

## Hinweis

Bei dieser Datei handelt es sich um ein Protokoll, das einen Vortrag im Rahmen des Chemielehramtsstudiums an der Uni Marburg referiert. Zur besseren Durchsuchbarkeit wurde zudem eine Texterkennung durchgeführt und hinter das eingescannte Bild gelegt, so dass Copy & Paste möglich ist – aber Vorsicht, die Texterkennung wurde nicht korrigiert und ist gerade bei schlecht leserlichen Dateien mit Fehlern behaftet.

Alle mehr als 700 Protokolle (Anfang 2007) können auf der Seite [http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen\\_experimentalvortrag.html](http://www.chids.de/veranstaltungen/uebungen_experimentalvortrag.html) eingesehen und heruntergeladen werden.

Zudem stehen auf der Seite [www.chids.de](http://www.chids.de) weitere Versuche, Lernzirkel und Staatsexamensarbeiten bereit.

Dr. Ph. Reiß, im Juli 2007

362

UE: Übungen im Experimentalvortrag für Lehramtskandidaten  
Wintersemester 1986/87

Veranstaltungsleiter: Dr. J. Butenuth  
Dr. E. Gerstner  
Prof. Dr. F.-W. Steuber

Experimentalvortrag vom 17.12.1986:

"BODENUNTERSUCHUNGEN"  
=====

Referent: Bernd Welker  
Dörfflerstraße 9  
3550 Marburg

Gliederung:

	Seite
I. Geschichtliche Einführung	1
II. Formen der Pflanzennährelemente im Boden	2
III. Qualitativer Nachweis einiger Pflanzennährelemente im Boden (Mg, Ca, N)	3
IV. Quantitative Phosphorbestimmung des Bodens	6
V. pH-Wert und Kalkdüngung	10

Literaturverzeichnis:

1. anonym - Der Stickstoffkreislauf in Böden und Pflanzen, Hrsg. E.Merck; Darmstadt
2. anonym - Stickstoff und pH-Wert (Kalkbedarf), Hrsg. E.Merck; Darmstadt
3. anonym - Skript zum bodenkundlichen Praktikum, FH Bad Kreuznach WS 1981/82
4. anonym - Faustzahlen für die Landwirtschaft und den Gartenbau, 9.Auflage; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1981
5. anonym - Versuchsvorschriften der Hessischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt, Kassel-Harleshausen
6. Bäumer, K. - Allgemeiner Pflanzenbau, 2.Auflage, Eugen Ulmer Verlag; Stuttgart 1978
7. Braun, H. - Vorlesung: Bodenkunde und Pflanzenernährung, FH Bad Kreuznach WS 1981/82
8. Fink, A. - Pflanzenernährung in Stichworten, 3.Auflage, Verlag Hirt; Kiel 1976
9. Geisler, G. - Pflanzenbau, 1.Auflage, Verlag Paul Parey; Berlin/Hamburg 1980
10. Mengel, K. - Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 5.Auflage, Verlag gustav Fischer; Stuttgart 1979
11. Schulze-Bisping, G. - Skript zu den Übungen zur Pflanzenernährung, Hrsg. Fachschaft Landwirtschaft, Universität Bonn WS 1986/87
12. Thun, R./ Herrman, R./ Knickmann, E. - Methodenbuch Band 1, Die Untersuchung von Böden, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 3.Auflage, Neumann Verlag; Radebeul und Berlin 1955
13. Naturwissenschaften im Unterricht: Physik/Chemie Heft 10 Oktober 1985, (Themenheft 19): Düngung und Düngemittel
14. Naturwissenschaften im Unterricht: Physik/Chemie Heft 8 Oktober 1985

