GRONINGEN
Afdeeling voor bodemkundig onderzoek
ARCHIEF.
No 72

Arbeit aus der Reichslandwirtschaftlichen Versuchsstation Wageningen (Holland).

Die Festlegung des Ammoniakstickstoffs durch Permutit und Tonboden, und die Zugänglichkeit des Permutit-Stickstoffs für die Pflanze.

Von

Direktor Dr. D. J. HISSINK.

(Hierzu Tafel III und 5 Textabbildungen.)

Einleitung.

Als Sitz des Absorptionsvermögens der Ackererde sind, ausser den Humussubstanzen, eine Reihe von mehr oder weniger leicht zersetzbaren, wasserhaltigen Tonerde-Kieselsäureverbindungen zu betrachten; auch das Eisenhydroxyd spielt in dieser Hinsicht in manchen Böden eine grosse Rolle. Von GANS[1]) ist gleiche Zusammensetzung und gleiches Verhalten, in chemischer Beziehung, bei diesen Verbindungen der Ackererde und den kristallisierten Zeolithen konstatiert worden, welche Gleichheit so gross und zwingend ist, dass seiner Meinung nach die Annahme, die austauschenden Verbindungen der Ackererde beständen aus Zeolithen, gerechtfertigt erscheint.

Diese Auffassung richtet sich gegen die Ansichten VAN BEMMELENS über die Konstitution des Verwitterungs-Komplexes der Ackererde. Nach VAN BEMMELEN muss dieser Komplex betrachtet werden als ein mechanisches Gemisch von leicht zer-

[1]) Zeolithe und ähnliche Verbindungen, ihre Konstitution und Bedeutung für Technik und Landwirtschaft von Herrn R. GANS in Berlin; Jahrbuch der Königl. Preuss. Geolog. Landesanstalt und Bergakademie für 1905, Band XXVI, Heft 2, S. 179.

setzbaren, sowohl anorganischen wie organischen Absorptionsverbindungen und von weniger leicht zersetzbaren Komplexen; es ist noch fraglich, ob letztere als Absorptionsverbindungen oder als chemische Verbindungen zu betrachten sind. Was nach VAN BEMMELEN unter Absorptionsverbindungen zu verstehen ist, und welchen Gesetzen diese Körper unterliegen, setze ich als bekannt voraus.[1]) Der Gang der Absorption kann auch quantitativ verfolgt werden; er entspricht ungefähr der Formel $\frac{dc}{dt} = K(A - c)$, worin A die in dem Gleichgewichtszustand und c die in jedem Augenblick (t) erhaltene Absorption bezeichnet; die Absorption fängt also mit grosser Geschwindigkeit an und nimmt fortwährend ab, je nachdem mehr absorbiert worden ist. Die Kurve (t, c)[2]) bildet eine asymptotisch verlaufende Kurve. Auch zwischen den Gehalten an absorbierter Substanz des absorbierenden Körpers und an gelöster Substanz der Flüssigkeit besteht Zusammenhang. Je mehr bereits absorbiert worden ist, um so weniger wird weiterhin bei gleicher Vermehrung der Konzentration in die Lösung aufgenommen. Umgekehrt ziehen bei der Auslaugung der absorbierten Stoffe die ersten Flüssigkeitsmengen verhältnismässig grosse Mengen der absorbierten Stoffe aus dem Absorbens; die letzten Spuren der absorbierten Stoffe werden erst durch sehr grosse Flüssigkeitsmengen entfernt.

Von VAN BEMMELEN sind diese Gesetze an den einzelnen Gels von Kieselsäure, Tonerde usw. ermittelt worden. Wie gesagt, sind aber in der Ackererde als Sitz des Absorptionsvermögens neben Humussubstanzen hauptsächlich Tonerde-, Eisenhydroxyde- und Kieselsäureverbindungen zu betrachten, und es erscheint daher wünschenswert, die Absorptionsgesetze jetzt an den Gelgemengen und zwar in erster Linie an den Gemischen der Gele von Tonerde und Kieselsäure zu studieren.

Diese Gelgemenge können hergestellt werden in der von GANS und auch in der später von STREMME[3]) angegebenen Weise. GANS[4]) verfuhr folgendermassen:

---

[1]) S. z. B. Verhandlungen der zweiten internationalen Agrogeologenkonferenz, Stockholm 1911, S. 34.

[2]) t = Zeit, c = Konzentration.

[3]) Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie; Jahrg. 1908, S. 622. Siehe auch VAN BEMMELEN, Landw. Versuchs-Stationen, 35 (1888), S. 79 (Zeile 4—10).

[4]) GANS, 1905, S. 202.

Er liess genau die Bestandteile z. B. des Analcims an Kieselsäurehydrat, Tonerdehydrat und Natronhydrat und zwar in zweierlei Reihenfolge aufeinander einwirken und erhielt 2 Arten von wasserhaltigen Silikaten, von ihm Tonerdedoppelsilikate und Aluminatsilikate genannt. Zuerst wurde das Kieselsäurehydrat in der Natronlauge gelöst und dann das Tonerdehydrat hinzugefügt, worauf nach längerem Erwärmen auf dem kochenden Wasserbade zur Trockne eingedampft wurde. Erhalten wurde eine feste zähe Masse mit seidenglänzender, faseriger Struktur (I Tonerdedoppelsilikat). Wurde dahingegen zuerst das Tonerdehydrat in der Natronlauge gelöst, dann Kieselsäurehydrat hinzugefügt und noch längere Zeit auf dem Wasserbade erwärmt, so resultierte nach einem starken Aufquellen der feuchten Masse ein sehr lockeres Produkt (II Aluminatsilikat).

Gans meint, dass in den Tonerdedoppelsilikaten das Natron zum grössten Teile an Kieselsäure gebunden sei; er gründet seine Meinung auf die oben beschriebene Herstellungsweise. Er stellt auch verschiedene Strukturformeln für die beiden Gruppen auf. Nach den Auffassungen van Bemmelens liegen hier aber Gemische der Gele von Tonerde und Kieselsäure vor; das Natron wird absorptiv festgehalten und zwar in der ersten Gruppe zum grossen Teil von der Kieselsäure, in der zweiten Gruppe vom Tonerdehydrat. Bekanntlich ist die Diffusionsgeschwindigkeit in den Gels eine geringe, und bleibt das Natron zum grössten Teile an seiner Stelle.

Zwischen den Tonerdedoppelsilikaten und den Aluminatsilikaten besteht ein grosser Unterschied, was den Austausch des Natrons gegen Basen betrifft. Die Körper der ersten Gruppe tauschen das Natron binnen kurzer Zeit in sehr geringem Grade aus, die der zweiten Gruppe dagegen fast vollständig. Das oben bereitete Aluminatsilikat absorbierte z. B. von 129 mg Stickstoff 97 mg innerhalb kurzer Zeit (2 Tage), das Tonerdedoppelsilikat nur wenige Milligramme. Dies verschiedene Verhalten dieser zwei Gruppen lässt sich auch sehr leicht folgendermassen erklären: Bei der sub I angewandten Bereitungsweise ist das Natron, wenigstens grossenteils, im Kieselgel absorptiv gebunden, während bei der zweiten Gruppe der Tonerdegel das Natron absorbiert hält. Nun ist aber die bindende Kraft für Basen beim Kieselgel weit grösser als beim Tonerdegel und das verschiedene Verhalten lässt sich also zwanglos mit der

Auffassung, dass Gelgemenge vorliegen, in Übereinstimmung bringen.

Von mir sind nun schon in den Jahren 1908/1909 die Absorptionsgesetze auf die von GANS *hergestellten Permutite*[1]) *geprüft worden und zwar wurde ermittelt, in welcher Weise diese Permutite den Ammoniakstickstoff gebunden halten.*[2]) *Weiter wurde die Festlegung des Ammoniakstickstoffs von Tonboden untersucht. Die Resultate dieser Versuche sind in der 1. Abteilung dieser Arbeit mitgeteilt.*

Ausserdem wurden in den Jahren 1909 und 1910 an der Reichslandwirtschaftlichen Versuchsstation Wageningen Vegetationsversuche ausgeführt, um zu ermitteln, ob das Ammoniumpermutit den Ammoniakstickstoff so fest gebunden hält, dass er wenigstens zum Teil über die Dauer einer Vegetationsperiode hinaus für die Pflanzenwurzeln unzugänglich bleibt, wie das von PFEIFFER *und seinen Mitarbeitern bei von Calciumzeolith absorbiertem Ammoniak gefunden worden ist.*

Ich beabsichtigte dabei zu ermitteln, welcher Zusammenhang zwischen dem von den Pflanzen assimilierten und dem nach der Methode MITSCHERLICH *in kohlensäurehaltigem Wasser löslichen Stickstoff besteht. Die letzte Abteilung (III) enthält also einige Betrachtungen über die Methode* MITSCHERLICH *der Düngemittelanalyse.*

I. Löslichkeitsversuche mit Ammoniumpermutit und mit ammoniumgesättigtem Tonboden.

Die Herstellung und Zusammensetzung des Ammoniumpermutits.

Natriumpermutit wird von GANS bereitet durch Zusammenschmelzung von Soda, Kaolin und Feldspat und Auslaugung des Schmelzes mit Wasser. Durch kontinuierliches Behandeln mit einer 10prozentigen Chlorammonlösung und nachfolgendes Auswaschen mit destilliertem Wasser wurde Natriumpermutit

[1]) Von der Firma J. D. Riedel, Berlin, wurden mir einige Kilogramme Permutit gütigst zur Verfügung gestellt.

[2]) Zum Teil sind die Resultate schon mitgeteilt in den „Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations; No. VI, 1909", denen MITSCHERLICH dieselben für seine sechste Mitteilung (Landw. Jahrbücher 1910, S. 330) entnommen hat.

in Ammoniumpermutit verwandelt. Es wurde bei niedriger Temperatur getrocknet und ergab folgende Analyse:

Kieselsäure (SiO_2) . . .	45.60 %
Tonerde (Al_2O_3)	23.56 „
Ammoniak (NH_3) . . .	6.21 „
Wasser (H_2O)	24.03 „
Kalk (CaO)	0.70 „
	100.10 %

Der Gehalt an Ammoniakstickstoff (N) war also 5.12 %.

Das System Ammoniumpermutit-Wassser.

Verschiedene Quantitäten dieses Ammoniumpermutits wurden immer mit 2 l destilliertem Wasser während 24 Stunden gerührt, bei 30 ° C., in einem Apparat nach MITSCHERLICH,[1]) aber ohne Kohlensäurezufuhr.

