Über die Verbreitung der unentbehrlichen anorganischen Nährstoffe in den Keimlingen von Phaseolus vulgaris. I.

Von **Leopold Ritter von Portheim** (Biologische Versuchsanstalt in Wien)
und **Dr. Max Samec.**

In der umfangreichen Literatur über die Rolle, die den unentbehrlichen anorganischen Nährstoffen im Lebensprozesse der Pflanzen zukommt, finden wir eine Menge Hypothesen und Ansichten über die Funktion des Kalkes angegeben. Mit dem Fortschreiten unserer Erkenntnis auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie hat sich aber gezeigt, dafs vielen von diesen Anschauungen eine allgemeine Giltigkeit nicht beizumessen ist. So ist z. B. durch den Befund von Molisch[1]) und Benecke[2]), welche die normale Entwicklung einiger Algen und Pilze in kalkfreien Medien nachgewiesen haben, festgestellt worden, dafs die Annahme von Böhm,[3]) Liebenberg,[4]) Raumer[5]) und Kellermann[6]) etc., wonach der Kalk bei der Bildung der Zellmembran beteiligt sein soll, nicht als allgemein giltige Regel aufzufassen ist, jedenfalls für einige *Kryptogamen* nicht zutrifft.

Sowohl diese Beobachtungen als auch die Tatsache, dafs in meristematischen Geweben kein Kalk nachzuweisen ist, lassen die Ansicht

---

1) Molisch H., Die mineralische Nahrung der niederen Pilze. (I. Abhandlung.) Sitzber. d. Wiener Akademie. Mat.-nat. Cl. 1894. Bd. CIII, I. Abt. pag. 21. Sep. — Die Ernährung der Algen. (Süfswasseralgen, I. Abhandlung.) Sitzber. d. Wiener Akademie. Mat.-nat. Cl. 1895, Bd. CIV, I. Abt. — Die Ernährung der Algen. (Süfswasseralgen, II. Abhandlung.) Sitzber. d. Wiener Akademie. Mat.-nat. Cl. 1896, Bd. CV, I. Abt. pag. 16. Sep.

2) Benecke W., Die zur Ernährung der Schimmelpilze notwendigen Metalle. Jahrb. f. wiss. Bot. 1895, Bd. XXVIII, pag. 487.

3) Böhm J., Die Nährstoffe der Pflanze. Ein Vortrag mit Demonstrationen, gehalten im Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, am 11. November 1885 (Wien 1886), pag. 11. — Über den vegetabilischen Nährwert der Kalksalze. Sitzber. d. Wiener Akademie 1875. Bd. LXXI, I. Abt. pag. 17. Sep.

4) Liebenberg von A., Untersuchungen über die Rolle des Kalkes bei der Keimung von Samen. Sitzber. d. Wiener Akademie 1881. Bd. LXXXIV, I. Abt. pag. 43. Sep.

5) Raumer von E., Kalk und Magnesia in der Pflanze. Die landwirtschaftl. Versuchsstationen. 1883. Bd. XXIX, pag. 279.

6) Raumer von E. und Kellermann Ch., Über die Funktion des Kalkes im Leben der Pflanze. Die landwirtschaftl. Versuchsstationen. 1880. Bd. XXV, pag. 35.

von Loew[1]) und Bokorny,[2]) welche die Erkrankung der Pflanzen bei Kalkmangel auf die ungünstige Beeinflussung der Calcium-Plastin- und Calcium-Nucleïnverbindungen zurückführen, als unwahrscheinlich erscheinen. Pfeffer,[3]) Bruch[4]) und Benecke[5]) sprechen sich gegen die Loew'sche Hypothese aus.

Nach Loew[6]) werden zur Bildung der Nucleï und Plastiden Calcium- als auch Magnesium-Salze benötigt, die ersteren zur Erzeugung von Calcium-Nucleo-Proteiden und letztere um die Assimilation der Phosphorsäure zu ermöglichen.

Bezüglich der Ursache der Erkrankung der Pflanzen bei Kalkmangel äufsert sich Loew[7]) wie folgt: „Die geschilderten Giftwirkungen neutraler Oxalate einerseits, der Magnesiumsalze andererseits, sowie der Umstand, dafs 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 Nucleïn (und Plastin) aufgebaut sind. Da das Nucleïn einen sauren Charakter besitzt, wird ohnedies die Anwesenheit einer Base im Zellkern erfordert. Wird das Calcium jenen Organoiden entrissen (als Oxalat gefällt, oder durch Magnesium ersetzt), so ändert sich das Quellungsvermögen der lebenden Materie, was eine Strukturstörung und infolgedessen eine chemische Umlagerung, den Tod, herbeiführt."

Die schädliche Wirkung der Magnesiumsalze, welche nur bei Abwesenheit der Calciumsalze zum Vorschein kommt, ist darauf zurückzuführen, dafs in diesem Falle bei Einwirkung von Magnesiumsalzen starker Säuren auf die Calciumverbindung des Plastins und des Nucleïns ein Austausch von Calcium gegen Magnesium stattfinden mufs.

---

1) Loew O., Über die physiologischen Funktionen der Calcium- und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus. Flora oder allgem. bot. Ztg. 1892, H. 3. pag. 385. Sep.

2) Bokorny Th., Über den Einflufs des Calciums und Magnesiums auf die Ausbildung der Zellorgane. Bot. Centralblatt 1895, Bd. LXXII, Nr. 14, pag. 1.

3) Pfeffer W., Pflanzenphysiologie 1897, 2. Auflage. I. Bd. pag. 428.

4) Bruch P., Zur physiologischen Bedeutung des Calciums in der Pflanze. Inaugural-Dissertation. Merseburg 1901, pag. 8.

5) Benecke W., Über Oxalsäurebildung in grünen Pflanzen. Botanische Zeitung 1903, H. V, pag. 88, 90, 104. Sep.

6) Loew O., The physiological rôle of mineral nutrients in plants. U. S. Department of agricultur. Bureau of plant industry. Bulletin Nr. 45. Washington 1903, pag. 69.

7) Loew O., l. c. Flora 1892, pag. 393.

Benecke[1]) beobachtete, dafs *Vaucheria, Spirogyra* und *Tradescantia,* in kalkfreien Lösungen kultiviert, ebenso schnell und unter denselben Erscheinungen erkrankten wie in den Medien, in denen Kalk und Magnesia fehlten.

Während Bruch[2]) beim *Weizen* ein schnelleres Absterben der Pflanzen in magnesia- und kalkfreien Nährlösungen als in den Lösungen, denen blofs der Kalk fehlte, konstatierte, fand Raumer[3]), dafs *Phaseolus multiflorus*-Pflanzen sich, ohne Kalk und Magnesia gezogen, kräftiger entwickelten und länger gesund erhielten als die in den kalkfreien Substraten.

Die Kulturversuche mit verschiedenen Pflanzen in Nährlösungen, in denen blofs Calciumsalze oder Calcium- und Magnesiumsalze fehlten, lieferten also so widersprechende Resultate, dafs aus denselben ein Schlufs auf die Wechselbeziehungen zwischen Calcium und Magnesium nicht möglich ist.

Für eine Wechselbeziehung dieser beiden Nährstoffe sprechen die Befunde von Wolff[4]) und Loew[5]).

Zur Klärung dieser Frage unternahm es einer von uns, Keimlinge von *Phaseolus vulgaris,* welche in verschiedenen Medien kultiviert wurden, quantitativ auf ihre Aschenbestandteile zu untersuchen. Den Untersuchungen liegt folgender Plan zugrunde:

1. Untersuchung der in einer normalen Nährstofflösung gezogenen Keimlinge;
2. Untersuchung der in einer normalen Nährstofflösung gezogenen Keimlinge; die Cotyledonen und Pflanzen werden getrennt verarbeitet;
3. Untersuchung der in einer kalkfreien Nährstofflösung gezogenen Keimlinge;
4. Untersuchung der in einer kalkfreien Nährstofflösung gezogenen Keimlinge; die Cotyledonen und Pflanzen werden getrennt verarbeitet;

---

1) Benecke W., l. c. Botanische Ztg. 1903.

2) Bruch P., l. c. pag. 8.

3) Raumer von E., l. c. pag. 254 und 268.

4) Wolff E., Mitteilungen von der landwirtschaftlichen Versuchsstation der Kgl. Akademie Hohenheim. Bericht über die in den Jahren 1866 und 1867 ausgeführten Vegetationsversuche in wässriger Lösung der Nährstoffe. Die landwirtschaftl. Versuchsstationen 1868, Bd. X, pag. 367.

5) Loew O., Über die physiologischen Funktionen der Calciumsalze. Botanisches Centralblatt Bd. LXXIV, 1898, Nr. 22/23, pag. 263, 264.