## I. Geschichtliche Einführung:

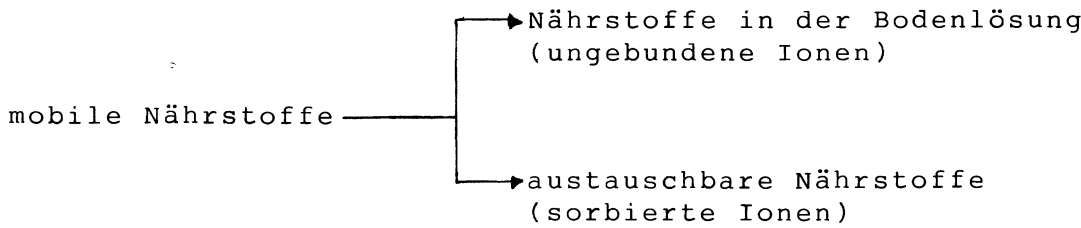
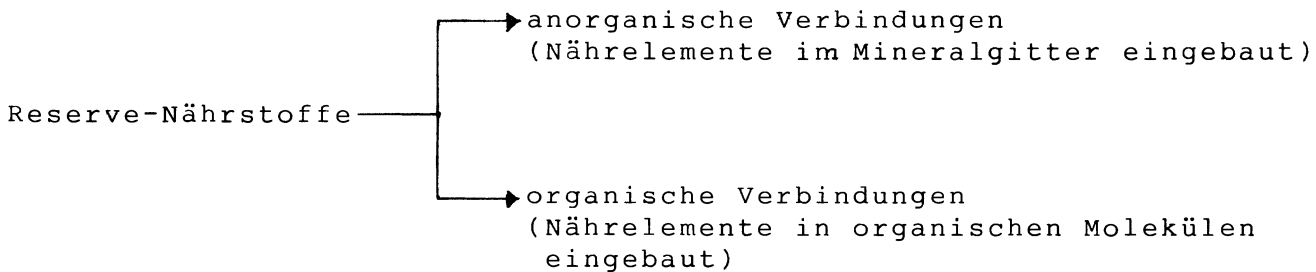
Das Pflanzenwachstum als auffällige Naturerscheinung hat den Menschen eigentlich schon immer beschäftigt. Doch erst mit Beginn des Ackerbaus, vor etwa 10.000 Jahren, interessierte sich der Mensch auch immer mehr für die Ursachen und Bedingungen des Pflanzenwachstums. Schon bald erkannte man, daß sowohl die Wahl eines günstigen Standortes als auch die Zugabe von bestimmten Stoffen zum Boden die Bodenfruchtbarkeit und damit das Pflanzenwachstum verbessern können. So kannten z.B. die Ägypter die düngende Wirkung des Nilschlammes, die Römer düngten mit Kompost sowie Stallmist und ihre Weinberge mit Holzasche, während man in Ostasien Knochenasche bevorzugte. Alles was man bis zu dieser Zeit allerdings zur Bodendüngung unternahm, war mehr oder weniger Empirie und Spekulation. Aristoteles war dann der erste, der versuchte, das bis zu seiner Zeit Bekannte in eine Theorie zu fassen. Diese Theorie ist die sogenannte Humustheorie, die um 350 v.Chr. entwickelt wurde und folgendes aussagt: 'Die Pflanze ernährt sich von Humusstoffen, die sie mit den Wurzeln aus dem Boden aufnimmt. Nach dem Absterben wird die Pflanze wieder selbst zu Humus, wodurch ein ewiger Kreislauf entsteht.' Diese Humustheorie hatte sehr lange Bestand, nämlich bis ins 19. Jahrhundert. Zu dieser Zeit beschäftigte sich Justus von Liebig sehr intensiv mit der Thematik des Pflanzenwachstums und der Pflanzenernährung. Dabei stellte er fest, daß sich die Pflanzen nicht von Humusstoffen sondern von Mineralstoffen ernähren. So entstand im Jahre 1840 die sogenannte Mineralstofftheorie, deren Inhalt man grob in folgende 5 Punkte zusammenfassen kann:

1. Mineralstoffe sind nicht zufällig in der Pflanze, sondern notwendige Bestandteile,
2. Pflanzen benötigen 10 Elemente (C, O, H, <sup>N</sup>P, S, K, Ca, Mg, Fe), die, außer C, O und H, aus den Salzen des Bodens stammen,
3. verschiedene Pflanzen brauchen unterschiedliche Nährstoffmengen,
4. manche Böden weisen einen Mangel an Nährstoffen auf, den man aber durch Düngung beheben kann,
5. Humus wird von den Pflanzen als Nährstoff nicht benötigt, ist aber als Nährstofflieferant von Bedeutung.

Liebig konnte mit seiner Theorie die Humustheorie von Aristoteles eindeutig widerlegen. In den Jahren und Jahrzehnten nach der Entwicklung der Mineralstofftheorie wurden, vor allem aufgrund verbesserter chemischer Analysemethoden, noch weitere für die Pflanze lebensnotwendige Elemente gefunden und zwar: Mn, B, Zn, Cu, Mo und Cl.

## II. Formen der Pflanzennährelemente im Boden:

Heute werden die mineralischen Pflanzennährelemente je nach ihrer quantitativen Beteiligung an der Pflanzenernährung in Hauptnährelemente (K, Ca, Mg, N, P und S) und Spurennährelemente (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl und B) unterschieden. Im Boden liegen die Nährelemente in den folgenden Formen vor:

1.  
mobile Nährstoffe 
  - Nährstoffe in der Bodenlösung  
(ungebundene Ionen)
  - austauschbare Nährstoffe  
(sorbierte Ionen)
  
2.  
Reserve-Nährstoffe 
  - anorganische Verbindungen  
(Nährelemente im Mineralgitter eingebaut)
  - organische Verbindungen  
(Nährelemente in organischen Molekülen eingebaut)

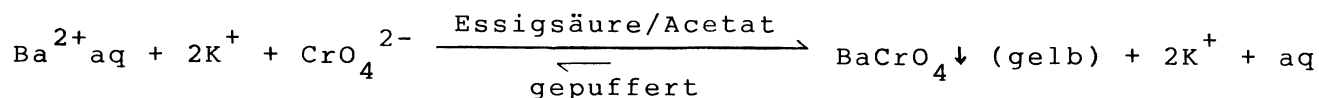
Interessant für den Landwirt und Gärtner sind vor allem die mobilen Nährstoffe, da die Pflanzenversorgung in der Hauptsache über sie abläuft. Daß der Boden tatsächlich die Fähigkeit besitzt, Ionen zu sorbieren bzw. gegen andere Ionen auszutauschen, kann durch folgenden Versuch anschaulich demonstriert werden:

### Versuch 1: Sorptions- bzw. Austauschfähigkeit des Bodens

50 g gesiebter Boden (2 mm-Sieb) werden in einer kleinen Ionenaustauschersäule vorgelegt. Auf diese Säule gibt man in kleinen Mengen ca. 50 ml einer 0,002 M Bariumchlorid-Lösung. Die Durchlaufgeschwindigkeit stellt man auf einen Tropfen pro Sekunde ein und fängt die durchlaufende Lösung in einem Erlenmeyerkolben auf. Während in der Ausgangslösung auf analytischem Weg  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen nachgewiesen werden können, verläuft das gleiche analytische Vorgehen bei der durchgelaufenen Lösung negativ. Daraus ist zu folgern, daß die  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen der durchgelaufenen Lösung vom Boden sorbiert bzw. gegen andere Ionen ausgetauscht worden sind.

