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0390-7

nichts Seltenes im Gebiete der Chemie[1]) und dürften im lebenden Protoplasma noch leichter stattfinden, als in den Apparaten des Chemikers.

Es wird uns nun verständlich, warum Magnesiumnitrat schädlich wirkt, aber nicht Kaliumnitrat, warum Magnesiumsulfat schadet, aber nicht Kaliumsulfat, warum oxalsaures Kali sich anders verhält als weinsaures. Ist nun für eine genügende Menge von Calciumsalzen gesorgt, so können die Magnesiumsalze nur ihre ernährenden Eigenschaften entfalten, welche in der leichten Dissociation der Salze begründet sind. Bei der Assimilation des Stickstoffs aus Nitraten fällt dieser Umstand noch wenig ins Gewicht, da Kalium- und Natriumnitrat noch ziemlich leicht reducirt werden.[2]) Bei Assimilation des Schwefels dürfte das Calciumsulfat schon erheblich besser verwendbar sein als die Sulfate der Alkalimetalle; bei Assimilation der Phosphorsäure aber wird unter gewöhnlichen Umständen wesentlich nur das Magnesiumphosphat in Betracht kommen. In den complicirten Gemischen von Nährsalzen in der Pflanze ist ja immer Gelegenheit zur Bildung von Magnesiumphosphaten gegeben. Ist nun so secundäres Magnesiumphosphat gebildet, so hat damit die Assimilation der Phosphorsäure bei der Bildung von Nuclein, Plastin und Lecithin die denkbar grösste Erleichterung gefunden, denn jenes Salz spaltet sich leicht (z. B. schon beim Kochen mit viel Wasser) in freie Phosphorsäure und tertiäres Salz:

$$\underbrace{3\,PO_4MgH}_{\text{Secundäres Magnesiumphosphat}} = \underbrace{PO_4H_3 + (PO_4)_2Mg_3}_{\text{Tertiäres Magnesiumphosphat}}$$

Es kommt aber ausser der leichten Spaltbarkeit noch die grössere Löslichkeit gegenüber dem Calciumphosphat in Betracht. Wenn

1) Ich erinnere an die Umsetzung zwischen Bariumsulfat und Kaliumcarbonat einerseits, an die zwischen Bariumcarbonat und Kaliumsulfat andrerseits (Moderne Theorien der Chemie von Lothar Meyer S. 506), ferner an die Zersetzung von Eisenoxyd durch Wasserstoff beim Glühen einerseits und an die reciproke Zersetzung von Wasserdampf durch glühendes Eisen andrerseits.

2) Ich habe zuerst gezeigt, dass Nitrate leicht auf katalytische Weise zu Ammoniak reducirt werden können (Ber. d. Deutsch. Chemischen Gesellschaft 23, S. 675), wenn sie mit Glucose und Platinmohr digerirt werden. Es handelt sich weder hier, noch im Protoplasma um nascirenden Wasserstoff. Weiteres über solche Vorgänge werde ich später mittheilen. — Die von Kuhlmann zuerst mitgetheilte Thatsache, dass Calciumnitrat eine weniger günstige N-Quelle ist für Gramineen als Natriumnitrat (jedenfalls bei kalkreichem Boden) ist vielleicht so zu erklären, dass unter gewissen Umständen das Calciumnitrat rascher reducirt wird als die Eiweissbildung erfordert und desshalb etwas Ammoniak entsteht, dessen Salze oberhalb eines gewissen Minimums hemmend auf die Lebensthätigkeit einwirken können.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0391-3

man z. B. 100 ccm einer 0,2 proc. Lösung von Dinatriumphosphat einerseits mit einigen Cubikcentimenter einer 10 proc. Lösung von Magnesiumnitrat, andrerseits mit der entsprechenden Menge Calciumnitrat versetzt, so bildet sich sofort ein Niederschlag im letzteren Falle, während im ersteren die Mischung völlig klar bleibt. Das secundäre Magnesiumphosphat ist also auch leichter „wanderungsfähig" als das secundäre Calciumphosphat.