5. Untersuchung der in einer magnesiafreien Nährstofflösung gezogenen Keimlinge;
6. Untersuchung der in einer magnesiafreien Nährstofflösung gezogenen Keimlinge; die Cotyledonen und Pflanzen werden getrennt verarbeitet;
7. Untersuchung der in der Lösung eines Calciumsalzes gezogenen Keimlinge;
8. Untersuchung der in der Lösung eines Calciumsalzes gezogenen Keimlinge; die Cotyledonen und Pflanzen werden getrennt verarbeitet;
9. Untersuchung der in der Lösung eines Magnesiumsalzes gezogenen Keimlinge;
10. Untersuchung der in der Lösung eines Magnesiumsalzes gezogenen Keimlinge; die Cotyledonen und Pflanzen werden getrennt verarbeitet;
11. Untersuchung der Cotyledonen von Keimlingen, welche in einer Normallösung bis zum völligen Verbrauch der Reservestoffe in den Keimblättern gezogen werden;
12. bei jeder Versuchsreihe soll ein Teil der zur Verwendnng kommenden Samen auf die Aschenzusammensetzung untersucht werden. Wenn tatsächlich bei fehlendem Kalk das Calcium in den Calcium-Nucleïn- und Calcium-Plastinverbindungen durch Magnesium ersetzt wird, müfste sich dies durch die erhöhte Aufnahme des Magnesiums in den erkrankten Pflanzen bemerkbar machen.

Die geplanten chemischen Untersuchungen und der Vergleich der hiebei erzielten Resultate untereinander sollen uns darüber Aufschlufs geben, ferner soll festgestellt werden, ob bei Kalkmangel überhaupt ein anderer unentbehrlicher Nährstoff in erhöhtem Mafse aufgenommen wird.

Im nachfolgenden soll über den ersten Teil der Arbeit, welcher sich auf die im Plane unter 1—4 angegebenen Untersuchungen beschränkt, Bericht erstattet werden.

Die Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* wurden in kalkhältigen und kalkfreien Nährstofflösungen kultiviert. Es kamen Licht- und Dunkelkulturen in Verwendung und wurden die Pflanzen sowohl im ganzen, als auch einzelne Teile derselben auf die Zusammensetzung der Asche untersucht.

Da die Menge der Aschenbestandteile der Bohne, wie aus den Wolff'schen[1]) Tabellen ersichtlich ist, je nach dem Standorte stark

1) Wolff Emil, Aschenanalysen von landwirtschaftlichen Produkten, Fabrikabfällen und wildwachsenden Pflanzen (Berlin 1871) pag. 53.

variiert, wurde stets das Material gleicher Provenienz zu den Versuchen verwendet.

Bei jeder Versuchsreihe wurden Kulturen in einer normalen und einer kalkfreien Nährlösung mit der gleichen Anzahl von Keimlingen angesetzt. Zur Ausführung einer einmaligen Trennung der in der Pflanzenasche enthaltenen Stoffe wurden 250 Bohnen benötigt. Diese Pflanzen mit einer Durchschnittslänge von etwa 4—25 cm gaben ca. 3 g Asche, also gerade die zur Durchführung einer Analyse nötige Menge. Da zur Kontrole von jedem Versuche mindestens zwei Analysen ausgeführt werden mufsten, so waren von den normal und ohne Kalk gezogenen Bohnen minimal je 500 Pflanzen erforderlich. Das Keimprozent betrug beim Vorversuche 55 %, bei den anderen Versuchen blieb es ziemlich in der gleichen Höhe, nur in zwei Fällen erreichte es 90 %. Es mufsten daher zu einer Versuchsreihe ca. 2000 Samen verwendet werden.

Da bei dieser Menge die Verwendung der sonst üblichen Keimschalen umständlich war, ferner um eine eventuelle Aufnahme von Aschenbestandteilen möglichst zu vermeiden, wurden als Keimgefäfse Holzrahmen gebraucht, deren Boden aus dicht aneinander gezogenen Glasstäben bestand. Darauf wurde ohne das Holz zu berühren eine dicke Lage Filtrierpapier ausgebreitet, welche mit destilliertem Wasser befeuchtet als Keimboden diente.

Das sorgfältig ausgesuchte Samenmaterial wurde 24 Stunden in Bechergläsern in destilliertem Wasser quellen gelassen, sodann zum Keimen aufgelegt.

Die hier verwendeten Gläser, sowie alle gebrauchten Gefäfse, ferner Organtin und Bindfaden wurden zunächst mit verdünnter Salzsäure ausgekocht, dann wiederholt mit heifsem destilliertem Wasser gewaschen und schliefslich durch Ausblasen mit Wasserdampf gründlichst gereinigt.

Die von Pilzen und Bakterien befallenen Bohnen wurden sorgfältig entfernt.

Nach 24—48 Stunden hatten die Samen gekeimt. Die Kulturen wurden, sobald die Würzelchen die Gröfse von 1—2 cm erreicht hatten, angesetzt.

Als Kulturgefäfse wurden niedere, mit einem Wulstrande versehene glasierte Porzellanschalen mit dem Inhalte von 2 Litern, über welche weitmaschiger Organtin gespannt war, verwendet. Jede Schale fafste 120—150 Keimlinge, so dafs im ganzen acht Schalen für einen Kulturversuch ausreichten.

Bei einem Versuche wurde je eine für die kalkfreie und eine für die normale Kultur gebrauchte Schale mit Paraffin ausgegossen, um eventuelle Fehler, welche durch partielle Löslichkeit der Gefäfswände bedingt wären, zu bemerken. Diese Kulturen glichen völlig den in den übrigen Schalen gezogenen, es hatte also eine Aufnahme von Stoffen aus den Gefäfswänden nicht stattgefunden.

Die normalen und die kalkfreien Nährlösungen hatten folgende Zusammensetzung:

Die normale Nährlösung bestand aus:

0,25 g Kaliumnitrat, 1,00 g Calciumnitrat $+ 4\,H_2O$,
0,25 g Monokaliumphosphat, Spuren Eisensulfat,
0,25 g Magnesiumsulfat $+ 7\,H_2O$, in 1 Liter destilliertem Wasser.

Die kalkfreie Nährlösung enthielt:

0,25 g Kaliumnitrat, Spuren Eisensulfat,
0,25 g Monokaliumphosphat, in 1 Liter destilliertem Wasser.
0,25 g Magnesiumsulfat $+ 7\,H_2O$,

Die Kulturen wurden im feuchten Raume und im Zimmer aufgestellt. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft änderte an den Wachstumserscheinungen nichts; bei den Licht- und Dunkelkulturen zeigten sich ziemliche Differenzen.

Da die meisten Pflänzchen die Samenhaut gewöhnlich sehr früh abwerfen, so wurde dieselbe, um vollkommen vergleichbares Material zu erhalten, 24 Stunden nach dem Ansetzen der Kulturen allen Pflanzen abgezogen, was sich sehr leicht bewerkstelligen liefs.

Die Keimlinge der kalkfreien Kulturen zeigten die charakteristischen Krankheitssymptome: sehr vermindertes Wachstum, Bräunung der Wurzeln, Austritt eines Tropfens am Hypocotyl, Bräunung und Einschnürung des Hypocotyls.

Sobald der Tropfen sichtbar war, wurde eine gleiche Anzahl kranker und gesunder Pflanzen den Kulturen entnommen. Die Bohnen wurden, wenn ca. 500 Stück beisammen waren, was gewöhnlich innerhalb eines Tages der Fall war, mit destilliertem Wasser abgespült, sodann auf Glasplatten in einem Trockenschranke bei 110° bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die gepulverte Trockensubstanz wurde bei dunkler Rotglut in Platingefäfsen verascht, was höchstens 12 Stunden in Anspruch nahm. Die Veraschung ging in allen Fällen sehr leicht vor sich. Die Asche enthielt kaum merkliche Reste von Kohleteilchen, deren Gewicht, nach dem Lösen in Salpetersäure und Sammeln auf bei 110° getrockneten und gewogenen Filtern, bestimmt wurde.

Kieselsäure war in der Asche nicht vorhanden.

Die Bestimmung der Kohlensäure wurde wie üblich durch Austreiben mit Schwefelsäure und Absorption durch Kali ausgeführt.

Zieht man vom ursprünglichen Gewicht der Asche das der darin vorhandenen Kohlensäure und der Kohleteilchen ab, so bekommt man das Gewicht der Reinasche. Auf diese Zahl wurden alle Analysendaten bezogen.

Die weitere Untersuchung der Asche wurde im wesentlichen nach den Angaben von Fresenius[1]) durchgeführt und zwar in folgender Weise:

2—3 g Asche wurden in verdünnter Salpetersäure gelöst und bei 17,5° C. auf 250 ccm verdünnt.

In einem Teile A dieser Lösung wurde das Eisen, wo es in wägbarer Menge vorhanden war, mit Natriumacetat in essigsaurer Lösung zugleich mit einem Teile der Phosphorsäure als Eisenphosphat bestimmt, woraus sich das Eisen und ein Teil der Phosphorsäure berechnet.

Die von Eisen befreite Lösung wurde kochend mit Eisenchlorid und Natriumacetat versetzt, wobei ein Teil des zugesetzten Eisens mit der Phosphorsäure als Eisenphosphat, der Überschufs desselben aber als basisches Eisenacetat ausfällt. Nach dem Lösen in Salpetersäure, Fällen mit Ammoniummolybdat, Lösen in Ammoniak und Fällen mit Magnesiamixtur berechnet sich der zweite Teil der Phosphorsäure aus dem gewogenen Magnesiumpyrophosphat.