Der Ammoniakstickstoff wurde bestimmt in der von MITSCHERLICH[2]) angegebenen Weise. Die Resultate werden in folgender Tabelle mitgeteilt; stets sind drei oder bisweilen mehrere Bestimmungen und einige blinde Bestimmungen gemacht worden.

Tabelle I.

Nummer	Ammonium-permutit auf 2 l Wasser g	Verhältnis zwischen Ammonium-permutit und Wasser	Auf 100 g Permutit	
			haben sich aufgelöst Stickstoff g	bleiben also im Permutit zurück Stickstoff g
1	5	1: 400	0.25	4.87
2	2	1: 1000	0.54	4.58
3	1	1: 2000	0.91	4.21
4	0.4	1: 5000	1.52	3.60
5	0.2	1:10000	2.02	3.10
6	0.1	1:20000	2.64	2.48

Ich habe nun in erster Linie untersucht, ob für dieses Gleichgewicht die FREUNDLICHsche Beziehung[3]):

[1]) Landw. Jahrbücher 1910, Tafel VII, Serienextraktionsapparat.

[2]) Eine Bodenanalyse für pflanzenphysiologische Forschungen, Landw. Jahrbücher 1907, und weitere Mitteilungen desselben Forschers.

[3]) Kapillarchemie von HERBERT FREUNDLICH.

$$\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}} \qquad (1)$$

gilt, worin $\frac{x}{m}$ die absorbierte Menge gelösten Stoffes auf die Mengeeinheit des Absorbens, c die Konzentration des nicht absorbierten, in Lösung befindlichen Anteils, a und $\frac{1}{n}$ Konstanten bedeuten, die von der Natur der beteiligten Stoffe und von der Temperatur abhängen. Man prüft das Zahlenmaterial am einfachsten auf das Statthaben einer solchen Beziehung, wenn man die Logarithmen von $\frac{x}{m}$ und c gegeneinander in ein rechtwinkliges Koordinatensystem einträgt. Gemäss der Formel

$$\log \frac{x}{m} = \frac{1}{n} \log c + \log a \qquad (2)$$

erhält man, falls die Formel (1) zutrifft, eine gerade Linie (2).

Die Werte für $\frac{x}{m}$ und c lassen sich folgendermassen berechnen: Für No. 1 (Tabelle I) sind im Absorbens, also in 100 g Ammoniumpermutit vorhanden 4.87 g Stickstoff (N); auf 1 g Ammoniumpermutit also 48.7 mg N. In der Lösung sind auf 100 g Permutit 40000 ccm Wasser und 0.25 g N vorhanden; c wird also $\frac{250}{40000} = 6.25 \times 10^{-3}$. Die Werte sind weiter in der zweiten Tabelle vereinigt.

Tabelle II.

No.	$\frac{x}{m} = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Permutit}}$	$\log \frac{x}{m}$	$c = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Wasser}}$	log c
1	48.7	1.6875	6.25×10^{-3}	— 2.2041
2	45.8	1.6609	5.40×10^{-3}	— 2.2676
3	42.1	1.6243	4.55×10^{-3}	— 2.3420
4	36.0	1.5563	3.04×10^{-3}	— 2.5171
5	31.0	1.4914	2.02×10^{-3}	— 2.6946
6	24.8	1.3945	1.32×10^{-3}	— 2.8794

Die Konstanten $\frac{1}{n}$ und a werden am bequemsten und auch am genauesten aus der graphischen Darstellung (s. Fig. 2) bestimmt. $\frac{1}{n}$ ist der Tangens des Neigungswinkels der Kurve $\log \frac{x}{m} = \frac{1}{n} \log c + \log a$ gegen die log c-Achse. Log a ist

der Abstand der Geraden von der log c-Achse, wie er auf der log $\frac{x}{m}$-Achse abgeschnitten wird, denn für log c = o, wird log a = log $\frac{x}{m}$. Man kann aus Fig. 2 berechnen: $\frac{1}{n} = 0.406$, log a = 2.58 und a = 380, so dass die Formel wird

$$\frac{x}{m} = 380\, c^{0.406}. \qquad (3)$$

Der Wert für $\frac{1}{n}$ liegt zwischen den von FREUNDLICH (Kapillarchemie, S. 150—151) mitgeteilten Werten, welche sich zwischen 0.1 und 0.5 bewegen. Wie bekannt, kommt FREUNDLICH zu dem Ergebnis, dass der Exponent $\frac{1}{n}$ innerhalb mässig weiter Grenzen schwankt, mag man Absorbens, Lösungsmittel oder gelösten Stoff noch so weit variieren.

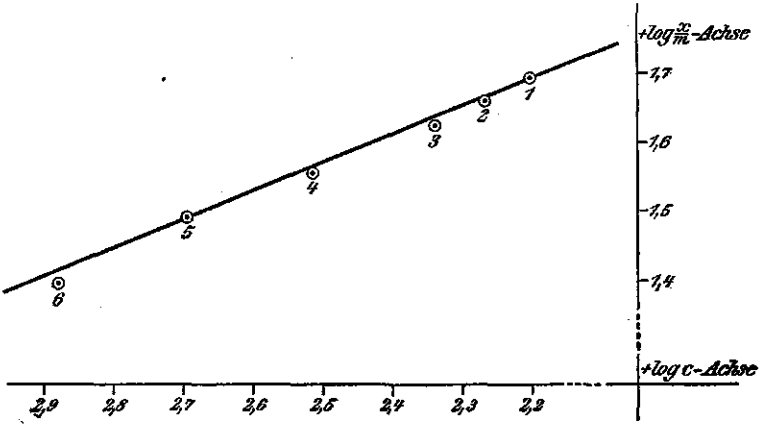

Fig. 2.

Wie sich aus der graphischen Darstellung ergibt, liegen die 6 Punkte fast genau in einer geraden Linie; die beiden Formeln (1) und (2) treffen also innerhalb des untersuchten Konzentrationsgebietes zu.

Es muss hier noch eine kleine Bemerkung gemacht werden. Das Permutit ist nicht ganz unlöslich in Wasser. In Lösung geht:

bei der Verdünnung	SiO_2 %	Al_2O_3 %
1:400	0.10	0.07
1:1000	0.19	0.13
1:2000	0.34	0.28
1:10000	1.00	0.70

Genau sind diese Zahlen jedoch nicht bestimmt. Ich wollte bloss feststellen, dass nur eine sehr geringe Menge des Permutits von Wasser angegriffen wird (bei 30° C. und 24 Stunden Rühren).

Das System Ammoniumpermutit-kohlensäurehaltiges Wasser.

In genau derselben Weise habe ich bestimmt, wieviel N gelöst wird bei der Behandlung von Ammoniumpermutit mit CO_2-gesättigtem Wasser (bei 30° C., 24 Stunden). Die Analysen wurden ausgeführt mit dem Apparat von MITSCHERLICH und sind schon im Jahre 1909 veröffentlicht worden in den „Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations, 1909, No. VI, S. 41—51 (Beiträge zur Kenntnis der Festlegung des Ammoniakstickstoffs durch das zeolithische Bodenmaterial), während MITSCHERLICH dieselben aufgenommen hat in seine sechste Mitteilung „Ein Beitrag zur Düngemittel- und Bodenanalyse".[1])

Das gebrauchte Ammoniumpermutit enthielt 5.68 % Ammoniakstickstoff (N).[2]) Die Resultate werden in Tabelle III mitgeteilt:

Tabelle III.

Nummer	Ammonium-permutit auf 2 l Wasser g	Verhältnis zwischen Ammonium-permutit und Wasser	Auf 100 g Permutit	
			haben sich aufgelöst Stickstoff g	bleiben also im Permutit zurück Stickstoff g
1	40	50	1.42	4.26
2	10	200	2.48	3.20
3	5	400	3.12	2.56
4	2.5	800	3.78	1.90
5	1	2000	4.47	1.21
6	0.4	5000	4.96	0.72
7	0.2	10000	5.20	0.48
8	0.1	20000	5.32	0.36
9	0.05	40000	5.32	0.36
10	0.025	80000	5.60	0.08

[1]) Landw. Jahrbücher 1910, S. 299.

[2]) MITSCHERLICH hat meine Zahlen benutzt zur Prüfung seiner Lösungsgleichung $\log (A-y) = \log A - cw^n$, hat aber irrtümlicherweise für A statt die ganze N-menge (5.68 %) die bei der Verdünnung 1 : 80 000 sich lösende Menge (5.32 %) substituiert. Die Lösungsgleichung muss sein log

Durch Sättigen des Wassers mit Kohlensäure wird also die Lösungsfähigkeit für den Stickstoff des Ammoniumpermutits bedeutend erhöht, überhaupt bei den kleineren Verdünnungen. Bei der Verdünnung 1 : 400 löst sich ohne CO_2 nur rund 5%, mit CO_2 dahingegen rund 55% des Gesamtstickstoffs; bei der Verdünnung 1 : 20000 sind diese Zahlen 93% und 51%.

Die Werte $\frac{x}{m}$, log $\frac{x}{m}$, c und log c sind in Tabelle IV aufgenommen:

Tabelle IV.

No.	$\frac{x}{m} = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Permutit}}$	log $\frac{x}{m}$	$c = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Wasser}}$	log c
1	42.6	1.6294	0.284	— 0.5467
2	32.0	1.5051	0.124	— 0.9066
3	25.6	1.4082	0.078	— 1.1079
4	19.0	1.2788	0.04725	— 1.3256
5	12.1	1.0828	0.02235	— 1.6507
6	7.2	0.8573	0.00992	— 2.0035
7	4.8	0.6812	0.0052	— 2.2840
8	3.6	0.5563	0.00266	— 2.5751
9	3.6	0.5563	0.00133	— 2.8761
10	0.8	— 0.0969	0.0007	— 3.1549

Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, liegen die Punkte 2—8 fast genau in einer geraden Linie. Es braucht nicht Wunder zu nehmen, dass die Punkte 9 und 10 nicht auf dieser Linie liegen, denn diese Beobachtungen sind nicht ganz einwandfrei, weil nur 50 und 25 mg Substanz angewandt wurden. Punkt 1 ist aber sehr genau bestimmt; die Linie verläuft, wenn auch nicht sehr stark, so doch unzweifelhaft konkav gegen die log c-Achse. Dies muss unstreitig so sein, denn bei Anwendung sehr geringer Wassermengen wird $\frac{x}{m}$ ungefähr 56.8, log $\frac{x}{m} = 1.75$, während die Konzentration c grösser wird. Man bekommt also einen Punkt in der Nähe von A und die Punkte, welche zu Verdünnungen, kleiner als 1 : 50, gehören, müssen zwischen 1 und A liegen.