Ist unsere Auffassung richtig, so wird sich das schwerlösliche tertiäre Magnesiumphosphat da anhäufen, wo Nucleinbildung resp. rege Zellenbildung stattfindet.[1]) Da die Nucleinbildung ein Unlöslichwerden des (secundären) Magnesiumphosphats (Bildung des tertiären) bedingt, so ist nun begreiflich, warum stets neues lösliches Magnesiumphosphat zuströmt und an den Orten regster Zellneubildung sich Magnesia und Phosphorsäure anhäufen. Es erklärt sich, warum Magnesia ebenso wie die Phosphorsäure „den Eiweissstoffen folgt", und warum die Samen relativ reicher an Magnesia sind als die Blätter. Es erklärt sich, warum Magnesiasalze die Zelltheilung befördern, warum Spirogyrenzellen sich rascher vermehren bei Gegenwart von Magnesiasalzen (in sonst guten Nährlösungen), und warum bei dem oben geschilderten Versuch mit *Tradescantia* die Wurzeln in der magnesiahaltigen Nährlösung länger geworden sind als in der magnesiafreien. Es bildet sich eben überall durch Wechselwirkung das secundäre Magnesiumphosphat, der Träger der Phosphorsäure bei der Kernbildung.

Ist gegenüber den phosphorsauren Alkalien die Menge der Magnesiumsalze nur gering, zugleich aber diejenige der Calciumsalze sehr gross, so wird sich wesentlich Calciumphosphat und nur ungenügende Mengen Magnesiumphosphat bilden können; daher wird die Bildung von Nuclein und Plastin und damit Neubildung von Zellkernen und Chloroplasten sehr verlangsamt werden, d. h. die Zellvermehrung wird verzögert. — Ein Versuch mit *Spirogyra Weberi* bestätigte diese Folgerung. Zwei Lösungen mit 1‰ Calciumbicarbonat resp. 1‰ Magnesiumbicarbonat erhielten je noch folgende Zusätze: 0,5‰ Calciumnitrat, 0,1‰ Magnesiumsulfat, 0,05‰ Monokaliumphosphat und Spur Eisenchlorid. Geringe und möglichst gleiche Mengen der Alge wurden in die Nährlösungen (je 1 Liter) gebracht und öfters etwas

1) Die Asche der Samen enthält allerdings oft nicht die tertiären Phosphate, weil beim Einäschern die Phosphorsäure des Nucleins (und Lecithins) wieder frei wird und saure Phosphate resp. Pyrophosphate liefert, falls keine Carbonate in der Asche sich vorfanden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0392-9

kohlensäurehaltige Luft (aus der Lunge) durchgeblasen. Nach drei Wochen Stehen bei 10—12° war nun der Unterschied höchst bemerkenswerth. Beim Magnesiumbicarbonat war die Algenmasse weit bedeutender, mindestens auf das Dreifache der anderen Cultur zu schätzen. Das Chlorophyllband war dort eng gewunden und reich an Stärke, hier beim Calciumbicarbonat langgestreckt und frei von Stärke. Die einzelnen Zellen hatten sich hier noch gestreckt, allein das Chlorophyllband war nicht im Verhältniss dazu gewachsen und der Zellkern besass nicht mehr die nöthige Energie, eine so rasche Zelltheilung herbeizuführen, als im andern Falle.

Die Ablagerung des tertiären Magnesiumphosphats in den Samen hat aber wieder einen grossen Nutzen für den sich entwickelnden Embryo. Derselbe bildet Säuren, welche das tertiäre Phosphat unter partieller Entziehung von Magnesia wieder in das secundäre verwandeln, welche nun wieder von grösstem Nutzen für Zellenbildung und Vermehrung ist und das rasche Wachsthum des Embryos ermöglicht. Die zugleich gebildeten Magnesiumsalze organischer Säuren können sich aber wieder mit den vorhandenen Alkaliphosphaten[1]) umsetzen und wieder secundäres Magnesiumphosphat liefern, so dass also ein und dieselbe Magnesiummenge öfters verwendbar wird.