In der phosphorsäurefreien Lösung wurde das Calcium durch doppelte Fällung mit Ammoniumoxalat vom Magnesium getrennt und als Oxyd gewogen, während das Magnesium durch Fällen mit Natriumammoniumphosphat bestimmt wurde.

In einem zweiten Teile (B) der Aschenlösung wurde das Chlor als Chlorsilber bestimmt, in einem dritten Teile (C) nach dem Vertreiben der Salpetersäure der Schwefel als Bariumsulfat gefällt. In einem vierten Teile (D) der Lösung wurde nach Ausfällung der Schwefelsäure mit Bariumchlorid, der Basen mit Kalkmilch und des überschüssigen Kalkes mit Ammonkarbonat, das Kali als Chlorid bestimmt.

Im folgenden sollen die einzelnen Versuche besprochen werden. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabellen übersichtlich zusammengefafst.

---

1) Fresenius J. R., Quantitative Analyse, II. Bd. pag. 642.

Die Untersuchung ergab, dafs sich, trotzdem stets das gleiche Material verwendet wurde, doch nicht unbedeutende Schwankungen im Gehalte der einzelnen Bohnenpartien an Aschenbestandteilen zeigten.

Die Kulturen der folgenden vier Versuchsreihen wurden im Lichte aufgestellt.

I. Versuchsreihe. Die ersten Versuche fielen in die Zeit der trüben Wintermonate, welche sich speziell in den Jahren 1903 und 1904 durch starken Nebel auszeichneten, so dafs die Lichtverhältnisse ganz besonders schlechte waren. Die Temperatur des Raumes, in welchen die Versuche ausgeführt wurden, schwankte zwischen 22 und 25° C. Die ersten Zeichen der Erkrankung wurden erst nach 25 Tagen sichtbar, wobei die erkrankten Pflanzen eine Gröfse von ca. 20 cm, die gesunden eine solche von etwa 25 cm erreicht hatten. Wie träge hier das Wachstum erfolgte, ersieht man daraus, dafs unter günstigen Vegetationsbedingungen die gesunden Pflanzen dieselbe Gröfse schon in 6—8 Tagen erreichten. Die Bohnen hatten zwar noch kleine, aber deutlich entwickelte Blätter. Geringen Unterschieden im Habitus der Keimlinge entsprechen auch geringe Differenzen in der Aschenzusammensetzung.

Das Trockengewicht von 250 Keimlingen war bei der normalen Kultur 39,760 g, bei der kalkfreien 42,159 g, das Gewicht der Asche bei jener 3,097 g, bei dieser 2,968 g und betrug daher im ersten Falle 7,79 %, im letzteren 7,04 % der Trockensubstanz. Die Differenz im Aschengehalte betrug 4,17 %.

Die Ergebnisse der Analysen dieser sowohl, als auch der nächsten drei Versuchsreihen sind in der Tabelle I zusammengestellt. Die einzelnen Daten sind wie in Wolffs Tabellen mit drei Decimalen angegeben; es sei jedoch betont, dafs die dritte Stelle bereits unsicher ist.

Schwefel und Chlor werden beim Veraschen zum Teil wohl zugleich mit der organischen Substanz vertrieben. Wenn man die Veraschung unter ganz gleichen Verhältnissen vornimmt, was im Laufe dieser Untersuchungen geschehen ist, so erhält man zwar einigermafsen vergleichbare Zahlen, die jedoch nicht sicher genug sind, um aus denselben bestimmte Folgerungen ziehen zu können. Die diesbezüglichen Daten sind daher in den Tabellen fortgelassen worden.

Das Verhältnis von Kalk zu Magnesia ist für die normale Asche wie 1,67 : 1, für die kalkfreie aber wie 0,9 : 1.

In der letzten Rubrik der Tafel sind die in 250 Keimlingen vorhandenen Mengen der Elemente angegeben.

II. Versuchsreihe. Die im Monate Januar angesetzten Kulturen hatten dieselben ungünstigen Wachstumsbedingungen wie die der ersten Versuchsreihe; daher finden wir auch für alle Gewichtsverhältnisse den bei den ersten Versuchen angegebenen sehr änliche Zahlenwerte. Die Erkrankung wurde nach 21 Tagen sichtbar, die Gröfsenverhältnisse blieben denen bei der ersten Kultur gleich.

Das Gewicht der Trockensubstanz bei den gesunden Pflanzen betrug für 250 Pflanzen 42,260 g, bei den kranken 45,880 g; während die Asche der ersteren mit 3,023 g = 7,15 %, die der letzteren mit 2,900 g = 6,32 % vertreten war. Es war also das Aschengewicht der normalen Pflanzen um 4,07 % gröfser als das der kalkfreien. Es fällt hier gerade so wie bei der ersten Versuchsreihe der Überschufs der Magnesia wie aller übrigen Stoffe über den Kalk in den kalkfreien Kulturen auf. In der normalen Asche verhält sich der Kalk zu Magnesia wie 1,6 : 1, in der kalkfreien wie 0,88 : 1.

III. Versuchsreihe. Diese Versuchsreihe fiel in den Monat März, dessen allgemein günstigere Vegetationsverhältnisse sich auch bei unseren Versuchen bemerkbar machten. Die Krankheit trat schon nach 7—9 Tagen auf, während die Gröfse der normalen Pflanzen 12 cm, die der kalkfrei gezogenen 5 cm betrug. Was die Unterschiede im Gewichte der Trockensubstanz und der Asche der Kalkpflanzen und der ohne Kalk kultivierten Bohnen betrifft, so sind dieselben hier viel ausgesprochener, als bei den ersten Versuchsreihen. So betrug das Trockengewicht der normalen Keimlinge 42,391 g, das der kalkfreien 50,510 g, bei einem Aschengehalte von 3,395 g = 8,01 %, bzw. 2,815 g = 5,57 %. Die Differenz im Aschengehalte betrug 17,08 %.

Die Zusammensetzung der normalen Asche gleicht ziemlich der der vorigen Versuchsreihe; bei der kalkfreien Asche hingegen fällt der Überschufs aller anderen Stoffe über den Kalk noch viel mehr auf. Das Verhältnis des Kalkes zu Magnesia ist in der normalen Asche wie 1,29 : 1, bei den kalkfrei gezogenen Pflanzen wie 0,609 : 1. Es kommt also im letzteren Falle auf einen Teil Magnesiumoxyd blofs zirka die Hälfte jener Kalkmenge, welche in der normalen Asche einem Teile Magnesia entspricht.

IV. Versuchsreihe. Ähnliche Resultate wie die eben besprochenen lieferten die im April angesetzten Kulturen. Der Austritt des Tropfens am Hypocotyl erfolgte schon nach 5 Tagen bei einer Höhe der Pflanzen von 12 respektive 5 cm. Das Trockengewicht betrug bei normaler Kultur 49,231 g; bei den kalkfrei gezogenen

Keimlingen 57,552 g; die Aschenmenge bei jenen 3,470 g = 7,05 %, bei diesen 2,620 g = 4,55 %; es entsprechen also 100 g normaler Asche 75,50 g kalkfreier Asche.

Wie aus den Analysendaten zu ersehen ist, ist auch hier bei den kalkfrei kultivierten Keimlingen ein Überschufs aller übrigen Stoffe über den Kalk vorhanden. Die Verhältniszahlen von Kalk zu Magnesia gestalten sich für die normale Asche wie 1,32 : 1, für die kalkfreie wie 0,658 : 1. Es entfällt also auch hier auf einen Teil MgO in den kalkfrei gezogenen Bohnen beinahe die Hälfte der CaO-Menge, welche bei den Kalkpflanzen einem Teile MgO entspricht. Wie bei allen früheren Versuchen, so sind auch hier die kalkfreien Pflanzen viel ärmer an anorganischen Bestandteilen als die normalen.

Die Kulturen der nun zu besprechenden Versuche wurden im Dunkeln angestellt und wurden dieselben den Lichtkulturen ganz analog behandelt. Eine Übersicht der Resultate findet sich in der Tabelle II.

V. Versuchsreihe. Die Erkrankung trat am vierten Tage auf. Nur bei den gröfsten Pflanzen waren die Blätter schon herausgetreten, bei den meisten waren sie noch zwischen den Keimblättern eingeschlossen. Die gesunden Keimlinge erreichten eine Höhe von 10 cm, die erkrankten nur eine solche von 4 cm. Das Gewicht der Trockensubstanz von 250 Bohnen betrug bei der normalen Kultur 48,909 g, bei der kalkfreien 55,257 g, mit einem Aschengehalt von 3,150 g = 6,44 % bei jenen und 2,529 g = 4,58 % bei diesen. Die Gewichtsdifferenz beider Aschen betrug 19,71 %.