$(5.68 - y) = 0.7543 - cw^n$, oder für diesen Fall log $(5.68 - y) = 0.7543 - 0.0303\ w^{0.898}$. (Siehe auch diese Mitteilung S. 421 und 422.) Weiter spricht Mitscherlich (S. 330) über die Lösungsgeschwindigkeit des Zeolithstickstoffs. Die Geschwindigkeit, womit der Permutitstickstoff sich löst, habe ich jedoch nicht bestimmt, wohl die Löslichkeit als Funktion des Wassergehaltes.

Die Konstanten $\frac{1}{n}$ und a habe ich, wie auf S. 382 angegeben ist, aus der graphischen Darstellung berechnet und gefunden $\frac{1}{n} = 0.615$; log a = 2.08, a = 120, so dass die Formel wird

$$\frac{x}{m} = 120\, c^{0.615}. \qquad (4)$$

Vielleicht wird die Bemerkung gemacht, dass man andere Werte für a und $\frac{1}{n}$ bekommt, wenn die Linie nicht durch die Punkte 3 und 7, sondern z. B. durch die Punkte 2 und 8 gezogen wird. Dies ist zweifelsohne der Fall, aber diese Schwierig-

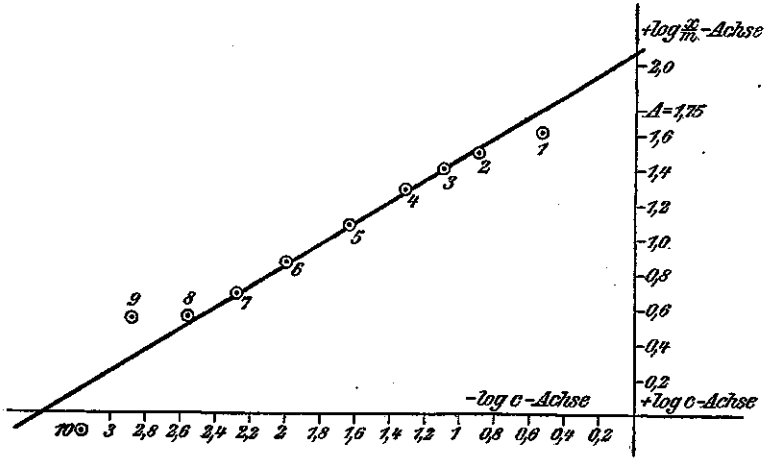

Fig. 3.

keit bleibt bestehen, auch wenn man die Konstanten algebraisch berechnet durch Substituierung von 2 Werten für $\frac{x}{m}$ und c in der Formel $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$. So bekommt man z. B. durch Substituierung der gefundenen Werte No. 3 und 6 (Tabelle IV):

$$25.6 = a \times 0.078^{\frac{1}{n}} \qquad (5)$$

und

$$7.2 = a \times 0.00992^{\frac{1}{n}}. \qquad (6)$$

Aus den Gleichungen (5) und (6) lässt sich a und $\frac{1}{n}$ berechnen; man erhält folgende Werte: a = 123 und $\frac{1}{n} = 0.615$,

also fast genau die oben mitgeteilten Zahlen. Bei anderer Zusammenfassung bekommt man andere Werte für die Konstanten. Die graphische Berechnung ist aber bequemer und auch genauer, weil man sofort sehen kann, durch welche Punkte die Linie am besten gezogen wird, damit soviel Punkte wie möglich darauf oder beinahe darauf liegen. Selbstverständlich darf dabei weniger Gewicht auf die Ergebnisse bei sehr grossen Verdünnungen gelegt werden.

Die Löslichkeit des Permutits in CO_2-haltigem Wasser ist ziemlich gross. Es lösten sich (von der Probe mit 5.12 % N):

bei der Verdünnung	N	SiO_2	Al_2O_3
1:1000	3.50 %	2.37 %	0.06 %
1:2000	4.12 „	2.38 „	0.34 „

Wie wir sehen, löst sich eine nicht geringe Menge SiO_2, während Al_2O_3 fast nicht in Lösung geht.

Das System ammoniumgesättigter Tonboden-kohlensäurehaltiges Wasser.

Die Löslichkeit des Stickstoffs des Ammoniumpermutits in Wasser und in CO_2-haltigem Wasser verläuft also bei konstanter Temperatur nach der Absorptionsisotherme $\frac{x}{m} = a\,c^{\frac{1}{n}}$.

Es lag nun nahe, zu untersuchen, inwiefern die Löslichkeit des in der Ackererde gebundenen Ammoniakstickstoffs denselben Gesetzen unterliegt.

Für diese Versuche wurde ein alter Groninger Tonboden gewählt. Eine Bestimmung des mit Chlorammoniumlösung[1]) auf dem Wege des Basenaustausches vertretbaren Kalkes, Magnesias und Kalis ergab 0.39 % CaO, 0.15 % MgO und 0.043 % K_2O, an deren Stelle also 0.307 % Ammoniakstickstoff (N) in den Boden trat.

Durch kontinuierliches Behandeln mit einer Lösung von $(NH_4)_2SO_4$ und nachfolgendes Auswaschen mit destilliertem Wasser wurden die in dem Verwitterungskomplex absorptiv gebundenen Basen (Kalk, Magnesia, Kali, Natron) grösstenteils entfernt und durch Ammonium ersetzt. Die schliesslich bei niedriger Temperatur getrocknete Erde enthielt 0.179 % N, also

[1]) Hinsichtlich der verwendeten Methode vergl. Landw. Jahrbücher 1900, S. 913.

weniger, als aus den nach MEYER in Lösung gegangenen Quantitäten CaO, MgO und K_2O folgen würde. Dies ist wahrscheinlich hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass der Boden nach der Behandlung mit $(NH_4)_2SO_4$ irrtümlicherweise mit allzu grossen Wassermengen ausgewaschen wurde. Auch wäre es nicht unmöglich, dass die Behandlung mit Ammoniumsulfat zu kurz gedauert hat. Man stösst hierbei auf die Schwierigkeit, dass die Masse beinahe undurchlässig für die Ammoniumsulfatlösung wird.

Bestimmt wurde, wieviel N sich bei 30° C. innerhalb 24 Stunden in mit CO_2 gesättigtem Wasser löste. Die Resultate werden in untenstehenden Tabellen V und VI mitgeteilt.

Tabelle V.

Nummer	Boden auf 2 l Wasser g	Verhältnis zwischen Boden und Wasser	Auf 100 g Boden: haben sich aufgelöst Stickstoff g	Auf 100 g Boden: bleiben also im Boden zurück Stickstoff g
1	40	1: 50	0.061	0.118
2	20	1: 100	0.080	0.099
3	10	1: 200	0.108	0.071
4	5	1: 400	0.134	0.045
5	2.5	1: 800	0.154	0.025
6	2	1:1000	0.157	0.022
7	1	1:2000	0.168	0.011

Tabelle VI.

No.	$\frac{x}{m} = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Boden}}$	$\log \frac{x}{m}$	$c = \frac{\text{Milligramm N}}{\text{Gramm Wasser}}$	log c
1	1.18	0.071 88	0.012 2	— 1.913 64
2	0.99	0.004 36	0.008	— 2.096 91
3	0.71	— 0.148 74	0.005 4	— 2.267 61
4	0.45	— 0.346 79	0.003 35	— 2.474 96
5	0.25	— 0.602 06	0.001 92	— 2.716 70
6	0.22	— 0.657 58	0.001 57	— 2.804 10
7	0.11	— 0.958 61	0.000 84	— 3.075 72

In Fig. 4 sind die Werte für $\log \frac{x}{m}$ und log c in Koordinaten eingetragen. Die Punkte 2, 3, 4, 5, 6 und 7 sind

fast genau collineair; es besteht also auch hier eine nahezu gradlinige Beziehung zwischen beiden Logarithmen, ausgenommen im Gebiete grosser Konzentrationen: Punkt 1 liegt wiederum rechts von der Linie, die Linie neigt sich konkav zur log c-Achse.

Für die Konstanten wird gefunden $\frac{1}{n} = 0.943$ und $a = 95.5$, so dass die Absorptionsisotherme (bei 30 °) für die angewandte Ackererde mit 0.179 % Ammoniakstickstoff (N) ist:

$$\frac{x}{m} = 95.5\ c^{0.943}. \qquad (7)$$

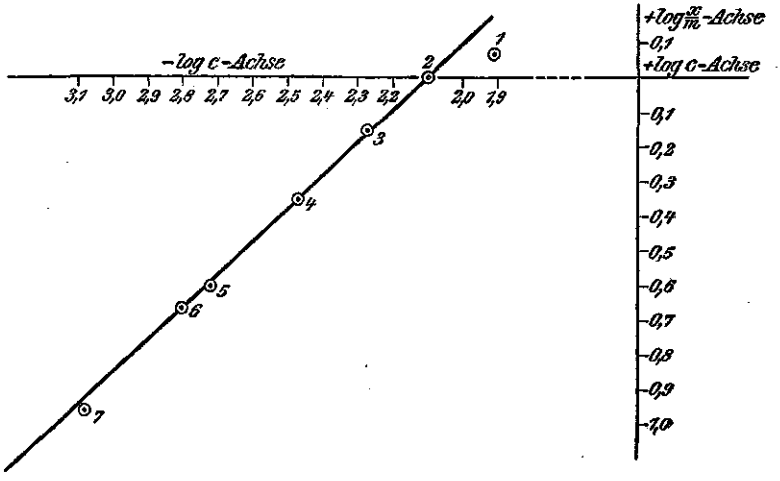

Fig. 4.

Stellt sich das Gleichgewicht bei oben mitgeteilten Versuchen innerhalb 24 Stunden ein.

Ich möchte hier noch einige orientierende Versuche mitteilen, welche den Zweck haben, zu ermitteln, ob unter den angewandten Lösungsbedingungen (30 ° C., mit oder ohne CO_2), das Gleichgewicht sich innerhalb 24 Stunden einstellt. Ich teile hier nur die folgenden Resultate mit. Es lösen sich in Prozenten:

Verdünnung:	1:1000		1:2000		1:2000	
	ohne CO_2 in Stunden		ohne CO_2 in Stunden		mit CO_2 in Stunden	
	24	72	24	72	24	72
N	0.54	0.70	1.14	1.10	4.12	4.26
SiO_2	0.19	0.44	0.34	0.98	2.38	3.24
Al_2O_3	0.13	0.10	0.28	0.10	0.34	0.32

Das Gleichgewicht hat sich also nach 24 Stunden noch nicht völlig eingestellt. Indessen ist die Löslichkeitszunahme des Stickstoffs sehr gering, während von der Tonerde selbst weniger in Lösung gegangen ist, was vielleicht Analysefehlern zuzuschreiben ist. Nur die gelöste Quantität Kieselsäure ist nach 72 Stunden nicht unbedeutend gestiegen.