Die Rückverwandlung tertiären Magnesiumphospats in secundäres kann aber auch schon im reifenden Samen mehrmals erfolgen, ferner in den Blättern, von wo das secundäre Salz schliesslich „auswandern" kann, um im reifenden Samen verwendet zu werden zur Bildung von Nuclein, Lecithin, der phosphorsäurehaltigen Caseine und mancher Salze saurer Phosphorsäure-Ester.[2]) Auch für viele Pilze scheinen Magnesiumsalze von grossem Nutzen zu sein, was angesichts des Nuclein- und Lecithingehaltes wohl begreiflich ist. Bei *Penicillium* allerdings konnte ich keine erhebliche Aenderung des Erntegewichts beobachten, als ich eine magnesiafreie mit einer magnesiahaltigen Nährlösung verglich.[3]) Bei anderen Pilzen, besonders solchen, welche Gährthätigkeit ausüben, scheinen Magnesiumsalze dagegen wichtiger

1) Die Anhäufung der Alkaliphosphate in den Samen wird jedenfalls dadurch begünstigt, dass sie befähigt sind, lockere Verbindungen mit den Proteinstoffen einzugehen.

2) Vgl. Globoide, Pfeffer, Pflanzenphysiologie I S. 339.

3) Vgl. auch Nägeli, Ber. d. Bayer. Akad. d. Wiss. (Juli 1879) S. 365. 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.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0393-5

zu sein. So schreibt Adolf Mayer[1]: „Auch einige niedere chlorophyllose Organismen wie die Bierhefe scheinen des Magnesiums nicht entrathen zu können und ist für diese Gruppe von Organismen jedenfalls dieser Aschenbestandtheil von viel höherer Bedeutung als das Calcium, eine Thatsache, die bei dem Ausbau der Theorie der Wirksamkeit dieser Aschenbestandtheile von Wichtigkeit sein wird".

Bei *Mycoderma Vini* (Kahmpilz) hat Winogradzky gezeigt,[2] dass Magnesiumsalze weder durch Calcium- noch durch Strontiumsalze ersetzt werden können. Wo Magnesiumsulfat in der Nährlösung vorhanden war, entwickelte sich eine schöne Haut; wo es aber durch Calcium- oder Strontiumsulfat ersetzt wurde, blieb jede Entwickelung aus. (Zu versuchen wäre hier noch Berylliumsulfat.) Kalksalze, die eine so grosse Wichtigkeit für die grünen Pflanzen haben, sind nach Winogradsky bedeutungslos für *Mycoderma*.[3] In der That sind auch Magnesiumsalze bei Ausschluss von Calciumsalzen nicht schädlich für Spalt- und Sprosspilze, was ebenfalls einen bedeutenden Unterschied gegenüber grünen Pflanzen ausmacht. Sprosshefe leidet nicht im Geringsten, wenn sie stundenlang mit 1 procentiger Lösung von Magnesiumnitrat auf 25—30° erwärmt wird. Das lässt schliessen, dass hier keine calciumhaltigen wichtigen Organe vorhanden sind. Wie empfindlich sind hier die Spirogyrenzellen!

Um zu prüfen, ob ein Magnesiagehalt der Nährlösung günstig auf die Gährthätigkeit bei Fäulnisspilzen wirkt, wurde eine Peptonlösung in fünf gleiche Theile getheilt. Die Controlprobe enthielt keinen Zusatz, die anderen Proben je 1% der Nitrate von Kalium, Natrium, Calcium und Magnesium. Alle Proben wurden mit Fäulnisspilzen inficirt und bei gewöhnlicher Temperatur stehen gelassen. Nach 2 Tagen war überall Trübung zu bemerken, am meisten bei der Controlprobe; der Zusatz der Salze wirkte hemmend auf die Bacterienentwickelung. Nach 10 Tagen wurde die Intensität der Ammoniakbildung durch die Reaction mit Nesslers Reagens ver-

1) Lehrbuch der Agriculturchemie 3. Aufl., I. 274 (1886).