Bei den kalkfreien Kulturen fällt der aufserordentlich geringe Kalkgehalt auf, der weit hinter dem Werte der lichtgezogenen kalkfreien Pflanzen zurückbleibt. Da diese keinen Kalk aufnehmen konnten, so kann man diese niedere Zahl der Kalkmenge nur dadurch erklären, dafs man eine Diffussion des Kalkes aus der Pflanze in die Nährlösung annimmt. Diese Vermutung wurde durch das Experiment vollauf bestätigt; es liefs sich nämlich im Nährsubstrate der calciumfreien Dunkelkulturen Calcium leicht nachweisen, während dies bei den Lichtkulturen nicht der Fall war.

Das Verhältnis von Calciumoxyd zu Magnesiumoxyd wird jetzt ein anderes. Für die normalen Keimlinge ist es 1 : 1, für die kranken aber 0,38 : 1.

VI. Versuchsreihe. Fast gleiche Zahlen ergaben die Analysen der sechsten Versuchsreihe, welche unter beinahe ganz gleichen Ver-

Tabelle I. Übersicht über die Resultate der Lichtkulturen.

Monat	Versuchsreihe	Versuch	Art der Kultur	Dauer der Kultur	Größe der Keimlinge	Gewicht der Trockensubstanz	Gewicht der Asche	Percente der Asche bezogen auf die Trockensubstz.	Differenz im Aschengehalt	100 g Asche enthalten Gramme					250 Keimlinge enthalten Gramme			
										Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5
Dezember	I	1	normale Nährlösung	25 Tage	25 cm	39,760 g	3,097 g	7,79	4,17 %	0,190	9,410	5,630	51,041	23,896	0,291	0,174	1,581	0,740
		2								0,192	9,412	5,621	51,085	23,890				
		1	kalkfreie Nährlösung		20 cm	42,159 g	2,968 g	7,04		0,190	5,310	5,900	51,600	25,900	0,158	0,175	1,531	0,769
		2								0,190	5,310	5,900	51,590	25,911				
Januar	II	3	normale Nährlösung	21 Tage	25 cm	42,260 g	3,023 g	7,15	4,07 %	0,196	9,397	5,840	50,000	24,000	0,284	0,177	1,512	0,726
		4								0,196	9,392	5,839	50,005	24,002				
		3	kalkfreie Nährlösung		20 cm	45,880 g	2,900 g	6,32		0,193	5,414	6,100	50,463	26,790	0,157	0,177	1,463	0,777
		4								0,193	5,411	6,105	50,434	26,796				
März	III	5	normale Nährlösung	7–9 Tg.	12 cm	42,391 g	3,395 g	8,01	17,08 %	Sp.	9,050	7,000	50,103	22,967	0,307	0,238	1,703	0,780
		6									9,030	7,012	50,196	22,960				
		5	kalkfreie Nährlösung		5 cm	50,510 g	2,815 g	5,57		Sp.	5,100	8,371	53,851	28,811	0,144	0,236	1,516	0,811
		6									5,096	8,366	53,847	28,802				
April	IV	7	normale Nährlösung	5 Tage	12 cm	49,231 g	3,470 g	7,05	24,50 %	Sp.	8,770	6,625	50,521	23,531	0,304	0,230	1,753	0,816
		8									8,765	6,610	50,530	23,528				
		7	kalkfreie Nährlösung		5 cm	57,552 g	2,620 g	4,55		Sp.	4,710	7,168	53,450	27,509	0,123	0,188	1,401	0,722
		8									4,706	7,157	53,470	27,581				

Tabelle II. Übersicht über die Resultate der Dunkelkulturen.

April	V	9	normale Nährlösung	4 Tage	10 cm	48,909 g	3,150 g	6,44	19,71 %	Sp.	6,392	6,400	53,620	23,840	0,201	0,201	1,689	0,751
		10									6,382	6,380	53,600	23,830				
		9	kalkfreie Nährlösung		4 cm	55,257 g	2,529 g	4,58		Sp.	2,462	6,498	54,000	26,432	0,063	0,164	1,366	0,668
		10									2,493	6,487	54,010	26,422				
April	VI	11	normale Nährlösung	4 Tage	10 cm	48,000 g	3,086 g	6,43	19,12 %	Sp.	6,400	6,390	53,733	23,640	0,198	0,197	1,663	0,730
		12									6,401	6,388	54,041	23,650				
		11	kalkfreie Nährlösung		4 cm	54,860 g	2,496 g	4,55		Sp.	2,401	6,512	54,707	26,200	0,060	0,162	1,363	0,654
		12									2,398	6,500	54,521	26,201				

hältnissen durchgeführt wurde wie die fünfte, nur wurden die Keimlinge in einem feuchten Raume kultiviert.

Die Erkrankung trat nach vier Tagen auf; die Gröfse der Pflanzen war die gleiche wie bei den vorigen Versuchen und zwar 10 cm für die normalen, 4 cm für die ohne Kalk gezogenen Keimlinge. Das Trockengewicht von 250 normalen Pflanzen betrug 48,000 g, das von ebenso vielen kalkfrei gezogenen 54,860 g, mit einem Aschengehalt von 6,43 % = 3,086 g bei jenen und 4,55 % = 2,496 g bei diesen. Die Gewichtsdifferenz ergab 19,12 %.

Auch die anderen Verhältnisse wiederholten sich hier, wie es aus den Analysendaten zu ersehen ist. Das Kalk-Magnesia-Verhältnis ist dem beim ersten Dunkelversuche sehr ähnlich.

Aus den mitgeteilten Versuchen geht vor allem hervor und ist auch aus den beigefügten Tabellen (I, II u. III) ersichtlich, dafs die Erkrankung der ohne Kalk gezogenen Keimlinge um so früher eintritt, je günstiger die sonstigen Vegetationsbedingungen sind. Die schnell wachsenden, im Dunkeln kultivierten Pflanzen erkrankten in 4 Tagen, die der Lichtkulturen im März, April und Mai in 5—10 Tagen; während bei den infolge geringer Lichtintensität im Dezember und Januar im Wachstum zurückgebliebenen Bohnen die ersten Krankheitssymptome erst nach 21 und 25 Tagen auftraten. Die letzteren hatten zu dieser Zeit bereits eine Durchschnittslänge von 20 cm erreicht, während die Keimlinge der anderen kalkfreien Kulturen nur 4—8 cm lang wurden. Der Längenunterschied der Hypocotyle der Bohnen in den kalkhältigen und kalkfreien Lösungen betrug bei den zwei ersten Versuchsreihen (Lichtkulturen: Dezember, Januar) ca. 5 cm, bei den folgenden Versuchsreihen (Lichtkulturen März—Mai) ca. 7 cm, bei den Dunkelversuchen ca. 6 cm.

Je günstiger die Wachstumsbedingungen sind, um so mehr bleiben die kalkfrei gezogenen Pflanzen gegenüber den in kalkhältigen Nährlösungen kultivierten zurück. Es stimmt dies mit den anläfslich früherer Versuche[1]) gemachten Beobachtungen. Die Dunkelkulturen erkrankten meist früher als die Lichtkulturen; erhöhte Temperatur oder günstigere Bedingungen für die Assimilation hatten eine raschere Erkrankung der kalkfreien Pflanzen zur Folge.

Auffallend ist die Tatsache, dafs das Gewicht der Trockensubstanz der Keimlinge der kalkfreien Kulturen stets gröfser war als das

---

1) Portheim von L., Über die Notwendigkeit des Kalkes für Keimlinge, insbesondere bei höherer Temperatur. Sitzber. d. Wiener Akademie 1901. Mat.-nat. Cl. Bd. CX, Abt. I.

der viel gröfseren und stärkeren Keimlinge der kalkhältigen Kulturen. Worauf diese Erscheinung beruht, konnte noch nicht festgestellt werden, doch ist es höchst wahrscheinlich, dafs dies auf die intensiveren, dissimilativen Vorgänge im Stoffwechsel der Kalkpflanzen zurückzuführen ist.

Der Aschengehalt der Bohnen in der kalkhältigen Nährlösung war stets gröfser als der der Pflanzen in der kalkfreien Lösung.

Bei ungünstigen Wachstumsverhältnissen war die Differenz im Gewichte der Asche beinahe nur auf den fehlenden Kalk bei den kalkfreien Kulturen zurückzuführen.

	Differenz im Gewichte der Asche	Differenz im Kalkgehalte in Perzenten der Asche der normalen Pflanzen
I. Versuchsreihe	4,17 %	4,32 %
II. „	4,07 %	4,20 %

Der kleine Unterschied von 0,15 und 0,13 % resultiert daraus, dafs einige Stoffe in erhöhtem, andere wiederum, wie z. B. Kali, in geringerem Mafse in der Asche der kalkfrei gezogenen Pflanzen vorhanden waren.