Weiter wurde versucht zu ermitteln, mit welcher Geschwindigkeit das von Ammoniak befreite Permutit den Ammoniak aus einer amoniakalischen Lösung wieder absorbierte.

Durch wiederholte Extraktionen mit CO_2-haltigem Wasser wurde das Ammoniumpermutit fast völlig von Ammoniak befreit. Das Endprodukt enthielt noch 0.82% N, das ursprüngliche Ammoniumpermutit 5.12%. 1 g von diesem nahezu stickstofffreien Permutit wurde nun mit 2000 ccm Wasser, welche 52.16 mg NH_3 enthielten, während 2×24 Stunden gerührt (ohne CO_2-Zufuhr). Im ganzen System war 8.2 mg N (im Permutit) + 43.0 mg N (im Wasser) = 51.2 mg N anwesend, also genau dieselbe Menge, wie beim Rühren von 1 g 5.12% Ammoniumpermutit mit 2000 ccm destilliertem Wasser. Nach 48 Stunden befanden sich in Lösung 25.5 mg N; das Permutit enthielt also 25.7 mg oder 2.57%, während vom Ammoniumpermutit unter denselben Lösungsbedingungen 1.12% N in Lösung gegangen war, in der festen Phase also 4.0% zurückblieb. Wie man sieht, sind die Endkonzentrationen in beiden Fällen durchaus nicht gleich.

Weiter wurde 5 g Ammoniumpermutit (mit 5.12% N) mit 250 ccm destilliertem Wasser während ungefähr 5 Wochen in einer Flasche stehen gelassen und täglich einige Male geschüttelt. In einer anderen Flasche befanden sich 5 g Permutit (mit 0.82% N) und 250 ccm Wasser, welche 261 mg NH_3 enthielten. Im ganzen

war in dieser zweiten Flasche $5 \times 8.2 + \frac{14}{17} \times 261 = 41 + 215$, also auch 256 mg N vorhanden. Die zweite Flasche wurde in genau derselben Weise wie die erste behandelt. Nach ungefähr 5 Wochen befand sich im Permutit der ersten Flasche 4.87 % N, im Permutit der zweiten Flasche dahingegen nur 3.92 % N. Auch hier sind die Endkonzentrationen noch nicht dieselben, der Unterschied ist jedoch geringer.

Aus obigen Resultaten geht also hervor, dass das Gleichgewicht bei der Behandlung von Permutit mit einer ammoniakalischen Lösung sehr langsam eintritt.

Ich muss hier noch auf folgenden bei diesen Versuchen gemachten Fehler aufmerksam machen. Wie gesagt, wurde das ammoniakfreie Permutit durch wiederholte Extraktionen mit CO_2-haltigem Wasser hergestellt. Bei dieser Behandlung erleidet das Permutit jedoch eine Veränderung, weil kleine Mengen Tonerde und grössere Mengen Kieselsäure mit in Lösung gehen; die festen Phasen bei obigen Versuchen haben also nicht die gleiche Zusammensetzung. Ich habe nun aus dem fast ammoniakfreien Permutit in der Weise neues Ammoniumpermutit bereitet, dass ich es während ungefähr 5 Wochen unter einer Glocke über starkem Ammoniak stehen liess, die Luft dann und wann entfernte und den Ammoniak bisweilen erneute. Der Stickstoffgehalt des neuen Ammoniumpermutits war 4.90 %. Dieses neue Ammoniumpermutit kann nun mit dem ammoniakfreien Permutit verglichen werden. Löslichkeitsversuche konnten aber bis jetzt in dieser Hinsicht aus Mangel an Zeit noch nicht angestellt werden.

Chemische Verbindung, feste Lösung oder Adsorption.

Es ist nicht der Zweck dieser Arbeit, hier näher auf die Frage nach der Konstitution der Gelgemenge im allgemeinen und der Permutite insbesondere einzugehen. Mir fehlt als Leiter einer grossen Kontroll-Versuchsstation völlig die Zeit für dergleichen Arbeiten. Ich begnüge mich also mit folgenden Bemerkungen.

Gans meint, dass die Permutite chemische Verbindungen in stöchiometrischen Verhältnissen sind. Diese Auffassung richtet sich gegen die Ansichten van Bemmelens und ich meine auch, dass das Verhalten des Ammoniumpermutits gegen Wasser (mit und ohne CO_2) streitig ist mit der Hypothese von Gans.

Es bleibt also die Frage übrig, ob die Permutite zu den festen Lösungen oder zu den Adsorptionen gehören. Auch bei den Zeolithen, mit welchen Körpern diese Gelgemenge grosse Ähnlichkeit haben, sind die Ansichten über diese Frage übrigens auch noch keineswegs geklärt. Es ist noch immer eine Streitfrage geblieben, ob es sich bei den Zeolithen um feste Lösungen von Wasser *im* Silikat, also um Mischkristalle von Silikat und Wasser, oder um Adsorptionen handelt. Bekanntlich gehören die Adsorptionen nicht zu den festen Lösungen, da die feste Phase nicht homogen ist, sondern der adsorbierte Stoff sich an der Oberfläche derselben aufhält.

OSTWALD[1]) betrachtet die Zeolithen als feste Lösungen; BODLÄNDER, SOMMERFELD, DOELTER[2]) halten sie für Adsorptionen. RINNE[3]) meint, dass das Wasser den Zeolith gleichmässig durchdringe, pflichtet also der Meinung OSTWALDS bei, ebenso wie KATZ,[4]) der die Zeolithe als quellende Kristalle betrachtet, welche mit Wasser Mischkristalle bilden. VAN DER LEEDEN[5]) dagegen nennt die Zeolithe „kristallisierte Adsorptionsverbindungen". Schliesslich sei hier noch die Aufmerksamkeit gelenkt auf eine Arbeit von F. GRANDJEAN:[6]) „Optische Untersuchung der Absorption schwerer Gase und Dämpfe durch gewisse Zeolithe". Nach GRANDJEAN bildet ein Zeolith, welche einen oder mehrere Stoffe absorbiert hat, bei erreichtem Gleichgewicht eine Phase, eine homogene Masse, welche als feste Lösung betrachtet werden darf. Während aber bei den sonstigen bekannten festen Lösungen die Diffusion, wenn sie überhaupt vorhanden ist, ausserordentlich langsam verläuft, findet dieselbe bei den Zeolithen verhältnismässig sehr schnell statt.

---

[1]) Lehrbuch der allgemeinen Chemie, Bd. II, Teil III, 1906, S. 128—132.

[2]) Physikalisch-chemische Mineralogie von Prof. C. DOELTER, 1905, S. 178.

[3]) DOELTER, S. 175.

[4]) Onderzoekingen over de analogie tusschen opzwellen en mengen; 2e mededeeling: Opzwelbare kristallen en mengkristallen; door J. R. KATZ. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam, Deel XIX, 2e gedeelte, S. 781—787.

[5]) Über das Verhalten einiger durch Verwitterung entstandener Tonerde-Kieselsäure-Mineralien von R. VAN DER LEEDEN in Berlin; Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie; Jahrg. 1911, No. 5, S. 139—145.

[6]) C. r. d. l'Académie des sciences, 149, S. 866—68; nach Ch. Z. Blatt 1910, I, S. 759—60 und 1288.

Aus einer neuen Mitteilung von KATZ[1]) bekommt man den Eindruck, dass die reine Adsorption, oder, wie KATZ es nennt, die nicht-komplizierte Oberflächen-Adsorption, nur in sehr wenigen Fällen auftritt, wie z. B. bei dem von KATZ untersuchten Beispiel von der Adsorption von Wasser durch sehr fein verteilten synthetischen Quarz. In den meisten Fällen findet bei dem, was man gewohnt ist „Adsorption" zu nennen, noch etwas anderes statt, wie Schwellung, Bildung einer festen Lösung oder einer chemischen Verbindung und dergl.

Nach Abschluss dieser Arbeit erscheint eine Mitteilung von REINDERS[2]) über „Die Verteilung von Farbstoffen zwischen zwei Lösungsmitteln, Beiträge zu der Färbungstheorie". Für uns ist es von Bedeutung, dass das Zutreffen der FREUNDLICHschen Gleichung $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$ nach REINDERS kein Kriterium für das Vorhandensein einer Adsorption ist,[3]) und dass sich der Gleichgewichtszustand also auch für feste Lösungen durch diese Formel ausdrücken lässt.

Schon von VAN BEMMELEN[4]) ist hervorgehoben worden, wie schwer es ist, die beiden Wirkungen: feste Lösung und (reine) Adsorption auseinander zu halten und in Anbetracht dessen wendet er für die von ihm untersuchten Gels das Wort Absorption an. Auch andere Forscher kommen nach VAN BEMMELEN zu der Schlussfolgerung, dass in vielen Fällen Adsorption und feste Lösung Hand in Hand gehen, während bisweilen auch chemische Wechselwirkung zwischen der aufgenommenen Substanz und dem Adsorbens stattfindet. Auch sie meinen, dass dieser dualistische Vorgang zweckmässig anders genannt werden soll und adoptieren[5]) den von MC BAIN vorgeschlagenen Ausdruck „Sorption". Ich habe in dieser Arbeit

[1]) J. R. KATZ. De wetten der oppervlakte-adsorptie en de potentiaalfunctie der moleculaire krachten (Inleiding). Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam; Verslag van de vergadering van Zaterdag, 29. Juni 1912.

[2]) Dr. W. REINDERS en D. LELY, Jr. De verdeeling van kleurstoffen tusschen twee oplosmiddelen. Bydragen tot de theorie van het verven. Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam; Verslag van de vergadering van Zaterdag, 5. October 1912.

[3]) Siehe auch ZSIGMONDY, Kolloidchemie, 1912, S. 64.

[4]) J. M. VAN BEMMELEN. Die Absorption, 6. Abhandlung. Zeitschrift für anorg. Chemie, Bd. XXIII (1910), S. 324—327.