Naßanalytischer Nachweis von  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen: Zu 10 ml der zu überprüfenden Lösung gibt man 3 Tropfen Essigsäure und 3 Tropfen Natriumacetat. Dann wird die Lösung erwärmt und mit einer 10%igen Kaliumchromatlösung versetzt. Bei Anwesenheit von  $\text{Ba}^{2+}$ -Ionen fällt ein gelber Niederschlag von  $\text{BaCrO}_4$  aus.

Fällung von  $\text{Ba}^{2+}$  als  $\text{BaCrO}_4$ :



### III. Qualitativer Nachweis einiger Pflanzennährelemente im Boden (Mg, Ca, N):

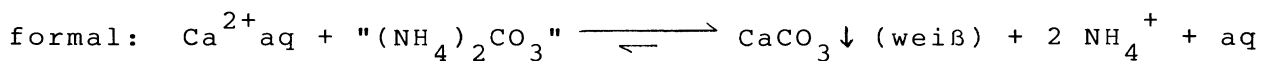
Die Bestimmung von Pflanzennährelementen im Boden erfolgt bei den landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (LUFA) hauptsächlich mittels photometrischen und atomabsorptionsspektroskopischen Methoden. Diese Vorgehensweisen ermöglichen qualitativ sehr genaue Bestimmungen. Um Pflanzennährelemente im Boden qualitativ nachweisen zu können, reichen oftmals jedoch schon altbewährte naßanalytische Trennungsgänge aus. Allerdings muß dazu gesagt werden, daß die hier angegebenen naßanalytischen Vorgehensweisen nur die Erfassung von Hauptnährelementen ermöglichen. Spurennährelemente lassen sich so nicht nachweisen. Bei dem von mir für die Nachweisreaktion verwendeten Boden handelt es sich im übrigen sozusagen um einen Modellboden. Verwendet wurde nämlich ganz normale, im Handel erhältliche Blumenerde, die, laut Herstellerangabe, alle für Pflanzen lebensnotwendigen Nährelemente enthielt (meines Wissens nach haben alle im Handel erhältlichen Blumenerden ähnliche Zusammensetzungen).

### Versuch 2 und Versuch 3: Qualitativer Nachweis der Erdalkalimetalle Mg und Ca im Boden

Die Erdalkalimetalle Mg und Ca liegen im Boden als 2-wertige Kationen vor. Um auch die vom Boden sorbierten  $\text{Mg}^{2+}$ - und  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen in Lösung zu bekommen, werden 100g luftgetrockneter und gesiebter Boden (2 mm-Sieb) mit 250 ml einer 0,1 M Kaliumchloridlösung ca. eine Stunde geschüttelt oder gerührt. So werden die sorbierten  $\text{Mg}^{2+}$ - und  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen gegen  $\text{K}^+$ -Ionen ausgetauscht. Danach filtriert man mit Hilfe von Wasserstrahlpumpe, Saugflasche und Büchnertrichter ab und engt die erhaltene Bodenlösung mittels Rotationsverdampfer und Wasserbad bis zur Trockne ein. Während des Einengens werden zur Lösung ca. 5 ml 35%ige Wasserstoffperoxidlösung zugesetzt, um eventuell gelöste organische Bodenbestandteile oxidativ zu zerstören. Die Trockne muß, wenn alle organischen Bodenbestandteile zerstört sind, völlig weiß gefärbt sein.

Nun wird die Trockne in 10 ml Wasser aufgenommen und in dieser Lösung nach dem Trennungsgang der Ammoniumcarbonatgruppe Mg und Ca nachgewiesen. Dazu stellt man unter Zuhilfenahme einer  $\text{NH}_3^-$  bzw.  $\text{NH}_4^+$ -Lösung einen neutralen pH-Wert ein und versetzt mit einer gesättigten Ammoniumcarbonatlösung. Schon in der Kälte fällt als Nachweis für  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen ein weißer  $\text{CaCO}_3$ -Niederschlag aus, der in der Wärme vervollständigt werden kann. Um in der gleichen Lösung  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen nachzuweisen, wird der  $\text{CaCO}_3$ -Niederschlag abfiltriert und das Filtrat durch Zugabe einiger Tropfen gesättigter Ammoniumcarbonatlösung auf Vollständigkeit der  $\text{CaCO}_3$ -Fällung überprüft. Dann versetzt man die klare Lösung mit einer Natriumhydrogenphosphatlösung, wobei als Nachweis für  $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen ein weißer Niederschlag von  $\text{MgNH}_4\text{PO}_3$  ausfällt.