100 Teilen Asche der Kalkpflanzen entsprechen bei einer

Aschendifferenz von	Versuchsreihe	(Versuch)	Teile Asche kalkfrei gezog. Pflanzen.	Diese Aschenmenge enthält Teile CaO.
4,17 %	I.	1.	95,83	5,089
		2.		5,089
4,07 %	II.	3.	95,93	5,194
		4.		5,191
17,08 %	III.	5.	82,92	4,229
		6.		4,226
24,50 %	IV.	7.	75,50	3,556
		8.		3,553
19,71 %	V.	9.	80,29	1,977
		10.		2,002
19,12 %	VI.	11.	80,88	1,942
		12.		1,940

Der Unterschied im Kalkgehalte in der Asche der Kalkpflanzen und der kalkfrei gezogenen Bohnen beträgt daher:

I. Versuchsreihe 1. Versuch 4,32 %
2. „ 4,32 %

II. Versuchsreihe	3. Versuch	4,20 %	
	4. „	4,20 %	
III. „	5. „	4,82 %	
	6. „	4,80 %	
IV. „	7. „	5,21 %	
	8. „	5,21 %	
V. „	9. „	4,42 %	
	10. „	4,38 %	
VI. „	11. „	4,46 %	
	12. „	4,46 %	

Teile Asche kalkfrei gezog. Pflanzen	Versuchs-reihe	(Versuch)	enthielten Teile	Die Differenz im Magnesiagehalte der beiden Aschen betrug
95,84	I.	1.	5,655 MgO.	0,03 %
		2.	5,655 „	0,03 %
95,93	II.	3.	5,852 „	0,01 %
		4.	5,857 „	0,02 %
82,92	III.	5.	6,941 „	0,06 %
		6.	6,937 „	0,08 %
75,50	IV.	7.	5,412 „	1,21 %
		8.	5,404 „	1,21 %
80,29	V.	9.	5,217 „	1,18 %
		10.	5,208 „	1,17 %
80,88	VI.	11.	5,267 „	1,12 %
		12.	5,257 „	1,13 %

Der gröfste Unterschied im Kalkgehalte der beiden Aschen findet sich bei den Kulturen der III. und IV. Versuchsreihe mit einer Differenz von 4,81 respektive von 5,21 %. Es waren hier zur Zeit der Versuchsanstellung die Vegetationsbedingungen sehr günstig, günstiger als bei den beiden anderen im Lichte aufgestellten Versuchsreihen, bei denen die Asche der Kalkpflanzen um 4,32 resp. 4,20 % mehr Calciumoxyd enthielt als die der ohne Kalk gezogenen Pflanzen. Bei den Dunkelkulturen betrug die Durchschnittsdifferenz 4,43 %.

Die Differenz im Kalkgehalte der gesunden Pflanzen den erkrankten gegenüber schwankte, vergleicht man die Versuchsergebnisse unter den günstigsten Wachstumsbedingungen mit denen bei den ungünstigsten Vegetationsverhältnissen um 1,01 %.

Diese Differenz entsteht sowohl durch Aufnahme von Kalk aus dem Substrate bei den Kalkpflanzen, als auch durch das Austreten des Kalkes aus der Pflanze in die Nährlösung bei manchen kalkfreien Kulturen (s. Seite 272).

Was den Unterschied im Magnesiagehalte anbelangt, so waren bei den im Winter angestellten Versuchen in den beiden Aschen gleiche Magnesiamengen vorhanden. Das sich bei der Berechnung ergebende Plus an Magnesia von 0,01—0,03 % in der Asche der kalkfrei kultivierten Keimlinge ist so gering, dafs es wohl nicht berücksichtigt werden mufs.

Mit der Besserung der Wachstumsverhältnisse vergröfserte sich der Unterschied im Gehalte der beiden Aschen an Magnesia. Bei den April-Kulturen enthielt die Asche der in der Normallösung kultivierten Keimlinge um 1,21 % mehr Magnesia als die Asche der ohne Kalk gezogenen Bohnen. Im Dunkeln wurden Differenzen von 1,12 bis 1,18 % erreicht. Der Unterschied im Magnesiagehalte der Kalkpflanzen den kalkfrei gezogenen Pflanzen gegenüber schwankte um 1,18%.

Vergleicht man die in der Asche von 250 Keimlingen vorhandenen Mengen von Kali, so findet man, dafs der Unterschied im Gehalte desselben in den beiden Aschen mit dem freudigeren Wachstum gröfser wird. Für die Lichtkulturen ergaben sich folgende Differenzen: Versuchsreihe I 0,050 g, II 0,049 g, III 0,187 g, IV 0,352 g, für die Dunkelkulturen: Versuchsreihe V 0,323 g, VI 0,300 g.

Der Phosphor, der als Phosphorsäureanhydrid bestimmt wurde, war bei den Lichtkulturen, mit Ausnahme der IV. Versuchsreihe, in den kranken Pflanzen in etwas reichlicherer Menge vorhanden als in den gesunden Bohnen, während die gesunden Dunkelpflanzen gegenüber den erkrankten einen kleinen Mehrgehalt an P_2O_5 aufwiesen.

Über die Verteilung der Aschenbestandteile in der Asche von 250 Keimlingen von *Phaseolus vulgaris,* welche mit und ohne Kalk gezogen worden waren, gibt die folgende Zusammenstellung Aufschlufs. Es geht aus derselben auch das Verhältnis von Kalk zu Magnesia in den einzelnen Kulturen hervor.

Lichtkulturen:

Versuchsreihe	Je 1 Teil	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	Verhältnis von CaO : MgO.
		war enthalten in Teilen Asche:				
I.	Normallösung	10,64	17,80	1,96	4,19	1 : 0,60
	kalkfreie Lösung	18,78	16,96	1,94	3,86	1 : 1,11
II.	Normallösung	10,64	17,08	2,—	4,16	1 : 0,62
	kalkfreie Lösung	18,47	16,39	1,98	3,73	1 : 1,13
III.	Normallösung	11,06	14,26	1,99	4,35	1 : 0,78
	kalkfreie Lösung	19,55	11,93	1,86	3,47	1 : 1,64
IV.	Normallösung	11,41	15,09	1,98	4,25	1 : 0,76
	kalkfreie Lösung	21,30	13,94	1,87	3,63	1 : 1,53

Dunkelkulturen:

Versuchsreihe	Je 1 Teil	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	Verhältnis von CaO : MgO.
		war enthalten in Teilen Asche:				
V.	Normallösung	15,67	15,67	1,87	4,19	1 : 1
	kalkfreie Lösung	40,14	15,42	1,85	3,79	1 : 2,60
VI.	Normallösung	15,59	15,67	1,86	4,23	1 : 0,99
	kalkfreie Lösung	41,60	15,41	1,83	3,82	1 : 2,70

CaO: Bei den vier ersten Versuchsreihen war der Kalk in der Asche der normal gezogenen Pflanzen ziemlich gleichmäfsig vertreten und zwar in dem Verhältnis wie 1 : 11. Bei den kalkfreien Kulturen, bei denen naturgemäfs geringere Kalkmengen in der Asche vorhanden sein mufsten, entsprachen um so mehr Teile der Asche einem Teile Kalk, je günstiger die Wachstumsverhältnisse waren. Die gesunden Dunkelpflanzen enthielten weniger Kalk als die Lichtpflanzen und ganz besonders gering war der Kalkgehalt der im Dunkeln ohne Kalk kultivierten Bohnen.

K_2O. Wie beim Kalk, so blieb sich auch bei den vier Versuchsreihen der Lichtkulturen das Verhältnis des Kalis zu den übrigen Aschenbestandteilen in den Pflanzen der normalen Nährstofflösungen annähernd gleich. Im Dunkeln war das Verhältnis des Kali zur Gesamtasche wie 1 : 1,87 resp. 1,86. Bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen der beiden ersten Versuchsreihen war die Verteilung des Kali in der Asche beinahe die gleiche wie bei den Kalkpflanzen. Die fünfte und sechste Versuchsreihe ergaben dasselbe Resultat, während bei den anderen Versuchen eine Zunahme der Konzentration[1]) von K_2O in der Asche der erkrankten Keimlinge zu beobachten war.

P_2O_5. Bei den Kalkpflanzen der Licht- und Dunkelkulturen entfällt auf einen Teil P_2O_5 die gleiche Aschenmenge; das Verhältnis des Phosphorpentoxyds zur Gesamtasche ist wie 1 : 4,2, nur bei der dritten Versuchsreihe wie 1 : 4,4. In der Asche der ohne Kalk gezogenen Keimlinge ist das Phosphorpentoxyd stets konzentrierter vorhanden als bei den Normalpflanzen.

MgO. Während das Verhältnis von CaO, K_2O und P_2O_5 zu den übrigen Aschenbestandteilen in der Asche der normal kultivierten Bohnen der Lichtkulturen ziemlich unverändert blieb, war MgO in der Asche der einzelnen Kulturen ganz verschieden konzentriert. Die

---

1) Der Kürze halber wurden in dieser Arbeit die Ausdrücke gröfsere oder kleinere Konzentration gebraucht, um auszudrücken, dafs einem Teile einer Aschenkomponente eine geringere oder gröfsere Menge der Gesamtasche entspricht.