[5]) z. B. G. v. GEORGIEVICZ, Kolloid-Zeitschrift, Bd. X, S. 33.

nach Vorgang VAN BEMMELENS immer das Wort „Absorption" gebraucht.

Was nun die Permutite betrifft, so sei hier in erster Linie hervorgehoben, dass das Gleichgewicht bei der Behandlung von ammoniakfreiem Permutit mit einer Lösung von NH_3 sehr langsam eintritt. Bekanntlich stellt sich das Gleichgewicht bei den Adsorptionen fast momentan ein. Diese Tatsache nun, dass die Aufnahme des Ammoniaks von Permutit so langsam vor sich geht, macht es wahrscheinlich, dass sich hier keine reine Oberflächenverdichtung, sondern, wenigstens hauptsächlich, eine feste Lösung bildet, wobei die gelöste Substanz (NH_3) auch zum Teil chemisch im Permutit gebunden sein kann. Der Chemismus bei der Behandlung mit Wasser und kohlensäurehaltigem Wasser scheint mir sehr verwickelt zu sein; verschiedene chemische Umsetzungen können dabei stattfinden, wie z. B. Hydrolyse des Silikats, Depolymerisation der Kieselsäure usw.

Das Zutreffen der FREUNDLICHschen Gleichung $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$ ist also kein Kriterium für das Vorhandensein einer reinen Oberflächenverdichtung (Adsorption); die „Adsorptionsisotherme" kann also nicht als typisch für wahre Adsorptionen angesehen werden. Dass selbst so verwickelte Vorgänge, wie die drei obenerwähnten, durch sie beschrieben werden, rührt daher, dass die FREUNDLICHsche Formel eine recht schmiegsame Interpolationsformel mit zwei Koeffizienten darstellt (ZSIGMONDY a. a. O.)

Die Verbindungen von Permutit mit Ammoniak sind also meiner Meinung nach hauptsächlich als feste Lösungen zu betrachten, wobei chemische Wechselwirkungen zwischen der aufgenommenen Substanz (NH_3) und dem Permutit nicht ausgeschlossen, ja selbst sehr wahrscheinlich sind; auch reine Adsorption (d. h. reine Oberflächenverdichtung, nicht-komplizierte Adsorption) findet möglicherweise, aber dann nur zum sehr geringen Teile, statt.

Für diese Verbindungen hat VAN BEMMELEN den Ausdruck „Absorptionsverbindungen" vorgeschlagen. Das Permutit hält also den Ammoniak „absorptiv" gebunden; der Verlauf der Löslichkeit des Stickstoffs in Wasser kann durch eine Kurve ausgedrückt werden, die völlig den von VAN BEMMELEN für andere Absorptionen aufgestellten entspricht. Permutite sind also als Absorptionsverbindungen im Sinne VAN BEMMELENS zu betrachten.

Zsigmondy (Kolloidchemie, 1912) gebraucht für alle diese Vorgänge das Wort Adsorption und macht deswegen dabei (S. 61) den Vorbehalt, dass nicht alles, was er als Adsorption bezeichnet, wirklich reine Oberflächenverdichtung ist. Wir haben also die Wahl zwischen: Adsorption (Zsigmondy), Sorption (Bain) und Absorption (van Bemmelen). Wie gesagt, habe ich in dieser Arbeit nach Vorgang van Bemmelens immer das Wort „Absorption" gebraucht.

Zusammenfassung.

Aus obigen Versuchen geht hervor, dass für die drei untersuchten Systeme:

I. Ammoniumpermutit-Wasser;

II. Ammoniumpermutit-Wasser-CO_2;

III. mit Ammoniak gesättigten Tonboden-Wasser-CO_2

der Gleichgewichtszustand sich innerhalb der untersuchten Konzentrationsgebiete und mit Ausnahme der grossen Konzentrationen durch die bekannte Formel $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$ ausdrücken lässt.

Zugleich hat sich gezeigt, dass die Löslichkeit des Ammoniumpermutit-Stickstoffs in CO_2-haltigem Wasser viel grösser ist als in destilliertem Wasser (vergl. Tabelle I und III, S. 381 und 384).

Weil das Gleichgewicht bei einer reinen Adsorption fast momentan eintritt, so spricht die Tatsache, dass die Aufnahme des Ammoniaks von Permutit sehr langsam vor sich geht, für die Voraussetzung, dass sich hier keine reine Oberflächenverdichtung (Adsorption), sondern, wenigstens hauptsächlich, eine feste Lösung bildet, wobei die gelöste Substanz (NH_3) auch zum Teil chemisch im Permutit gebunden sein kann. Das Zutreffen der Formel $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$ ist also nicht immer ein Merkmal des reinen Adsorptionsvorganges.

Die Permutite sind also als Absorptionsverbindungen im Sinne van Bemmelens zu betrachten.

II. Vegetationsversuche mit Ammoniumpermutit.

Es ist eine jetzt allgemein bekannte Tatsache, welche schon vor mehr als 50 Jahren von Mulder in seinem Werke „Die Chemie der Ackerkrume" an manchen Stellen hervorgehoben

wurde, dass den Pflanzen in einer guten Ackererde viele der wichtigsten Nährstoffe auf dem Wege des Basenaustausches zugeführt werden; man düngt nicht die Pflanzen, sondern den Boden, welcher die Nährstoffe absorbiert. Als Sitz dieses Absorptionsvermögens sind, wie gesagt, neben Eisenhydroxyd und Humussubstanzen eine Reihe von leicht zersetzbaren wasserhaltigen Doppelsilikaten zu betrachten. Während einerseits nun diese Absorptionskraft günstig wirkt als eine die nützlichen Bodenbestandteile zurückhaltende, so muss anderseits doch die Frage gestellt werden, ob die vom Boden absorbierten Nährstoffe vielleicht so fest gebunden werden, dass sie wenigstens zum Teil über die Dauer einer Vegetationsperiode hinaus für die Pflanzenwurzeln unzugänglich bleiben.

In den Jahren 1904 und 1907 sind von PFEIFFER und seinen Mitarbeitern Versuche gemacht worden über die Festlegung des Ammoniakstickstoffs durch die Zeolithe im Boden.[1]) Es wurde für diese Versuche eine künstlich hergestellte zeolithartige Verbindung benutzt und diese dem zum Füllen der Vergleichsgefässe verwendeten reinen Odersande zugesetzt. Da sämtliche mit Gerste angestellten Versuche stark unter dem Befall mit Meltau zu leiden hatten, wurde frühzeitig geerntet und nach 3 Tagen Hafer ausgesät. Das Hauptergebnis war, dass das absorbierte Ammoniak vom Calciumzeolith so fest gebunden wurde, dass dieses zum Teil erst im Laufe einer zweiten Vegetationsperiode (der des Hafers) für die Pflanzenwurzeln zugänglich wurde.[2])

Man hat demnach bei diesen Versuchen mit zwei abgekürzten Vegetationsperioden zu rechnen. Deswegen und auch weil die Versuche mit dem wenig wirksamen Apophyllit angestellt sind, so wurden an der Versuchsstation Wageningen im Sommer 1909 und 1910 Versuche gemacht unter Zugrundelegung

[1]) Die Festlegung des Ammoniakstickstoffs durch die Zeolithe im Boden, von TH. PFEIFFER und A. EINECKE; Mitteilungen der Landw. Institute der Königl. Universität Breslau, dritter Band, 1906, S. 299—310; und zweite Mitteilung von TH. PFEIFFER, A. HEPNER und L. FRANK, ebenda, vierter Band, S. 321—330.

[2]) Obenstehendes ist ein Teil des deutschen Resumés meiner vorläufigen Mitteilung „Beiträge zur Kenntnis der Festlegung des Ammoniakstickstoffs durch das zeolithische Bodenmaterial", erschienen in den „Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations" No. VI, 1909.

der Breslauer Versuche, jedoch mit Benutzung der von GANS hergestellten Permutiten. Und zwar wurde die Düngerwirksamkeit von Ammoniumsulfat und Ammoniumpermutit miteinander verglichen. Für die Herstellungsweise des Ammoniumpermutits kann auf den ersten Teil dieser Mitteilung (S. 380) hingewiesen werden.

Versuche im Jahre 1909.

Selbstverständlich musste mit einem möglichst zeolitharmen[1]) Sande gearbeitet werden. Wie arm der von mir benutzte Heidesand an Pflanzennährstoffen, überhaupt an Stickstoff war, geht aus den Ernteergebnissen der Gefässe, welche keine Stickstoffdüngung bekamen, hervor (Serie I).

Die Versuche wurden in 11 kg Sand fassenden, glasierten Tongefässen, welche mit 1—2 kg Steinen alle bis auf dasselbe Gewicht gebracht worden waren, ausgeführt. Je fünf Gefässe wurden gleichmässig nach folgendem Plane beschickt:

A. Grunddüngung in allen Gefässen:

1.972 g $Ca(H_2PO_4)_2$ 1 aq (mit 55.46 % P_2O_5),
2.058 „ Kaliumsulfat (mit 53.2 % K_2O),
1.0 „ Magnesiumchlorid (mit 21.3 % MgO),
5.0 „ Calciumkarbonat;

B. folgende Stickstoffdüngung:

Serie	Gefässe No.	Stickstoff g	In Form von: Ammoniumpermutit mit 5.35 % N-Permutit g	In Form von: Ammoniumsulfat mit 21.18 % N-Sulfat g
I	1—5	0.0	—	—
II	6—10	0.6	11.215	—
III	11—15	0.6	—	2.833
IV	16—20	0.6	—	2.833
V	21—25	0.8	14.953	—
VI	26—30	0.8	—	3.777
VII	31—35	0.8	—	3.777
VIII	36—40	1.0	18.692	—
IX	41—45	1.0	—	4.721
X	46—50	1.0	—	4.271

Die Füllung der Gefässe fand folgendermassen statt. Erst wurden auf die Steine in den Gefässen 5325 g Sand gebracht, darauf 1892 g mit 5 g $CaCO_3$ gemischter Sand, worauf die

[1]) Hier und da wird vom zeolithischen oder vom zeolithartigen Bodenmaterial gesprochen, womit nur der absorbierende Teil des Bodens gemeint wird.

Menge mit 300 ccm Wasser angefeuchtet wurde. Der darauffolgenden Sandschicht von 1892 g wurden die Düngerstoffe (Permutit und Grunddüngung ohne $CaCO_3$) beigemischt. Da es im Heidesande an Nitrifikationsbakterien fehlen konnte, empfing jedes Gefäss schliesslich in der letzten ungefähr 3 cm dicken Schicht von 1892 g Sand 10 g Gartenboden (N-Gehalt 0.364 %) beigemischt. Die Sandmasse wurde mit 250 ccm Wasser gleichmässig durchfeuchtet, während schliesslich am folgenden Tag nach der Aussaat der Haferkörner nochmals 100 ccm Wasser gegeben wurde und zwar in die mit $(NH_4)_2SO_4$ gedüngten Gefässe als Ammoniumsulfatlösung.