2) Bot. Centralblatt XX S. 165 (1884).

3) Man kann bei Kalkmangel auch ein sehr üppiges Bacterienwachsthum beobachten. Ich inficirte eine Lösung, welche enthielt: je 0,5% Glucose und Asparagin, je 0,05% Dikaliumphosphat und Magnesiumsulfat und 0,5% neutrales Kaliumoxalat mit einer Spur faulig gewordener Presshefe. Nach zwei Tagen bei 30° waren dichte weisse Flocken gebildet und intensive Trübung eingetreten, herrührend von einer Unmasse lebhaft sich bewegender Stäbchen. Von einem Gehalte der Lösung an nennenswerthen Kalkspuren kann hier bei Gegenwart des Oxalats wohl kaum die Rede sein.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0394-1

glichen. Bei der Controlprobe und der Magnesiaprobe war die Ammoniakbildung am intensivsten, halb so stark bei der Natron- und Kali-Probe und nur etwa $^1/_3$ so stark bei der Kalkprobe; somit wirkte das Calciumsalz weit weniger gährungsfördernd als das Magnesiumsalz, was weiteres Studium verdiente, besonders mit Rücksicht auf pathogene Pilze.

Die oxydative Thätigkeit scheint unter dem Einflusse von Magnesiumsalzen nicht intensiver zu sein als unter dem anderer Salze. Ich setzte zu einer Nährlösung, welche als einzigen organischen Körper 0,5% salicylsaures Natron enthielt, noch je 0,2% verschiedene Chloride (KCl, NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$) und liess die Mischungen in geräumigen lufthaltigen Kolben nach Infection aus fauliger Peptonlösung mehrere Wochen stehen. Wurde nun nach Eindampfen und Ausschütteln mit Aether nach dem Ansäuern der Aetherrückstand in Wasser gelöst, mit Eisenchlorid geprüft, so wurde bei gleichstarker Verdünnung kein erheblicher Unterschied der Reaction, also kein bedeutender Unterschied im Verbrauch der Salicylsäure wahrgenommen; auch die Intensität der Bacterienvegetation war nahezu überall gleich.

Ueber den Ersatz von Magnesium durch Beryllium ist bislang nur ein einziger Versuch gemacht worden und zwar von Sestini.[1]) Magnesium und Beryllium stehen einander so nahe, wie Natrium dem Lithium. Die Berylliumsalze dissociiren sich so leicht wie Magnesiumsalze und sollten naturgemäss auch diese vertreten können. Sestini brachte in der That Weizen bis zur Fruchtbildung bei dieser Substitution. Die Körner wurden in Flusssand ausgesät, der mit Salzsäure extrahirt war. Zum Begiessen dienten im Ganzen acht Liter Nährlösung, enthaltend 1,60 g Berylliumsulfat (im Controlversuch 1,44 g Magnesiumsulfat, die aequivalente Menge). Die Pflanzen erreichten eine Höhe von 90—95 cm und trugen reife Aehren, doch blieben die Berylliumpflanzen hinter den Magnesiumpflanzen zurück, wie folgende Daten erkennen lassen:

	Magnesiumpflanzen	Berylliumpflanzen
Zahl der Körner	322	283
Gewicht der Körner . . .	15,20 g	12,31 g
Gewicht eines Kornes . . .	0,472 g	0,435 g

Die Asche der Berylliumpflanzen enthielt nahe 2% Berylliumoxyd. — Nun wurden die erhaltenen Samen wieder gesät und nochmals in der gleichen Weise mit der berylliumhaltigen aber magnesia-