Asche der kranken Pflanzen enthielt verhältnismäfsig viel mehr MgO als die der gesunden, und zwar um so mehr, je günstiger die Bedingungen für das Wachstum waren. In den gesunden Keimlingen der Dunkelkulturen war das Magnesiumoxyd gleich konzentriert; bei den kranken Pflanzen war mehr MgO in der Asche vorhanden, der Unterschied im Magnesiagehalte der beiden Aschen war aber nicht so grofs wie bei den Kulturen im Licht.

Aus der Zusammenstellung der für Kalk und Magnesia gefundenen Verhältniszahlen geht hervor, dafs die Kalkpflanzen der Lichtkulturen immer weniger MgO als CaO enthielten, während in der Asche der gesunden Pflanzen der Dunkelkulturen beiläufig gleich grofse Mengen beider Stoffe vorhanden waren. Bei den Pflanzen, denen kein Kalk zugeführt worden war, war stets ein Plus an Magnesia im Vergleich zum Kalke zu beobachten. Unter günstigen Vegetationsbedingungen war die Differenz gröfser als unter ungünstigen, am gröfsten im Dunkeln, wo auf einen Teil CaO 2,7 Teile MgO kamen.

Die bisher besprochenen Versuche gestatteten einen Einblick in die Zusammensetzung der Asche der normal und kalkfrei gezogenen Keimlinge. Es war aber aus denselben nicht zu ersehen, wie Kalk und Magnesia in der Pflanze verteilt waren. Um dies festzustellen wurden Versuchsreihen mit Keimlingen von *Phaseolus vulgaris* aufgestellt, bei denen die Pflanzen und die Cotyledonen getrennt verarbeitet und auf ihren Gehalt an Aschenbestandteilen geprüft wurden.

Die ganze Versuchsanordnung blieb dieselbe wie oben beschrieben. Die einzelnen Versuche hatten folgende Ergebnisse:

VII. Versuchsreihe. Die ersten dieser Versuche wurden im Monate Mai im Lichte ausgeführt.

Die normal kultivierten Pflanzen erreichten zur Zeit des Auftretens der Krankheit bei den kalkfrei gezogenen Bohnen, was am fünften Tage eintrat, eine Gröfse von 11,5 cm, während die kranken Bohnen blofs eine Gröfse von 4—5 cm erreichten. 250 bei 110° getrocknete normale Pflanzen wogen 22,800 g, die Asche 2,797 g = 12,27 %. Das Gewicht der Cotyledonen betrug 26,430 g mit dem Aschengehalte von 1,013 g = 3,83 %.

Bei den kalkfreien Kulturen hatte die gleiche Menge Pflanzen blofs ein Gewicht von 7,197 g, bei einem Aschengehalte von 0,590 g = 8,20 %; die Cotyledonen aber wogen 50,355 g, die Asche 2,029 g = 4,03 %. Die Cotyledonen der gesunden Keimlinge waren stärker aufgebraucht als die der erkrankten.

VIII. Versuchsreihe. Ähnliche Verhältnisse ergaben sich bei einer zweiten im Lichte ausgeführten Versuchsreihe. Der Ausbruch der Krankheit war hier erst am 10. Tage bemerkbar. Die gesunden Pflanzen waren ca. 15 cm, die kranken etwa 8 cm grofs geworden. Das Gewicht der normalen Pflanzen ohne Cotyledonen betrug 26,177 g, das der entsprechenden Keimblätter 20,422 g; das Gewicht der erkrankten Pflanzen betrug blofs 11,067 g, das der Cotyledonen 46,350 g. Der Aschengehalt der Bohnen bei der normalen Kultur war für die Pflanzen 2,764 g = 10,56 %, für die Cotyledonen 0,874 g = 4,28 %; bei der kalkfreien Kultur aber 0,956 g = 8,64 % für die Pflanzen und 1,958 g = 4,22 % für die isolierten Keimblätter.

IX. Versuchsreihe. Wie bei den früheren Versuchen, so liefsen auch bei dieser Versuchsreihe, welche im Dunkeln durchgeführt wurde, die Dunkelpflanzen die Verhältnisse viel deutlicher erkennen. Die Erkrankung erfolgte wie bei der fünften und sechsten Versuchsreihe am 4. Tage; die erreichte Gröfse war die gleiche wie bei den früheren Dunkelkulturen. 250 normal gezogene Pflanzen hatten ein Trockengewicht von 19,293 g, die entsprechenden Cotyledonen von 29,853 g. Das Gewicht der Asche der ersteren betrug 1,841 g = 9,54 %, das der letzteren 1,225 g = 4,10 %. Bei den kalkfrei gezogenen Pflanzen wurde das Gewicht von 7,010 g für die Trockensubstanz gefunden, bei einem Aschengehalte von 0,649 g = 9,26 %. Die Cotyledonen wogen 43,447 g, die Asche derselben 1,925 g = 4,43 %.

Schliefslich wurde noch der Same von *Phaseolus vulgaris* allein einer Prüfung unterzogen. Zu diesem Behufe wurden 250 Bohnen durch 24 Stunden in destilliertem Wasser quellen gelassen, von der Samenhaut befreit und bei 110° getrocknet. Es hat sich ergeben, dafs die bei der Untersuchung der Bohnensamen erzielten Resultate für unsere Zwecke nicht verwendbar waren; es wird daher von nun an, um vergleichbare Daten zu erhalten, bei jeder Versuchsreihe ein Teil der zur Verwendung kommenden Samen einer quantitativen Analyse unterzogen werden.

In der beigeschlossenen Tabelle III sind die für die VII., VIII. und IX. Versuchsreihe erzielten Resultate der Analysen zusammengestellt, während im folgenden die Verteilung der Aschenbestandteile in der Asche der der Cotyledonen beraubten Keimlinge und der isolierten Keimblätter veranschaulicht wird.

Verteilung der anorganischen Stoffe in den Cotyledonen von *Phaseolus vulgaris:*

otyledonenasche lten Gramme			In 250 Pflanzen sind enthalten Gramme				In 500 Cotyledonen sind enthalten Gramme			
gO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5
,86	49,14	22,14	0,235	0,164	1,382	0,651	0,090	0,080	0,498	0,224
,41	52,09	30,70	0,012	0,033	0,312	0,107	0,109	0,150	1,057	0,623
,92	49,60	22,24	0,236	0,157	1,362	0,641	0,073	0,069	0,434	0,194
,25	52,00	30,00	0,018	0,053	0,509	0,176	0,104	0,142	1,018	0,587
,36	54,32	23,46	0,122	0,099	0,909	0,443	0,074	0,090	0,665	0,287
,31	54,32	23,44								
,07	54,00	27,06	0,006	0,051	0,347	0,189	0,053	0,136	1,040	0,520
,02	54,00	27,00								
,12	56,77	30,50					0,114	0,200	1,598	0,859

Tabelle III. Verteilung der Stoffe in der Pflanze und in den Cotyledonen.

Monat	Versuchsreihe	Versuch	Art der Kultur	Dauer der Kultur	Gröfse der Pflanzen	Pflanzen ohne Cotyledonen				Cotyledonen				100 g Pflanzenasche enthalten Gramme				100 g Cotyledonenasche enthalten Gramme				In 250 Pflanzen sind enthalten Gramme				In 500 Cotyledonen sind enthalten Gramme			
						Gewicht der Trockensubstanz	Gewicht der Asche	Percente der Asche bezogen auf die Trockensubstanz	Differenz im Aschengehalte	Gewicht der Trockensubstanz	Gewicht der Asche	Percente der Asche bezogen auf die Trockensubstanz	Differenz im Aschengehalte	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5
Mai	VII	13	Licht, normale Nährlösung	5 Tage	11,5 cm	22,800 g	2,797 g	12,27	78,91 %	26,430 g	1,013 g	3,83	−100,30 %	8,41	5,85	49,41	23,27	8,85	7,86	49,14	22,14	0,235	0,164	1,382	0,651	0,090	0,080	0,498	0,224
Mai	VII	13	Licht, kalkfreie Nährlösung	5 Tage	4 – 5 cm	7,197 g	0,590 g	8,20	78,91 %	50,355 g	2,029 g	4,03	−100,30 %	1,98	5,58	52,88	18,20	5,37	7,41	52,09	30,70	0,012	0,033	0,312	0,107	0,109	0,150	1,057	0,623
Mai	VIII	14	Licht, normale Nährlösung	10 Tage	15 cm	26,177 g	2,764 g	10,56	65,41 %	20,422 g	0,874 g	4,28	−124,03 %	8,55	5,68	49,26	23,20	8,30	7,92	49,60	22,24	0,236	0,157	1,362	0,641	0,073	0,069	0,434	0,194
Mai	VIII	14	Licht, kalkfreie Nährlösung	10 Tage	8 cm	11,067 g	0,956 g	8,64	65,41 %	46,350 g	1,958 g	4,22	−124,03 %	1,87	5,58	53,26	18,41	5,30	7,25	52,00	30,00	0,018	0,053	0,509	0,176	0,104	0,142	1,018	0,587
Juni	IX	15	Dunkel, normale Nährlösung	4 Tage	10 cm	19,293 g	1,841 g	9,54	64,75 %	29,853 g	1,225 g	4,10	− 57,14 %	6,65	5,36	49,37	24,09	6,02	7,36	54,32	23,46	0,122	0,099	0,909	0,443	0,074	0,090	0,665	0,287
Juni	IX	16	Dunkel, normale Nährlösung	4 Tage	10 cm	19,293 g	1,841 g	9,54	64,75 %	29,853 g	1,225 g	4,10	− 57,14 %	6,65	5,36	49,35	24,00	6,02	7,34	54,32	23,44	0,122	0,099	0,909	0,443	0,074	0,090	0,665	0,287
Juni	IX	15	Dunkel, kalkfreie Nährlösung	4 Tage	4 cm	7,010 g	0,649 g	9,26	64,75 %	43,447 g	1,925 g	4,43	− 57,14 %	0,86	7,92	53,45	29,15	2,73	7,07	54,00	27,06	0,006	0,051	0,347	0,189	0,053	0,136	1,040	0,520
Juni	IX	16	Dunkel, kalkfreie Nährlösung	4 Tage	4 cm	7,010 g	0,649 g	9,26	64,75 %	43,447 g	1,925 g	4,43	− 57,14 %	0,86	7,90	53,41	29,15	2,74	7,02	54,00	27,00	0,006	0,051	0,347	0,189	0,053	0,136	1,040	0,520
										Samen:								4,04	7,12	56,77	30,50					0,114	0,200	1,598	0,859