Wie aus obigen Zahlen hervorgeht, enthielt der Sand in jedem Gefäss 650 ccm Wasser, also rund 5.9 % Wasser, eine Menge, welche ca. 60 % derjenigen Wassermenge entsprach, welche dieser Sand im Höchstfalle zurückzuhalten vermochte (Wasserkapazität 9.8 %). Infolge dieser recht geringen Wasserkapazität des benutzten Sandes hat es den Haferpflanzen, überhaupt zur Zeit der lebhaftesten Vegetation, an dem für eine möglichst ausgiebige Pflanzenproduktion erforderlichen Wasser gefehlt; die Pflanzen sind bei mässiger Wassergabe gewachsen. Die Feuchtigkeitsregulierung erfolgte in bekannter Weise durch tägliches Wägen und Auffüllung mit Wasser auf das bestimmte Gewicht, welches später beim Wachsen der Haferpflanzen allmählich etwas erhöht wurde. Selbstverständlich wurde nur destilliertes Wasser zum Giessen verwendet.

Das Ammoniumsulfat wurde in Lösung gegeben und zwar bei den Gefässen 11—15, 26—30, 41—45 am 27. April, 17. Mai, 1. Juni und 14. Juni jedesmal resp. 0.7083 g $(NH_4)_2SO_4$ (0.15 g N), 0.9443 g (0.20 g N) und 1.1804 g (0.25 g N); und bei den Gefässen 16—20, 31—35 und 46—50 am 27. April, 10. Mai, 17. Mai, 24. Mai, 1. Juni, 7. Juni, 14. Juni und 21. Juni jedesmal resp. 0.3542 g $(NH_4)_2SO_4$ (0.075 g N), 0.4722 g $(NH_4)_2SO_4$ (0.10 g N) und 0.5902 g $(NH_4)_2SO_4$ (0.125 g N). Die N-Gaben betrugen also 0.6, 0.8 g und 1.0 g, welche bei der einen Hälfte der Ammoniumsulfatgefässe in 4 mal, bei der anderen Hälfte in 8 mal zugeführt wurden. Unter diesen Umständen wurden die Ammoniumsulfatverluste zu einem Minimum reduziert, während die Pflanzen doch immer genügende Stickstoffmengen zu ihrer Entwicklung vorfanden.

Die Gefässe standen in einem kleinen Glashaus in drei 80 cm breiten und 35 cm tief in den Boden eingegrabenen Fächern, was sie vor den Wärmestrahlen der Sonne schützte.

Am 26. April wurden die Vegetationsgefässe mit je 25 Körnern Hafer eingesät, welche Anfang Mai auf je 20 Pflanzen vereinzelt wurden. In den 20 Körnern sind 10.4 mg N vorhanden. Die in Wasser gelöste Ammoniumsulfatdüngung wurde an oben mitgeteilten Daten aufgegossen.

Mitte Juni erschien an der Aussenseite einiger Gefässe ein wenig weisser Ausschlag, offenbar von den Nährstoffen im Gefäss herrührend. Nachdem die feinen Sprünge in der Glasur mit einer Lösung von Schellack bestrichen worden waren, hörte das Ausschwitzen auf. Im Jahre 1910 wurden die Gefässe an der inneren Seite mit einer alkoholischen Lösung von Lack und Harz, an der Aussenseite mit Ripolin bestrichen. Die Gefässe haben sich auf diese Weise gut bewährt.

Die Ernte erfolgte am 9. August. Der Hafer wurde abgeschnitten, lufttrocken gemacht, die Körner vom Stroh getrennt, die Wurzeln ausgesiebt und sodann die Ernte (lufttrocken) an Korn, Stroh + Spreu und Wurzelmasse festgestellt. Es zeigte sich jedoch, dass in den abgesiebten Wurzeln noch ziemlich viel Sand (von 4.0—29.6 $^0/_0$ mittels Schütteln mit Tetrochlorkohlenstoff bestimmt) vorhanden war.

Hier sei noch die Bemerkung gemacht, dass der Sand der Permutitgefässe am Schluss der Versuche stark alkalisch, der Sand der Ammoniumsulfatgefässe dagegen schwach alkalisch reagierte gegen Lakmus. Diese schwächre alkalische Reaktion wird offenbar von nicht von den Pflanzen aufgenommener Schwefelsäure verursacht.

Die Erntegewichte an lufttrockner Substanz sind in Tabelle 1 mitgeteilt worden, die Prozente Wasser (bei 105 ^{0} C.) und Sand in den Wurzeln in Tabelle 2. Aus beiden Tabellen lassen sich die Erntegewichte an sandfreier Trockensubstanz berechnen (Tabelle 3). Die in der Ernte anwesenden Stickstoffmengen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt worden. Die Tabellen 1—4 sind hinter dem Text aufgenommen. Schliesslich gibt Tabelle 5 (s. S. 401) einen Überblick über die Ernteergebnisse pro Serie (Trockensubstanz in Gramm, Stickstoffernte in Milligramm und Stickstoffgehalt der Trockensubstanz in Prozenten).

Betrachten wir zunächst die Ernteergebnisse (Tabelle 3), so müssen leider verschiedene, nicht unerhebliche Abweichungen bei den Parallelgefässen zugegeben werden. Auch bei den Stickstoffernten muss mit ziemlich bedeutenden Abweichungen gerechnet werden. Da indessen über je 5 Parallelgefässe verfügt wurde, so sind die berechneten Mittelzahlen, wie aus den in Tabelle 5 (S. 401) mitgeteilten wahrscheinlichen Fehlern hervorgeht, ziemlich sichergestellt, um eine Schlussfolgerung zu ermöglichen.

Eine Antwort auf die Frage, ob die Ammoniumsulfatdüngung besser in 8mal als in 4mal gegeben wird (vergl. Serie III und IV, VI und VII, IX und X am bequemsten in Tabelle 5), ist nicht zu geben. Das Gesamtergebnis habe ich pro Gefäss berechnet und in Tabelle a zusammengestellt.

Tabelle a.

Düngung:	Die Durchschnittsernte pro Gefäss beträgt in Gramm:	
	Trockensubstanz	Stickstoff
Serie III, VI, IX (4mal N)	53.6	0.49
Serie IV, VII, X (8mal N)	52.3	0.52

Viel Unterschied lässt sich wenigstens nicht erkennen; im Jahre 1910 habe ich die Serie: Ammoniumsulfatdüngung in 8mal fortfallen lassen.

Für die weiteren Betrachtungen sind die Serien III und IV, VI und VII, IX und X zusammengenommen. Einen guten Überblick über die Resultate der Versuche 1909 ergibt nun Tabelle b.

Tabelle b.

Serie:	Stickstoffdüngung: A.-S. = Ammoniumsulf., A.-P. = Ammoniumpermutit.	Durchschnittszahl Pflanzen pro Gefäss	Länge der Halme in cm	Gesamternte pro Gefäss		Prozentualer Gehalt der Gesamttrockensubstanz an Stickstoff
				Trockensubstanz g	Stickstoff g	
I	ohne N	20	27	3 97	17	0.43
III und IV	0.6 g N (A.-S.)	19.7	75	51.57	408	0.79
VI und VII	0.8 „ „ „	19.6	70	55.62	525	0.94
IX und X	1.0 „ „ „	19.7	62	51.54	582	1.13
II	0.6 „ „ (A.-P.)	20	82	53.63	388	0.72
V	0.8 „ „ „	19.8	75	48.72	431	0.88
VIII	1.0 „ „ „	20	69	45.73	490	1.07

Tabelle 5.

Zusammenstellung der Mittelzahlen der Versuchsergebnisse im Jahre 1909.

Versuchsreihe (Nummer der Gefässe)	Stickstoffdüngung	Durchschnittsernte pro Gefäss an Trockensubstanz in Gramm				Durchschnittsernte pro Gefäss an Stickstoff in Milligramm				Prozentualer Stickstoffgehalt der Trockensubstanz			
		Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
I (1—5)	Ohne	1.55	1.63	0.78	3.96 (± 0.09)	6	5	6	17 (± 0.6)	0.39	0.31	0.77	0.43
II (6—10)	0.6 g N A.-P.	9.40	24.65	19.58	53.63 (± 1.08)	62	74	252	388 (± 6.4)	0.66	0.30	1.29	0.72
III (11—15)	0.6 g N A.-S. (4 ×)	8.96	23.41	20.91	53.28 (± 1.53)	54	65	293	412 (± 6.3)	0.60	0.28	1.40	0.77
IV (16—20)	0.6 g N A.-S. (8 ×)	8.37	21.11	20.38	49.86 (± 0.99)	52	65	286	403 (± 10.1)	0.62	0.31	1.40	0.81
V (21—25)	0.8 g N A.-P.	8.56	22.44	17.72	48.72 (± 2.16)	72	86	273	431 (± 20.7)	0.84	0.38	1.54	0.88
VI (26—30)	0.8 g N A.-S. (4 ×)	9.20	24.94	22.99	57.13 (± 1.51)	73	87	349	509 (± 14.2)	0.79	0.35	1.52	0.89
VII (31—35)	0.8 g N A.-S. (8 ×)	8.59	23.87	21.65	54.11 (± 1.22)	69	86	385	540 (± 10.2)	0.80	0.36	1.78	1.00
VIII (36—40)	1.0 g N A.-P.	7.85	21.00	16.88	45.73 (± 1.59)	82	114	294	490 (± 14.2)	1.04	0.54	1.74	1.07
IX (41—45)	1.0 g N A.-S. (4 ×)	8.36	22.51	19.41	50.28 (± 1.06)	83	107	359	549 (± 11.9)	0.99	0.48	1.85	1.09
X (46—50)	1.0 g N A.-S. (8 ×)	7.52	23.01	22.26	52.79 (± 1.40)	77	110	429	616 (± 16.7)	1.02	0.48	1.93	1.17

A.-P. = Ammoniumpermutit; A.-S. = Ammoniumsulfat; 4 × bezw. 8 ×, gegeben in 4- bezw. 8malen.