Fällungsreaktion des  $\text{Ca}^{2+}$ :

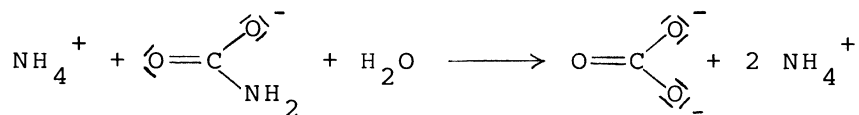


Das im Handel erhältliche Gruppenreagenz " $\text{(NH}_4\text{)}_2\text{CO}_3$ " setzt sich allerdings zusammen aus:

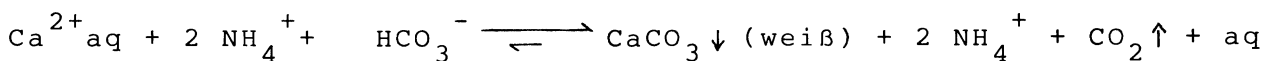
1.  $\text{NH}_4^+$   $\text{HCO}_3^-$  und

2.  $\text{NH}_4^+$   $[\text{H}_2\text{NCO}_2]^-$  (Ammoniumcarbamat)

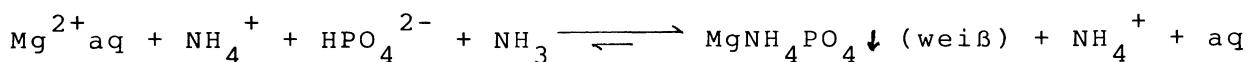
$\text{NH}_4^+$   $[\text{H}_2\text{NCO}_2]^-$  hydrolysiert beim Kochen zu:



Somit stehen die beiden Fällungsreagenzien  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_3^{2-}$  zur Verfügung. Den Hauptanteil an der Fällung hat aber zweifellos das  $\text{HCO}_3^-$ . Deshalb läßt sich die Fällungsreaktion in der Hauptsache durch folgende Reaktionsgleichung beschreiben:



Fällungsreaktion des  $\text{Mg}^{2+}$ :



Neben der dargestellten Vorgehensweise ist außerdem erwähnenswert, daß auch ein chromatographischer Nachweis von Mg und Ca sehr gut durchgeführt werden kann.

Ein weiteres wichtiges Pflanzennährelement ist der N. N liegt im Boden in den folgenden Verbindungen vor:

1.  $\text{NO}_3^-$  (Nitrat)

2.  $\text{NH}_4^+$  (Ammonium)

3.  $\text{R}-\text{NH}_2$  (organische N-Verbindungen wie Harnstoff, Amine und Aminosäuren)

4.  $\text{NH}_3$  (Ammoniak)
5.  $\text{NO}_2^-$  (Nitrit)
6.  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  (Stickoxide)
7.  $\text{N}_2$  (molekularer Stickstoff)

Die wichtigsten N-Verbindungen für die Pflanze sind die unter den Punkten 1. bis 3. genannten, weil:

- $\text{NO}_3^-$  in ionischer Form von der Pflanze aufnehmbar ist und bei der N-Ernährung der Pflanze den Hauptanteil ausmacht
- $\text{NH}_4^+$  ebenfalls in ionischer Form von der Pflanze aufnehmbar ist
- organische N-Verbindungen den weitaus überwiegenden Teil des N's im Boden ausmachen, von der Pflanze zwar nicht aufgenommen werden, aber über sogenannte Mineralisierungsvorgänge in  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  übergeführt werden können

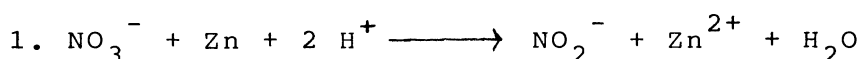
Alle anderen N-Verbindungen können von der Pflanze nicht aufgenommen und verwertet werden.

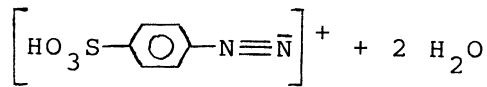
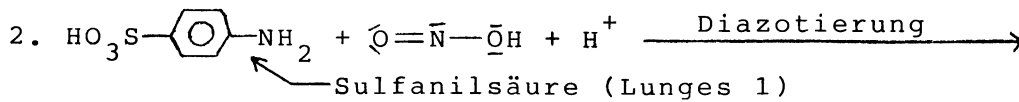
Die obige Zusammenstellung zeigt, daß der N-Haushalt des Bodens sehr vielschichtig ist. Aufgrund dieser Vielschichtigkeit kann der N-Haushalt des Bodens auch von sehr vielen Faktoren beeinflusst werden. Deshalb war es bis vor einigen Jahren auch noch relativ schwierig den pflanzenverfügbaren N im Boden quantitativ zu bestimmen. Qualitativ läßt sich der N im Boden allerdings ganz gut in Form des  $\text{NO}_3^-$  fassen.