Lichtkulturen:

Versuchsreihe	Je 1 Teil war enthalten in Teilen Asche:	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	Verhältnis von CaO : MgO.
VII.	Normallösung	11,26	12,66	2,03	4,52	1 : 0,89
	kalkfreie Lösung	18,61	13,53	1,92	3,26	1 : 1,38
VIII.	Normallösung	11,97	12,67	2,01	4,51	1 : 0,95
	kalkfreie Lösung	18,83	13,79	1,92	3,34	1 : 1,37
	Dunkelkulturen:					
IX.	Normallösung	16,55	13,61	1,84	4,27	1 : 1,22
	kalkfreie Lösung	36,32	14,15	1,85	3,70	1 : 2,57

Verteilung der anorganischen Stoffe in den Keimlingen von *Phaseolus vulgaris,* denen die Cotyledonen abgenommen worden waren:

Lichtkulturen:

Versuchsreihe	Je 1 Teil war enthalten in Teilen Asche:	CaO	MgO	K_2O	P_2O_5	Verhältnis von CaO : MgO.
VII.	Normallösung	11,90	17,05	2,02	4,30	1 : 0,70
	kalkfreie Lösung	49,17	17,88	1,89	5,51	1 : 2,75
VIII.	Normallösung	11,71	17,61	2,03	4,31	1 : 0,67
	kalkfreie Lösung	53,11	18,04	1,88	5,43	1 : 2,94
	Dunkelkulturen:					
IX.	Normallösung	15,09	18,60	2,03	4,16	1 : 0,81
	kalkfreie Lösung	108,17	12,73	1,87	3,43	1 : 8,50

Aus der Tabelle III und den obigen Zusammenstellungen ergibt sich folgendes:

100 Teilen Asche der Cotyledonen bei den Kalkpflanzen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der VII. Versuchsreihe um 100,30 % mehr Asche.

100 Teilen Asche der Cotyledonen bei den Kalkpflanzen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der VIII. Versuchsreihe um 124,03 % mehr Asche.

100 Teilen Asche der Cotyledonen bei den Kalkpflanzen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der IX. Versuchsreihe um 57,14 % mehr Asche.

Es waren enthalten in

Teilen kalkfreier Asche	bei der Versuchsreihe	(Versuch)	Teile		und	Teile	
200,30	VII.	13.	10,76	CaO		14,84	MgO.
224,03	VIII.	14.	11,87	„		16,24	„
157,14	IX.	15.	4,29	„		11,11	„
157,14	IX.	16.	4,31	„		11,03	„

100 Teilen Asche der Pflanzen ohne Cotyledonen bei den Kalkkeimlingen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der VII. Versuchsreihe um 78,91 % weniger Asche.

100 Teilen Asche der Pflanzen ohne Cotyledonen bei den Kalkkeimlingen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der VIII. Versuchsreihe um 65,41 % weniger Asche.

100 Teilen Asche der Pflanzen ohne Cotyledonen bei den Kalkkeimlingen entsprach bei den kalkfrei gezogenen Keimlingen bei der IX. Versuchsreihe um 64,75 % weniger Asche.

Es waren enthalten in:

Teilen kalkfreier Asche	bei der Versuchsreihe	(Versuch)	Teile		und	Teile	
21,09	VII.	13.	0,42	CaO		1,18	MgO.
34,59	VIII.	14.	0,65	„		1,93	„
35,25	IX.	15.	0,30	„		2,79	„
35,25	IX.	16.	0,30	„		2,78	„

Es enthielten also 100 Teile Asche der Pflanzen und Cotyledonen der Kalkkulturen mit denen der kalkfreien Kulturen verglichen:

In den Pflanzen:

bei d. Versuchsreihe	(Versuch)	um mehr Teile Kalk	und	um mehr Teile Magnesia.
VII.	13.	7,99		4,67
VIII.	14.	7,90		3,75
IX.	15.	6,35		2,57
IX.	16.	6,35		2,58
In den Cotyledonen:		um Teile Kalk		um Teile Magnesia
VII.	13.	1,91 weniger		6,98 weniger.
VIII.	14.	3,57 „		8,32 „
IX.	15.	1,73 mehr		3,75 „
IX.	16.	1,71 „		3,69 „

Während die Pflanzen der Kalkkulturen bei der VII. Versuchsreihe um 1,070 g, bei der VIII. um 0,853 g bei der IX. um 0,562 g mehr Kali als die der kalkfreien Kulturen enthielten, war in den Cotyledonen der Kalkpflanzen bei der VII. Versuchsreihe um 0,559 g, bei der VIII. um 0,584 g, bei der IX. um 0,375 g weniger Kali als bei den kalkfrei kultivierten Keimlingen enthalten.

An P_2O_5 enthielten die Pflanzen der normalen Kulturen bei der VII. Versuchsreihe um 0,544 g, bei der VIII. um 0,465 g, bei der IX. um 0,254 g mehr als die der Kulturen ohne Kalk. Die Cotyledonen der mit Kalk kultivierten Keimlinge waren bei der VII. Versuchsreihe

um 0,399 g, bei der VIII. um 0,393 g und bei der IX. um 0,233 g ärmer an P_2O_5 als die der ohne Kalk gezogenen Bohnen.

Die Differenz im Gehalte der einzelnen Stoffe in den beiden Aschen war im Dunkeln immer geringer als im Licht. Die Aufstellungen über die Verteilung der Nährstoffe in der Asche ergeben folgende Resultate:

CaO. In der Asche der Cotyledonen der im Lichte gezogenen Kalkpflanzen kam ein Teil Calciumoxyd auf 11,26 bis 11,97 Teile Asche, in der Asche der von den Cotyledonen befreiten Pflanzen auf 11,71 bis 11,90 Teile Asche. Im Dunkeln entsprachen bei den Cotyledonen 16,55, bei den Pflanzen 15,09 Teile der Asche einem Teile Kalk.

Obzwar in den Keimblättern der kalkfreien Kulturen im Licht mehr Kalk enthalten war als in denen der Normalkulturen, so war derselbe doch in der Asche der Ersteren im Vergleiche zu den übrigen Stoffen weniger konzentriert. Im Dunkeln enthielten die Cotyledonen der kranken Bohnen weniger Kalk als die der gesunden; das Verhältnis von CaO zu der Gesamtasche war hier wie 1 : 36,32.

Der Kalk in den Pflanzen ohne Cotyledonen konnte in den kalkfreien Kulturen nur aus den Keimblättern stammen; es wurden nur ganz geringe Mengen aufgenommen, wie dies aus der Zusammenstellung der absoluten in der Pflanze vorhandenen Stoffmengen ersichtlich ist. Besonders geringe Quantitäten von Kalk wanderten bei den im Dunkeln kalkfrei kultivierten Keimlingen in die Pflanzen ein, obzwar gerade aus den Cotyledonen dieser Keimlinge eine besonders starke Auswanderung des Kalkes stattgefunden hatte. Ein grofser Teil dieser Kalkmenge ist aber, wie früher gezeigt wurde, in die Nährlösung übergegangen.

K_2O. Das Kali war in den Keimblättern und in den Pflanzen der normal im Lichte gezogenen Keimlinge beinahe in der gleichen Konzentration vorhanden, obzwar erstere weniger von diesem Stoffe als letztere enthielten. Die gleiche Konzentration des K_2O wie bei den Normalpflanzen im Lichte zeigten auch die gesunden Pflanzen der Dunkelversuche, während in ihren Cotyledonen sich das Verhältnis von K_2O zu allen Aschenbestandteilen wie 1 : 1,84 stellte.