In erster Linie trifft uns nun die Abnahme der Erntegewichte an Trockensubstanz (53.63 g, 48.72 g, 45.73 g) bei steigender Stickstoffdüngung in der Form von Ammoniumpermutit. Auch bei den mit Ammoniumsulfat gedüngten Serien lässt sich diese Abnahme erkennen: die mit 1 g N gedüngten Serien IX und X ergeben rund 0.8 % weniger Gesamttrockensubstanz als die mit 0.8 g N gedüngten Serien VI und VII. Diese Tatsachen können nicht erklärt werden durch Annahme von Stickstoff-Verlusten; steigen doch die Stickstoffernten bei Steigerung der Stickstoffdüngung ganz regelmässig.

Zur Erklärung dieses Ergebnisses sei in erster Linie ein Resultat einiger Vegetationsversuche HELLRIEGELS mitgeteilt.[1]) HELLRIEGEL hat nämlich bewiesen, dass bei beschränkter Wassergabe eine Stickstoffdüngung von 0.28 g (bei Gerste) normal verwertet wurde (28.44 g Trockensubstanz), während die doppelte Stickstoffgabe nur noch eine sehr geringe Ernteteigerung von 1.54 g und die dreifache Gabe bereits eine Ernteverminderung von 4.11 g bewirkt hat.

Die geringe Wasserkapazität des benutzten Sandes in Betracht gezogen, liegt es auf der Hand, die Ursache der Ernteabnahme an Trockensubstanz bei steigender Stickstoffdüngung zu suchen in dem Mangel an Wasser, überhaupt zur Zeit der lebhaftesten Vegetation; die Haferpflanzen sind bei mässiger Wassergabe gewachsen.

Beim Ammoniumpermutit machte sich der Wassermangel schon bei geringerer Stickstoffgabe fühlbar als bei der Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak. Eine Steigerung der Stickstoffdüngung von 0.6 g N auf 0.8 g N in der Form von $(NH_4)_2SO_4$ ergibt sogar noch eine Zunahme der Ernte an Trockensubstanz von 4.05 g (55.62—51.57); die Annahme erscheint mir daher gerechtfertigt, dass die Wassergabe von 650 g H_2O pro Gefäss bei den Serien VI und VII (0.8 g N in der Form von $(NH_4)_2SO_4$) nicht weit von der optimalen Wassergabe abliegt.

Unterdessen muss ein zweiter Umstand, welcher den Wassermangel bei den Versuchsserien mit den höchsten Stickstoffgaben noch grösser gemacht hat, nicht unberücksichtigt bleiben. Diese Serien waren an der südlichen Seite des Glashauses aufgestellt

---

[1]) Beiträge zur Stickstofffrage, Berlin 1897; zitiert nach PFEIFFER, Versuchs-Stationen Bd. 76, S. 190—191.

und müssen da wohl mehr unter der schlechten Wasserversorgung gelitten haben.

Zum richtigen Verständnis der Sache sei hier das Schema der Gefässaufstellung im Glashaus (s. Fig. 5) wiedergegeben.

Das Glashaus war nur 4.93 m lang, 4.76 m breit, an den Seiten 1.57 m und in der Mitte 2.62 m hoch; oben mit dickem Milchglas bedeckt, an den Seiten mit Drahtgaze abgeschlossen und ausserdem an der südwestlichen Seite A B durch Glasfenster vor den herrschenden südwestlichen Regenwinden geschützt. Im Sommer stieg die Temperatur in diesem kleinen Raum sehr hoch und war der Wasserverbrauch der Pflanzen dementsprechend ausserordentlich gross, überhaupt an der Seite A D und auch an der Seite A B, in der Nähe von A.

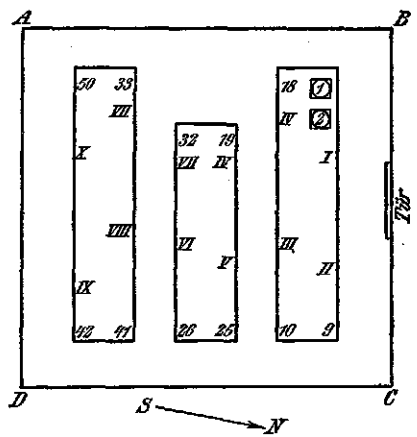

Fig. 5.
Die römischen Zahlen bedeuten die Versuchsserien, die arabischen die Nummer der Gefässe.

Je mehr die Gefässe also an der Seite A D standen, in desto ungünstigerer Lage befanden sie sich. Dass diese Voraussetzung in der Tat zutrifft, geht, wie wir unten sehen werden, deutlich aus den im Jahre 1910 erhaltenen Resultaten hervor (siehe S. 407 und 409).

Die Serie VIII befindet sich also in ungünstigerer Lage als die Serie II. Vor allem sind die Serien IX und X der vollen Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen.

Auch die verschiedenen Ernteergebnisse der Serien III gegen IV, VI gegen VII und IX gegen X lassen sich in dieser Weise erklären. Serien III und VI liegen etwas günstiger als IV und VII und ergeben mehr Trockensubstanz; der Unterschied zwischen IX und X ist nicht gross.

Die Abnahme der Ernten an Trockensubstanz bei steigender Stickstoffdüngung wird daher bei diesen Versuchen genügend erklärt durch die beschränkte Wassergabe und die verschiedenen Vegetationsbedingungen in den verschiedenen Teilen des Glas-

hauses. Unter diesen Umständen, dass also in den verschiedenen Teilen des Glashauses verschiedene Vegetationsbedingungen geherrscht haben, muss ich mich beschränken auf folgende zusammenfassende Angabe, zu der man durch Gegenüberstellung der 30 Ammoniumsulfatgefässe und der 15 Ammoniumpermutitgefässe gelangt (siehe Tabelle c).

Tabelle c.

Düngung:	Die Durchschnitts-Gesamternte pro Gefäss beträgt in Gramm:		Prozentualer Stickstoffgehalt der Trockensubstanz
	Trockensubstanz	Stickstoff	
Ohne Stickstoff	4.0	17	0.43
Serien III, IV, VI, VII, IX und X Ammoniumsulfat (im Mittel 0.8 g N pro Gefäss)	52.9	505	0.95
Serien II, V, VIII Permutit (im Mittel 0.8 g N pro Gefäss) . .	49.4	436	0.88

Unter den im Jahre 1909 im Glashause obwaltenden Versuchsbedingungen hat also die Ammoniumsulfatdüngung ein wenig mehr Gesamttrockensubstanz erzeugt (rund 7 % mehr) als die Permutitdüngung, während die mittlere prozentuale Ausnützung des Stickstoffs bei der A.-S.-Düngung rund 62 % $\left(\frac{505-17}{8}\right)$ und bei der Permutitdüngung rund 53 % $\left(\frac{436-17}{8}\right)$ beträgt. Es lässt sich also nicht leugnen, dass die Haferpflanzen in dem in unserem Glashaus trocknen Jahre 1909 den Stickstoff des Ammoniumsulfats etwas besser ausgenutzt haben als den des Permutits; das Verhältnis beträgt rund 0.86 $\left(\frac{53}{62}\right)$.

Stickstoffbilanz.

Leider bin ich nicht imstande, die Gesamtstickstoffbilanz mitteilen zu können. Nur von einigen Gefässen (Serie I, II, III, IV und V; Gefässe No. 1—25) wurde der Stickstoffgehalt des Sandes am Schluss der Versuche bestimmt. Wie PFEIFFER (Bd. IV, S. 329) bemerkt, besitzen wir keine genauen Anhaltspunkte für die Fehlergrösse der Stickstoffbestimmungen im

Boden und eben darum nicht, weil die Entnahme der grösseren Durchschnittsprobe aus dem Inhalte eines Versuchsgefässes mit einem Fehler behaftet ist, der nur durch Entnahme mehrerer Proben festgestellt bezw. ausgeglichen werden kann. Diese neue Fehlerquelle fällt, nach PFEIFFER, schon bei der ersten Probenahme beim Beginn der Versuche oft stärker ins Gewicht als die Abweichungen von 10 Parallel-Stickstoffanalysen; wieviel mehr muss dies der Fall sein, wenn nach Beendigung der Versuche zur Probenahme aus den mit Wurzelfasern durchsetzten Sande geschritten wird (PFEIFFER, Bd. IV, S. 328). Um daher richtige oder wenigstens einigermassen zuverlässige Resultate zu bekommen, mussten aus jedem Gefäss etwa drei Proben genommen und in jeder Probe 10 Parallel-Stickstoffanalysen gemacht werden, und zu dieser umfangreichen Arbeit (1500 Stickstoffbestimmungen im Sande) fehlte mir völlig die Zeit. Ich teile hier also nur mit, dass am Schluss der Versuche in dem Sande der Serie I (Gefässe No. 1—5) gefunden wurde 0.0032 % N, der Serie II (Gefässe No. 6—10) 0.0052 % N, der Serie III und IV (Gefässe No. 11—20) 0.0043 % N und der Serie V (Gefässe No. 21—25) 0.0048 % N; füge hier aber ausdrücklich hinzu, dass jedem Gefäss nur eine Sandprobe entnommen ist und in jeder Probe nur eine Stickstoffbestimmung gemacht wurde. Die mitgeteilten Prozente sind also die Mittelzahlen aus je 5 Bestimmungen.

Aus obigen Zahlen und aus den Werten der Tabelle c ist folgende Stickstoff-Bilanz (alle Zahlen bedeuten Milligramm N) berechnet worden.

Tabelle d.

Serie:	In der Düngung mehr verabreicht als in Serie I mg N	Am Schluss der Versuche Milligramm N:			Differenz mit Serie I mg N
		im Boden	in der Ernte	Summe Boden und Ernte	
I	—	352	17	369	—
II	600	572	388	960	591
III und IV	600	473	408	881	512
V	800	528	431	959	590

Die bei Serie II pro Gefäss verabreichten 600 mg N werden also fast genau wiedergefunden; von den bei Serie III

und IV und bei Serie V gegebenen 600 und 800 mg N kann nur rund 85 % und 75 % verantwortet werden. Ich begnüge mich damit, diese Ergebnisse hier mitzuteilen, enthalte mich aber von weiteren Schlussfolgerungen.

Versuche im Jahre 1910.

Die im Jahre 1910 angestellten Versuche unterscheiden sich von den Versuchen 1909 hauptsächlich dadurch, dass pro Gefäss statt 20 nur 15 Haferpflanzen ausgepflanzt sind und dass ein Sand von höherer Wasserkapazität (12.2 % gegen 9.8 % im Jahre 1909) gebraucht wurde. Pro Gefäss wurden jetzt $0.6 \times 110 \times 12.2 = 805$ g Wasser hinzugefügt, statt 647 g im vorigen Jahr. Weiter wurden die P_2O_5-, K_2O-, MgO- und auch die N-Gaben etwas erhöht, und fielen die Serien „Ammoniumsulfat 8mal" fort. Schliesslich verteilte ich die verschiedenen Gefässe derselben Serie gleichmässig über das ganze Glashaus, wie aus Fig. 6 hervorgeht.