#### Versuch 4: Qualitativer $\text{NO}_3^-$ -Nachweis im Boden

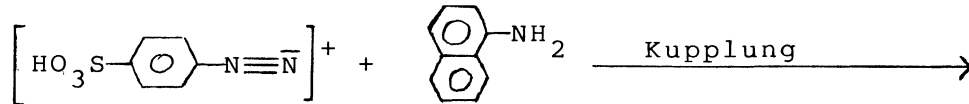
Um die vom Boden sorbierten  $\text{NO}_3^-$ -Ionen in Lösung zu bekommen, werden 100 g luftgetrockneter und gesiebter Boden (2 mm Sieb) mit 250 ml einer 0,1 M Kaliumaluminiumsulfatlösung ca. eine Stunde gerührt oder geschüttelt. So können die sorbierten  $\text{NO}_3^-$ -Ionen gegen  $\text{SO}_4^{2-}$ -Ionen ausgetauscht werden. Danach filtriert man mit Hilfe von Wasserstrahlpumpe, Saugflasche und Büchnertrichter ab. In dieser Bodenlösung läßt sich nun  $\text{NO}_3^-$  nach Reduktion zu  $\text{NO}_2^-$  mittels Lunges-Reagenz nachgeweisen. Dazu legt man in einem Reagenzglas etwa 10 ml der klaren Bodenlösung vor, versetzt mit jeweil einem ml der Komponenten 1 und 2 des Lunges-Reagenzes (Herstellung des Lunges-Reagenzes siehe Literatur zur anorganisch-chemischen Analyse) und gibt eine Spatelspitze Zinkpulver, das vorher zweimal in 2 M Essigsäure gewaschen wurde, hinzu. Bei Anwesenheit von  $\text{NO}_3^-$  stellt sich eine Rotfärbung der Lösung ein.

Nachweis von  $\text{NO}_3^-$ :

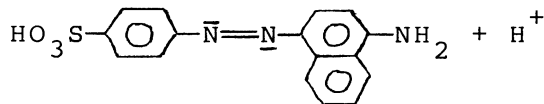




Diazonium-Salz



α-Naphtylamin (Lunges 2)



roter Azofarbstoff: 1-(p-Sulfo-phenylazo)-naphtylamin-(4)

#### IV. Quantitative Phosphorbestimmung des Bodens:

P liegt im Boden ähnlich wie N in verschiedenen Verbindungen vor:

1.  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (primäres Phosphat)
2.  $\text{HPO}_4^{2-}$  (sekundäres Phosphat)
3.  $\text{R}-\text{H}_2\text{PO}_3$  (organische P-Verbindungen wie z.B. Phosphorsäureester)
4.  $\text{PO}_4^{3-}$  (tertiäres Phosphat)

Die wichtigsten P-Verbindungen für die Pflanze sind die unter den Punkten 1. bis 3. genannten, weil:

- $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  in ionischer Form von der Pflanze aufnehmbar ist und hauptsächlich unter sauren Bedingungen aufgenommen wird
- $\text{HPO}_4^{2-}$  ebenfalls in ionischer Form von der Pflanze aufnehmbar ist und hauptsächlich unter neutralen Bedingungen aufgenommen wird
- organische P-Verbindungen zwar nicht von der Pflanze aufgenommen, aber über Mineralisierungsvorgänge in  $\text{HPO}_4^{2-}$  und  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  übergeführt werden können

$\text{PO}_4^{3-}$  kann von der Pflanze nicht aufgenommen werden und liegt im Boden zumeist in Form von Mineralen (z.B. Apatit) fest.

Eine Methode, um den pflanzenverfügbaren P im Boden quantitativ zu bestimmen ist die von den LUFA's angewendete Doppel-Lactat-Methode (DL-Methode). Bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanze wird das Gleichgewicht zwischen Wurzel und Bodenlösung immer wieder zugunsten der Pflanze verschoben, weil die aufgenommenen Nährstoffe nicht in der Wurzel verbleiben, sondern weitertransportiert werden. Diese

Verhältnisse werden bei der DL-Methode gewissermaßen nachgeahmt. Zur Extraktion des Bodens dient nämlich eine Pufferlösung aus Calciumlactat und Milchsäure, die durch Zugabe von Salzsäure auf einen pH-Wert von 3,2 eingestellt wird. Diese Lösung kann aufgrund ihrer Säurewirkung zum einen Phosphate lösen und zum anderen sorbierte  $\text{PO}_4^{3-}$ -Ionen gegen Lactationen austauschen. So erhält man den für die Pflanze verfügbaren P in Lösung. Die Bestimmung des P's erfolgt dann über die sogenannte Vanadat-Molybdat- oder auch Gelbmethode. Zur Bodenlösung wird dabei Vanadat-Molybdat-Reagenz zugesetzt, das zusammen mit Phosphaten in saurer Lösung ein mit gelber Farbe lösliches Komplexsalz bildet. Die Intensität der Gelbfärbung ist dabei proportional der Phosphatkonzentration. Über die Photometrie läßt sich so die Phosphatkonzentration bestimmen.

#### Versuch 5: Quantitative Phosphorbestimmung im Boden

5 g luftgetrocknete Feinerde (2 mm Sieb) werden mit 250 ml Doppel-Lactat-Lösung 1,5 Stunden gerührt bzw. geschüttelt. Danach wird mit Hilfe von Wasserstrahlpumpe, Saugflasche und Büchnertrichter abfiltriert (möglichst P-freie Filter!), wobei die ersten Anteile des Filtrates zu verwerfen sind. Zur Phosphatbestimmung füllt man 20 ml des Filtrates in einen Erlenmeyerkolben, gibt 10 ml Molybdat-Vanadat-Reagenzlösung hinzu und schüttelt kurz um. Nach 30 min wird bei einer Wellenlänge von 436 nm photometriert. Zum Vergleich dienen je 20 ml der Eichlösungen, denen ebenfalls jeweils 10 ml der Vanadat-Molybdat-Reagenzlösung zugesetzt wurden.