Die Cotyledonen der kalkfrei im Lichte gezogenen Bohnen, welche mehr Kali enthielten als die der Kalkbohnen, zeigten eine Verteilung des Kali in der Asche wie 1 : 1,92, während bei den Cotyledonen der Dunkelkeimlinge das Verhältnis von 1 : 1,85 und bei den Pflanzen ohne Cotyledonen, der kalkfreien Kulturen im Licht und

im Dunkeln, das Verhältnis von 1 : 1,89—1,87 beobachtet werden konnte.

P_2O_5 war bei den Kalkkeimlingen im Licht in der Asche der Pflanzen ohne Keimblätter immer konzentrierter als in der Asche der Cotyledonen; die Pflanzen und Cotyledonen der Dunkelkeimlinge enthielten verhältnismäfsig mehr davon, als die entsprechenden Organe der Lichtkeimlinge.

In den Cotyledonen aller kalkfreien Kulturen und in den Pflanzen der kalkfreien Dunkelkulturen war eine Konzentration des Phosphorpentoxyds den kalkhältigen Kulturen gegenüber wahrzunehmen, während in den im Lichte kalkfrei gezogenen Pflanzen P_2O_5 weniger konzentriert war.

MgO. Die für Magnesia erzielten Verhältniszahlen zeigten, dafs sich in der Asche der Cotyledonen der im Dunkeln bei Kalkzufuhr kultivierten Bohnen das Verhältnis von Magnesia zu der übrigen Asche, gegenüber dem in der Cotyledonenasche der Lichtbohnen bestehenden Verhältnisse verschlechtert hatte.

Das Gleiche war auch bei den Dunkelpflanzen den Lichtpflanzen gegenüber der Fall. In der Asche der Cotyledonen der ohne Kalk gezogenen Keimlinge war MgO weniger konzentriert, als bei den in dem kalkhältigen Substrate kultivierten Bohnen, bei den Dunkel-Keimlingen weniger als bei den Licht-Keimlingen.

Bei den kranken Pflanzen ohne Cotyledonen, welche im Lichte gezogen worden waren, wurde die Konzentration der Magnesia in der Asche der gesunden Pflanzen zwar nicht erreicht, sie kam ihr aber sehr nahe; hingegen war MgO in der Asche der kalkfreien Dunkelpflanzen viel konzentrierter als in der der Normalpflanzen.

Was das Verhältnis des Kalkes zur Magnesia in den Aschen der Cotyledonen und Pflanzen der in kalkfreien und kalkhältigen Lösungen gezogenen Bohnen anbelangt, so ist zu bemerken, dafs, während bei den Pflanzen und Cotyledonen der Kalkkulturen der Magnesiagehalt geringer war als der Kalkgehalt oder diesem beinahe gleich kam (nur bei den Versuchen im Dunkeln war das Verhältnis von CaO : MgO in den Cotyledonen wie 1 : 1,22), die Pflanzen und Keimblätter der kalkfreien Kulturen stets mehr Magnesia als Kalk enthielten. Besonders auffallend war der Unterschied zwischen der vorhandenen Kalk- und Magnesiamenge in den Pflanzen ohne Cotyledonen der kalkfreien Medien; die gröfste Differenz wiesen die Pflanzen der Dunkelversuche (IX. Versuchsreihe) auf. Bei den im Dunkeln ohne Kalkzufuhr gezogenen Pflanzen, denen die Cotyledonen abgenommen worden waren, stieg die Magnesiamenge auf das 8,5 fache des Kalkgehaltes.

Aus den mitgeteilten Versuchen geht hervor, dafs in der Asche der in kalkfreien Lösungen gezogenen Keimlingen stets verhältnismäfsig mehr Magnesia vorhanden war, als in der Asche einer gleichen Anzahl in normaler Lösung kultivierter Keimlinge.

Kalkentzug hat bei den im Dunkeln kultivierten Pflanzen ohne Cotyledonen, verglichen mit den Kalkpflanzen, eine Steigerung der Konzentration der Magnesia in der Asche zur Folge, während bei den Lichtpflanzen die Konzentration der Magnesia in den gesunden Pflanzen nicht ganz erreicht wird.

Auch die Konzentration der anderen unentbehrlichen Nährstoffe und das Verhältnis derselben zum Kalk, wird durch den Kalkmangel stark beeinflufst. Ob in dieser Tatsache die Ursache der Erkrankung der kalkfrei gezogenen Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* zu suchen ist, wurde nicht näher geprüft.

Die Loew'sche Annahme vom Ersatze des Calciums in den Calcium-Nucleïn-Verbindungen durch Magnesium gewinnt durch die besprochenen Untersuchungen an Wahrscheinlichkeit, doch mufs erst durch weitere Beobachtungen festgestellt werden, ob das, unter den oben erwähnten Umständen, im Verhältnis zu den Kalkpflanzen in den kalkfrei gezogenen Pflanzen in gröfserer Menge vorhandene Magnesium nicht in anderer Weise Verwendung findet. Ferner wird auch noch die Funktion der anderen, in den ohne Kalk gezogenen Pflanzen gegenüber den Normalpflanzen, in gröfserer Menge beobachteten Aschenbestandteile nachgewiesen werden müssen.

Unsere weiteren, im Arbeitsplane auf Seite 265 mitgeteilten Untersuchungen werden sich darauf beschränken, festzustellen, wie die unentbehrlichen Nährstoffe, bei Kultur der Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* in verschiedenen Substraten, in der Pflanze verteilt sind und ob bei Mangel eines Nährstoffes ein anderer in erhöhtem Mafse von der Pflanze aufgenommen wird.

Zusammenfassung.

1. Die Erkrankung der in kalkfreien Nährstofflösungen im Licht kultivierten Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* erfolgt um so schneller, je günstiger die sonstigen Wachstumsbedingungen sind. Im Dunkeln treten die Krankheitssymptome früher als im Licht auf. Je günstiger die Bedingungen für die Vegetation sind, desto mehr bleiben die kalkfrei gezogenen Pflanzen, zur Zeit des Auftretens der Erkrankung, in der Gröfse gegen die Kalkpflanzen zurück.

2. Unter ungünstigen Wachstumsverhältnissen entspricht der Unterschied im Gewichte der Aschenmenge zwischen mit und ohne Kalk kultivierten Bohnen beinahe der Differenz im Kalkgehalte. Dieser kleine Unterschied ist darauf zurückzuführen, dafs bei Kalkmangel in diesem Falle die anderen Nährstoffe in erhöhtem oder geringerem Mafse in der Pflanze, verglichen mit den in normalen Nährstofflösungen gezogenen Keimlingen, vorhanden sind.

3. Die Differenz im Kalkgehalte und Magnesiagehalte in der Asche der mit und ohne Kalk gezogenen Keimlinge vergröfsert sich mit dem intensiveren Wachstum und der stärkeren Assimilation.

Bei den Bohnen aus den kalkhältigen Nährlösungen der Lichtkulturen ist sowohl in den ganzen Pflanzen, in den Pflanzen ohne Keimblätter, als auch in den isolierten Cotyledonen Magnesia stets in geringerer Menge im Verhältnis zum Kalk vorhanden; im Dunkeln stellt sich das Verhältnis beiläufig wie 1:1, blofs bei den isolierten Cotyledonen wie 1:1,2. Bei den kalkfreien Kulturen enthielten die untersuchten Pflanzen und Pflanzenteile immer mehr Magnesia als Kalk; der Unterschied war im Dunkeln besonders grofs. Der Magnesiagehalt der kalkfrei gezogenen ganzen Keimlinge der Licht- und Dunkelkulturen und der der Cotyledonen beraubten Keimlinge der Dunkelkulturen ist, verglichen mit der Menge der in den Kalkpflanzen enthaltenen Magnesia, stets verhältnismäfsig gröfser. In der Asche der im Licht ohne Kalk kultivierten Keimlinge, denen die Cotyledonen abgenommen worden waren, ist die Magnesia nicht so konzentriert, wie in den Normalpflanzen, doch wird deren Konzentration beinahe erreicht.

4. Die Richtigkeit der Loew'schen Annahme vom Ersatze des Calciums in den Calcium-Nucleïn- und Calcium-Plastin-Verbindungen durch Magnesium ist durch diese Ergebnisse noch nicht bestätigt. Weitere Untersuchungen werden erst über die Verwendung des im Überschufs in den kalkfrei gezogenen Keimlingen und in den im Dunkeln kalkfrei kultivierten Pflanzen ohne Cotyledonen von *Phaseolus vulgaris* vorhandenen Magnesium und der anderen unentbehrlichen Nährstoffe Aufschlufs geben können.

5. Wie die Versuche ergaben, hatte der Kalkentzug eine bedeutende Veränderung im Gehalte der Pflanzen an Aschenbestandteilen bei *Phaseolus vulgaris* zur Folge, es äufserte sich also die Wirkung des Kalkmangels bei unserer Versuchspflanze in äufserst komplizierter Weise.

Biologische Versuchsanstalt in Wien, Dezember 1904.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: 94

Autor(en)/Author(s): Samec Maximilian

Artikel/Article: Über die Verbreitung der unentbehrlichen anorganischen Nährstoffe in den Keimlingen von Phaseolus vulgaris. 262-286