1) Centralblatt für Agriculturchemie 1890 S. 464 und 1891 S. 558. Nach Le Staz. Agrar. Ital. Bd. 20.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0395-7

freien Nährlösung begossen. Von 20 der ausgesäten Samen der Berylliumpflanzen keimten nur sieben und nur drei Pflanzen lieferten wieder Körner. Die erhaltenen 14 Körner wogen zusammen nur 0,37 g, also 1 Korn nur 0,026 g. Sestini schloss hieraus, dass zwar ein Theil der Functionen des Magnesiums, aber nicht alle durch Beryllium übernommen werden können und dass bei der Embryoausbildung ein Defect stattfinde.[1]) Derartige Versuche können manche wichtige Aufschlüsse bringen, besonders auch darüber, ob protoplasmatische Magnesiumverbindungen neben Calciumverbindungen an der Organisation des Zellkernes betheiligt sind.

Ob bei nieder stehenden Pflanzen, wie Algen, das Calcium durch das ihm so nahe stehende Strontium bei allmählichem Vorgehen ersetzt werden kann, müssen weitere Versuche lehren. Einige orientirende Versuche mit Spirogyren ergaben mir Folgendes: Bei ca. 28° C. wird wohl Calciumnitrat bei einer Verdünnung von 0,3 % 15—20 Stunden lang ertragen, aber nicht Strontiumnitrat. Eine grosse Anzahl von Zellen der *Spirogyra majuscula* waren in letzterem Falle abgestorben. Die überlebenden aber blieben nachher in derselben Lösung noch länger als acht Tage bei 16° lebendig, ja es wurde sogar Theilung der Zellen beobachtet (die Zellen waren ursprünglich reich an im Zellsaft gespeichertem activen Eiweiss). Ferner habe ich beobachtet, dass während diese Spirogyren in einer 0,1 procentigen Lösung von Magnesiumnitrat nach zwei Tagen bei 20° zu Grunde gingen, sie nach acht Tagen bei Zusatz von 0,3 % Strontiumnitrat noch zum Theile lebend waren. Das Strontiumnitrat wirkt also — wenn auch weit unvollkommener wie das Calciumnitrat — der Giftwirkung der Magnesiumsalze entgegen.

In einer vollen Nährlösung, welche statt des Calciumnitrats Strontiumnitrat enthielt, lebten die Spirogyren (bei 10—14° C.) längere Zeit. Der Schwefel wurde hier wegen der Schwerlöslichkeit des sich bildenden Strontiumsulfats als formaldehydschwefligsaures Natron gegeben. Die Zusammensetzung der Nährlösung war folgende:

Strontiumnitrat	0,5 ‰
Magnesiumnitrat	0,1
Natriumnitrat	0,2
Monokaliumphosphat	0,1
Formaldehydschwefligsaures Natron	0,1
Eisenchlorid	Spur.

1) Knop erwähnt (Ann. Chem. Pharm. 129 S. 287), dass weder Kalk noch Magnesia durch isomorphe Basen in den Pflanzen ersetzt werden können, er beschreibt jedoch die Versuche nicht.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0396-3

Nach drei Wochen sahen die meisten Zellen noch recht gut aus. Da das Strontium dem Calcium weit näher steht als das Magnesium, so werden auch die zu Organisationszwecken verwendbaren Verbindungen einander weit ähnlicher sein und nahezu das gleiche Quellungsvermögen besitzen, so dass Structurstörungen voraussichtlich weit langsamer erfolgen werden. Auch Bariumsalze werden längere Zeit ertragen. In einer 0,5 procentigen Lösung von Bariumnitrat waren Fäden von *Spirogyra majuscula* nach zwei Wochen noch gesund, sie führten sogar mehr Stärkekörner als die Controlalgen in salpetersaurem Kalk; nur wenige Zellen waren todt.

Resumé.

Neutrale oxalsaure Salze sind nicht nur giftig für Phanerogamen wie Schimper fand,[1]) sondern auch für Algen; nicht dagegen für niedere Pilze. Eine 2procentige Lösung neutralen Kaliumoxalats bringt binnen 5—10 Minuten den Kern von Spirogyrenzellen zur Contraction, hierauf wird das Chlorophyllband ergriffen.