Herstellung der Doppel-Lactat-Lösung:

12,3 g Calciumlactat werden im 100 ml-Meßkolben mit ca. 80 ml Wasser versetzt und unter Erwärmen gelöst. Dann fügt man 4 ml einer 10 M Salzsäure hinzu. Nach dem Erkalten stellt man, falls nicht schon erreicht, den pH-Wert der Lösung mit obiger Salzsäure bzw.  $\text{CaCO}_3$  auf 3,2 ein. Dann füllt man bis zur Marke mit Wasser auf. 50 ml dieser Lösung werden in einem 1000 ml-Meßkolben mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt. Bei dieser Lösung handelt es sich um die fertige Doppel-Lactat-Lösung.

Herstellung der Vanadat-Molybdat-Reagenzlösung:

Zur Herstellung der Vanadat-Molybdat-Reagenzlösung werden drei Lösungen benötigt:

1.:  $\text{HNO}_3$  verd.  $\hat{=}$  1 Vol. konz.  $\text{HNO}_3$  + 2 Vol.  $\text{H}_2\text{O}$

2.: 0,25%ige AmmoniummetavanadatLösung  $\hat{=}$  0,75 g Ammoniummetavanadat

werden in 150 ml siedendem H<sub>2</sub>O gelöst. Nach dem Erkalten werden 6 ml konz. HNO<sub>3</sub> zugesetzt und dann mit H<sub>2</sub>O auf 300 ml aufgefüllt  
 3.: 5%ige Ammoniummolybdatlösung  $\hat{=}$  15g Ammoniummolybdat werden in ca. 240 ml H<sub>2</sub>O bei ca. 50°C gelöst; nach dem Abkühlen wird auf 300 ml aufgefüllt

Für die Vanadat-Molybdat-Reagenzlösung werden die Lösungen 1., 2. und 3. in der angegebenen Reihenfolge im Verhältnis 1:1:1 gemischt.  
 Herstellung der Eichlösungen:

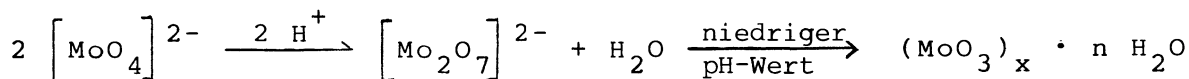
Zur Herstellung der Eichlösungen werden 1,69 g NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> im 1000 ml-Meßkolben zu 1 Liter gelöst. 20 ml dieser Lösung werden wiederum in einem 1000 ml-Meßkolben auf 1 Liter verdünnt (1 ml dieser Lösung  $\hat{=}$  0,02 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Man verdünnt 0 bis 80 ml dieser Standardlösung unter Zugabe von 5 ml Doppellactatlösung mit H<sub>2</sub>O auf 100 ml. Diese Lösungen entsprechen ohne weitere Umrechnungen 0 bis 80 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pro 100 g Boden.

Achtung! Zur Herstellung aller Lösungen sind p.a.-Chemikalien zu verwenden.

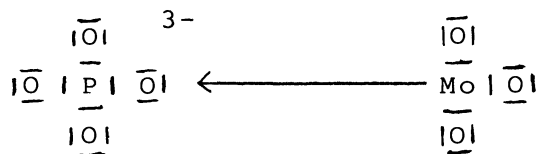
Gehaltsskasseneinteilung bezogen auf die P-Versorgung des Bodens (nach: Hessische landwirtschaftliche Versuchsanstalt):

Gehaltsklasse	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in 100 g Boden
niedrig	0 - 6
mittel	7 - 14
hoch	15 - 25
sehr hoch	26 - 39
besonders hoch	ab 40

Phosphatbestimmung nach der "Gelbmethode":



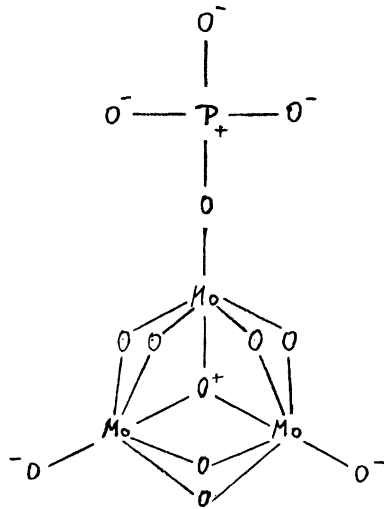
Molybdat



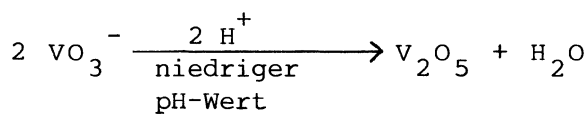
Lewis-Base

Lewis-Säure

So kann sich ein komplexes Anion der folgenden Form entwickeln, an dessen Aufbau allerdings noch weitere MoO<sub>3</sub>-Einheiten beteiligt sind:

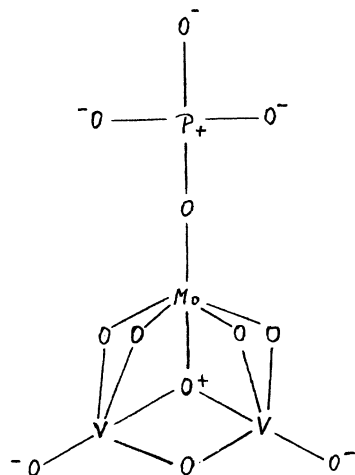


Ein Angriff der Lewis-Säure  $\text{MoO}_3$  kann im übrigen an allen negativ geladenen Sauerstoffatomen des Phosphations erfolgen. Das Ammoniumsalz dieses Anions hat eine gelbe Farbe und ist in wässriger Lösung schwer löslich. Dadurch, daß die Reagenzlösung zusätzlich Meta-vanadationen enthält, läuft außerdem folgende Reaktion ab:



Meta-  
vanadat

Eine solche  $\text{V}_2\text{O}_5$ -Einheit kann in dem oben dargestellten komplexen Anion zwei  $\text{MoO}_3$ -Einheiten ersetzen, so daß ein komplexes Anion der folgenden Form entsteht:



Das Ammoniumsalz dieses Anions hat ebenfalls eine gelbe Farbe, ist allerdings in wässriger Lösung löslich. Darauf basiert die photometrische Vorgehensweise.

V. pH-Wert und Kalkdüngung:

Die Beachtung der Bodenreaktion (pH-Wert des Bodens) - durch das Waldsterben in den letzten Jahren sehr aktuell geworden - ist ein Faktor, der für die Landwirtschaft schon immer interessant war. Der optimale pH-Wert eines Bodens ist zum einen von der Kulturpflanzenart, die angebaut werden soll, und zum anderen von der vorliegenden Bodenart abhängig:

Reaktionsoptima einiger Kulturpflanzen:

	pH	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Weizen						-----	-----
Gerste				-----	-----	-----	-----
Roggen			-----	-----	-----	-----	-----
Rüben				-----	-----	-----	-----
Hafer		-----	-----	-----	-----	-----	-----
Kartoffeln		-----	-----	-----	-----	-----	-----
Erbsen				-----	-----	-----	-----
Gurken			-----	-----	-----	-----	-----
Möhren				-----	-----	-----	-----
Spinat					-----	-----	-----
Rotkohl					-----	-----	-----
Tomaten				-----	-----	-----	-----

Reaktionsoptima verschiedener Bodenarten:

Bodenart	pH-Wert
Ton- und Lehmböden	6,5 - 7,5
sandige Lehmböden	6,0 - 6,5
lehmige Sandböden	ca. 6,0
Sandböden	5,5 - 6,0
Sandböden mit hohem Humusgehalt	4,5 - 5,5
Hochmoorböden	4,0 - 4,5

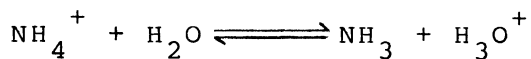
Versuch 6: pH-Wert-Bestimmung des Bodens

Die bei den LUFA's heutzutage übliche Methode besteht darin, einen

Massenteil des zu untersuchenden Bodens mit 2,5 Massenteilen einer 0,01 M Calciumchloridlösung zu versetzen. Danach wird die Aufschlammung gut durchgeschüttelt, was nach 30 min noch einmal zu wiederholen ist. Nach einer Stunde erfolgt die pH-Wertbestimmung mittels Glaselektrode am pH-Meter.

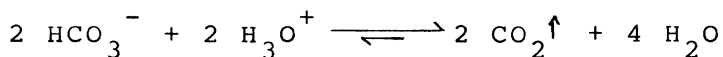
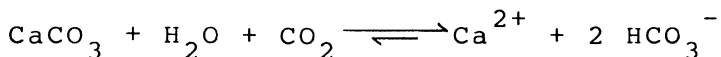
Wird ein, von der optimalen Bodenreaktion abweichender, pH-Wert festgestellt, so sind entsprechende Düngemaßnahmen zu empfehlen. Früher wurden zu einer solchen Düngung durchaus auch sauer wirkende Dünger wie z.B. Ammonsulfat (= Ammoniumsulfat) verwendet. Aufgrund der allgemeinen Bodenversauerung werden inzwischen keine sauer wirkenden Dünger mehr eingesetzt.

Reaktion von sauer wirkenden Düngern im Boden (z.B. Ammoniumsulfat):



Heutzutage geht es nur noch darum, den pH-Wert stabil zu halten bzw. dessen Absinken zu verhindern. Dazu verwendet man basisch wirkende Dünger. Eine solche basisch wirkende Düngerart sind die sogenannten kohlensauen Kalke. Bei diesen kohlensauen Kalcken handelt es sich vor allem um Ca- und Mg-Carbonate.

Reaktion von  $\text{CaCO}_3$  im Boden:



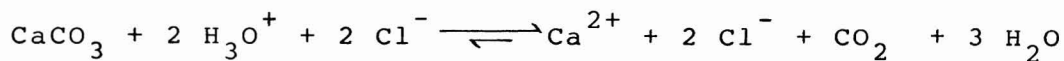
Da die erste dieser beiden Reaktionen nur relativ langsam abläuft, sind die kohlensauen Kalke lange im Boden und haben deshalb eine anhaltende Wirkung. Aufgrund dessen reicht eine einmalige Kalkung im Jahr in der Regel aus. Wann bzw. ob wieder gekalkt werden muß, läßt sich folgendermaßen feststellen:

#### Versuch 7: Qualitativer $\text{CO}_3^{2-}$ -Nachweis im Boden

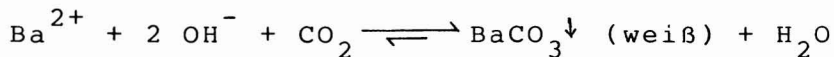
In einem 50 ml-Weithalserlenmeyerkolben werden 25 g ofengetrockneter und gesiebter Boden (2 mm Sieb) vorgelegt. Der Erlenmeyerkolben wird mit einem durchbohrten Gummistopfen verschlossen. In die Bohrung des Gummistopfens ist ein Gährrohrchen eingelassen, das mit Barytwasser gefüllt ist. Das System muß vollkommen abgedichtet sein! Über eine Einwegspritze mit Kanüle werden nun 20 ml einer 10%igen Salzsäurelösung durch den Gummistopfen in das Kolbeninnere eingespritzt. Enthält der Boden  $\text{CO}_3^{2-}$ , so kommt es zur Reaktion mit der eingespritzten Salzsäure, wobei  $\text{CO}_2$  entsteht (Aufschäumen!). Das in das Gährrohrchen aufsteigende  $\text{CO}_2$  bewirkt hier im Anwesenheit des

Barytwassers ein Ausfallen von weißem  $\text{BaCO}_3$ .

Reaktion von  $\text{CaCO}_3$  mit Salzsäure:



Reaktion von  $\text{CO}_2$  mit Barytwasser:



Eine solche  $\text{CO}_3^{2-}$ -Bestimmung des Bodens kann auch quantitativ durchgeführt werden:

Versuch 8: Quantitative  $\text{CO}_3^{2-}$ -Bestimmung im Boden:

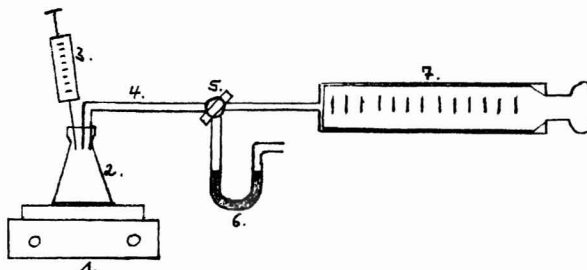
10 g ofengetrockneter und gesiebter Boden (2 mm-Sieb) werden in einem 100 ml-Erlenmeyerkolben vorgelegt. Auf diesen Boden gibt man ebenfalls mittels Einwegspritze und Kanüle 10 ml einer 10%igen Salzsäurelösung. Die, durch das entstehende  $\text{CO}_2$  hervorgerufene, Gasvolumenzunahme in der Apparatur wird mit Hilfe eines Kolbenprobers gemessen. Bevor man die endgültige Volumenzunahme am Kolbenprober abliest, prüft man, ob der Druck in der Apparatur gleich dem Außendruck ist. Dazu schließt man über ein T-Stück ein Flüssigkeitsmanometer an, öffnet den Hahn und korrigiert eventuell vorhandene Druckunterschiede mit Hilfe des Kolbenprobers (Gleichstand der Wassermenisken in den Manometerschenkeln!).

Achtung! 1. Vor Beginn der Versuchsdurchführung Apparatur auf Dichtigkeit überprüfen!

2. Durch die Salzsäurelösung muß vor Versuchsbeginn ca. 30 min lang ein  $\text{CO}_2$ -Strom geleitet werden!

Versuchsaufbau:

1. Elektrorührer
2. 100 ml-Erlenmeyerkolben
3. 10 ml-Einwegspritze mit Kanüle
4. Glasrohr
5. T-Stück
6. Flüssigkeitsmanometer
7. Kolbenprober



**Auswertung:**

Vom erhaltenen Gasvolumen müssen zunächst 10 ml abgezogen werden, da 10 ml Salzsäurelösung in die geschlossene Apparatur eingegeben wurden. Das so ermittelte CO<sub>2</sub>-Volumen ist allerdings abhängig von der herrschenden Temperatur und dem herrschenden Luftdruck. Deshalb muß das Gasvolumen auf Normalbedingungen umgerechnet werden:

$$V_0 = V_{\text{exp}} * \frac{T_0 * p_{\text{exp}}}{T_{\text{exp}} * p_0}$$

T<sub>0</sub> = 273 K  
p<sub>0</sub> = 1013 mbar

Die Berechnung des %ualen CaCO<sub>3</sub>-Gehaltes des Bodens erfolgt auf folgendem Weg:

$$\text{CaCO}_3 \text{ in } \% = \frac{V_0 * \rho_{\text{CO}_2} * M_m \text{ CaCO}_3 * 100}{m_B * M_m \text{ CO}_2}$$

V<sub>0</sub> = für Normalbedingungen ermitteltes CO<sub>2</sub>-Volumen

ρ<sub>CO<sub>2</sub></sub> = Dichte von CO<sub>2</sub> bei Normalbedingungen = 1,98 mg/ml

M<sub>m</sub> CaCO<sub>3</sub> = 100,1 mg/mmol

M<sub>m</sub> CO<sub>2</sub> = 44 mg/mmol

m<sub>B</sub> = Bodeneinwaage in mg

Obwohl die kohlensauen Kalke neben CaCO<sub>3</sub> auch MgCO<sub>3</sub> enthalten, bezieht man in der Landwirtschaft die Bodencarbonatwerte immer auf CaCO<sub>3</sub>.

<u>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>-Gehalt des Feinbodens in %</u>	<u>Bezeichnung des Bodens</u>
1 - 2	schwach CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -haltig
2 - 10	mäßig CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -haltig
10 - 20	stark CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -haltig
20 - 50	mergelig
ab 50	kalkig