Freie Oxalsäure wirkt, wie schon Migula fand und ich bestätigen kann, selbst bei sehr bedeutender Verdünnung als ein intensives Gift auf Spirogyrenzellen.

Magnesiumsalze wirken bei Abwesenheit von Calciumsalzen giftig auf höher- wie niederstehende chlorophyllhaltige Pflanzen. Bei Gegenwart genügender Mengen von Calciumsalzen kommt keine Spur dieser Giftwirkung zum Vorschein und die Magnesiumsalze entfalten dann lediglich ihre ernährende Thätigkeit, welche — nach Bildung des secundären Magnesiumphosphats — darin besteht, dass dieses der Träger der Phosphorsäure für die Bildung von Nuclein, Plastin, der Caseine und des Lecithin ist.

Die geschilderten Giftwirkungen neutraler Oxalate einerseits, der Magnesiumsalze andererseits, sowie der Umstand, dass die schädlichen Wirkungen der letzteren bei Anwesenheit von Calciumsalzen sich gar nicht geltend machen, finden ihre einfachste Deutung, wenn Chlorophyllkörper und Zellkern aus Calciumverbindungen von Nuclein (und Plastin) aufgebaut sind. Da das Nuclein einen sauren Charakter besitzt, wird ohnediess die Anwesenheit einer Base im Zellkern erfordert. Wird das Calcium jenen Organoiden entrissen (als Oxalat gefällt, oder durch Magnesium ersetzt), so ändert sich das Quellungs-

1) Es ist somit nicht zu bestreiten, dass Calciumsalze eine sehr wichtige Function ausüben, wenn sie die gebildeten Oxalate als Calciumoxalat fällen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0397-8

vermögen der lebenden Materie, was eine Structurstörung und infolge dessen eine chemische Umlagerung, den Tod, herbeiführt.

Die eingangs hervorgehobenen Verhältnisse in der Vertheilung des Kalks und der Magnesia in den Pflanzen finden nun eine einfache Erklärung: die Chlorophyllkörper führenden Organe müssen auch die kalkreichsten sein; denn hier wird der Kalk nicht nur im Kern sondern auch in den Chlorophyllkörpern fixirt. Andrerseits finden wir da, wo am meistens Phosphorsäure gebraucht wird — in den Samen —, auch die relativ grössten Mengen von Magnesia. Wir müssen folgern, dass an der Herstellung von Kern und Chloroplasten sowohl Calcium- als auch Magnesiumsalze betheiligt sind, erstere direct, letztere indirect, und es ist klar, dass eine bedeutende relative Verminderung der einen Klasse von Salzen gegenüber der anderen eine normale gesunde Entwickelung der Pflanzen beeinträchtigen muss. Es wird auch verständlich, warum die beiden Klassen von Salzen einander nicht vertreten können und warum „Magnesium in der Pflanze beweglicher ist als das Calcium.“ — Es lässt sich nun ferner eine plausible Erklärung geben für die von Boehm, Raumer und Kellermann gezogenen Schlüsse, dass der Kalk beim Stärketransport betheiligt ist, resp. der Kalk bei der Verarbeitung der Kohlehydrate eine Rolle spiele.

Niedere Pilze verhalten sich — wahrscheinlich wegen etwas abweichender chemischer Beschaffenheit des Zellkerns — gänzlich verschieden von den grünen Pflanzen in den geschilderten Beziehungen. Für sie sind weder Magnesiumsalze bei Abwesenheit von Calciumsalzen schädlich, noch Oxalate giftig. Der Umstand, dass Schimmelpilze bei stark saurer Reaction der Nährlösung Magnesiumsalze entbehren können, ist dadurch am einfachsten zu erklären, dass unter diesen Umständen Phosphorsäure auch aus Calciumphosphat assimilirt werden kann.

Pflanzenphysiologisches Institut zu München, im Mai 1892.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05170-0398-4

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: 75

Autor(en)/Author(s): Loew Oscar

Artikel/Article: Ueber die physiologischen Functionen der Calcium- und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus. 368-394