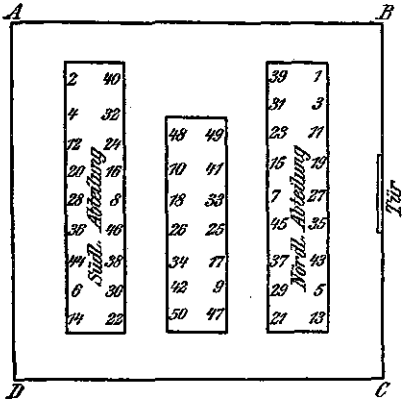

Fig. 6.

Die Grunddüngung der 11 kg Heidesand fassenden, glasierten Tongefässe betrug:

5.0 g Calciumkarbonat,
1.1 „ Magnesiumchloride,
3.0 „ Monocalciumphosphat,
3.0 „ Kaliumsulfat,
10.0 „ Gartenboden (mit ungefähr 35 mg N).

Für die Zusammensetzung der Düngemittel sei auf S. 397 verwiesen.

Die Gefässe 1 und 2 blieben ohne Stickstoffdüngung; weiter enthielten:

Serie II (No. 3—10)	0.8 g N	} in Form von Ammoniumsulfat und zwar gelöst in 4 Gaben.	
„ III („ 11—18)	1.0 „ „		
„ IV („ 19—26)	1.2 „ „		
„ V („ 27—34)	0.8 „ „	} in Form von Ammoniumpermutit mit 5.22 % N.	
„ VI („ 35—42)	1.0 „ „		
„ VII („ 43—50)	1.2 „ „		

Die Füllung der Gefässe und die Wasserversorgung fand statt wie im Jahre 1909.

Aus den Vegetationsnotizen seien folgende Bemerkungen hervorgehoben:

13. April, Aussaat von je 29 Haferkörnern; 17. April, nicht sehr gleichmässiger Aufgang der Saat; 20. April, die Serien II, III und IV (Gefässe No. 3—26) bekommen die erste Ammoniumsulfatdüngung, also 0.2, 0.25 und 0.3 g N in Lösung; 27. April, vereinzelt auf je 15 Pflanzen, welche 8 mg N enthalten; 4. Mai, 18. Mai und 1. Juni, zweite, dritte und vierte Ammoniumsulfatdüngung.

Kurz bevor zur Ernte geschritten wurde, war der Pflanzenstand wie ihn die Abbildung (Taf. III, Fig. a und b) wiedergibt. Die abgebildeten Gefässe sind No. 1, 3, 11, 19, 27, 35 und 43 und No. 2, 4, 12, 20, 28, 36 und 44.

Die Ernte erfolgte Anfang August.

Die Zusammenstellung der Ernteergebnisse fand statt wie im Jahre 1909 (s. Tabellen 6 bis 9 hinter dem Text und Tabelle 10 auf S. 408).

Die Übereinstimmung zwischen den Parallelgefässen (Tabelle 8 und Tabelle 9) ist eine bessere als im Jahre 1909. Die wahrscheinlichen Fehler sind in Tabelle 10 aufgenommen.

Recht deutlich tritt der Unterschied zwischen den an verschiedenen Stellen im Glashaus aufgestellten Gefässen derselben Serie hervor, vor allem wenn die Ernteergebnisse der Gefässe (s. Tabelle 8) der nördlichen und südlichen Abteilung miteinander verglichen werden:

Nördliche Abteilung.		Südliche Abteilung.	
Serie II.		Serie II.	
No. 3	57.6 g	No. 4	52.6 g
„ 5	55.0 „	„ 6	53.3 „
„ 7	58.5 „	„ 8	55.5 „
Sa.:	171.1 g	Sa.:	161.4 g
Serie III.		Serie III.	
No. 11	57.7 g	No. 12	53.0 g
„ 13	59.9 „	„ 14	53.4 „
„ 15	51.3 „	„ 16	52.8 „
Sa.:	168.9 g	Sa.:	159.2 g

Tabelle 10.

Zusammenstellung der Mittelzahlen der Versuchsergebnisse im Jahre 1910.

Versuchsreihe (Nummer der Gefässe)	Stickstoffdüngung	Durchschnittsernte pro Gefäss								Prozentualer Stickstoffgehalt der Trockensubstanz			
		an Trockensubstanz in Gramm				an Stickstoff in Milligramm							
		Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
I (1—2)	Ohne	1.21	2.19	1.25	4.65 (± 0.09)	8	8	15	31 (± 0.8)	0.66	0.37	1.20	0.67
II (3—10)	0.8 g N A.-S.	7.38	28.88	19.72	55.98 (± 0.61)	72	158	406	636 (± 1.8)	0.98	0.55	2.05	1.14
III (11—18)	1.0 g N A.-S.	6.90	27.74	19.91	54.55 (± 0.81)	81	182	468	731 (± 4.5)	1.17	0.66	2.35	1.34
IV (19—26)	1.2 g N A.-S.	6.58	27.71	19.58	53.87 (± 0.53)	91	218	512	821 (± 4.7)	1.38	0 79	2.61	1.52
V (27—34)	0.8 g N A.-P.	6.76	27.02	21.49	55.27 (± 0.71)	64	128	425	617 (± 5.2)	0.95	0.47	1.98	1.12
VI (35—42)	1.0 g N A.-P.	6.42	28.12	23.16	57.70 (± 0.72)	71	167	516	754 (± 5.2)	1.11	0.59	2.23	1.31
VII (43—50)	1.2 g N A.-P.	7.09	27.66	25.16	59.91 (± 0.48)	84	181	599	864 (± 7.6)	1.18	0.65	2.38	1.44

A.-S. = Ammoniumsulfat; A.-P. = Ammoniumpermutit.

Nördliche Abteilung.		Südliche Abteilung.	
Serie IV.		Serie IV.	
No. 19. . . .	52.1 g	No. 20. . . .	53.1 g
„ 21. . . .	55.8 „	„ 22. . . .	52.6 „
„ 23. . . .	52.9 „	„ 24. . . .	52.0 „
Sa.:	160.8 g	Sa.:	157.7 g
Serie V.		Serie V.	
No. 27. . . .	57.2 g	No. 28. . . .	51.0 g
„ 29. . . .	56.9 „	„ 30. . . .	55.1 „
„ 31. . . .	58.6 „	„ 32. . . .	53.4 „
Sa.:	172.7 g	Sa.:	159.5 g
Serie VI.		Serie VI.	
No. 35. . . .	56.8 g	No. 36. . . .	52.6 g
„ 37. . . .	57.3 „	„ 38. . . .	56.1 „
„ 39. . . .	59.0 „	„ 40. . . .	56.7 „
Sa.:	173.1 g	Sa.:	165.4 g
Serie VII.		Serie VII.	
No. 43. . . .	59.6 g	No. 44. . . .	59.3 g
„ 45. . . .	60.2 „	„ 46. . . .	56.6 „
Sa.:	119.8 g	Sa.:	115.9 g

Die an der Nordseite aufgestellten Gefässe einer Serie haben immer ein höheres Gesamtergebnis an Trockensubstanz geliefert, als die in der südlichen Abteilung des Glashauses sich befindenden Gefässe der entsprechenden Versuchsreihe. Da indessen über je 8 Parallelgefässe verfügt wird, welche ganz regelmässig über die verschiedenen Abteilungen des Glashauses verteilt worden sind, so sind die berechneten Mittelzahlen genügend sicher gestellt, um eine bestimmte Schlussfolgerung zu ermöglichen.

An der Hand der Übersichtstabelle e lassen sich nun folgende Betrachtungen machen:

(Siehe die Tabelle e auf S. 410.)

Während 20 Haferpflanzen pro Gefäss im Jahre 1909 im Mittel von allen gedüngten Gefässen 51.7 g Trockensubstanz liefern, beträgt die Ernte an Trockensubstanz im Jahre 1910 pro Gefäss von 15 Pflanzen im Mittel 56.2 g. Diese grössere Pflanzenproduktion wird teils verursacht durch die höhere Düngergabe pro Gefäss, rührt m. E. jedoch hauptsächlich daher, dass es im Jahre 1910 infolge der höheren Wasserkapazität des benutzten Sandes nicht an dem nötigen Wasser gefehlt hat.

Tabelle e.

Serie:	Stickstoff-düngung	Durchschnittszahl Pflanzen pro Gefäss	Länge der Halme in cm	Gesamternte pro Gefäss		Prozentualer Gehalt der Gesamttrockensubstanz an Stickstoff
				Trocken-substanz g	Stickstoff mg	
I	ohne N	15	27	4.65	31	0.67
II	0.8 g N (A.-S.)	14.6	69	55.98	636	1.14
III	1.0 „ „ „	14.8	66	54.55	731	1.34
IV	1.2 „ „ „	14.6	63	53.87	821	1.52
V	0.8 „ „ (A.-P.)	14.8	67	55.27	617	1.12
VI	1.0 „ „ „	13.4	65	57.70	754	1.31
VII	1.2 „ „ „	13.4	64	59.91	864	1.44

Die pro Gefäss bei 0.8 g Stickstoffdüngung in Form von Ammoniumsulfat (Serie II) und Ammoniumpermutit (Serie V) geernteten Mengen Trockensubstanz sind nahezu gleich (55.98 g gegen 55.25 g) und stimmen mit der im Jahre 1909 bei den Serien VI und VII (0.8 g N in Form von $(NH_4)_2SO_4$) gelieferten Durchschnittsernte von 55.62 g überein.

Diese Tatsache, dass eine Düngung von 0.8 g N in Form von Ammoniumsulfat in beiden Jahren die nahezu gleiche Ernte an Trockensubstanz geliefert hat, ist eine Stütze für die auf S. 402 geäusserte Meinung, dass die Wassergabe von 650 g im Jahre 1909 bei einer Düngung von 0.8 g N in Form von $(NH_4)_2SO_4$ nicht weit von der optimalen Wassergabe abliegt. Für eine Stickstoffdüngung von 1 g N (in Form von $(NH_4)_2SO_4$) reichte aber die Gabe von 650 mg nicht aus; die Ernte ging auf 51.0 g zurück.

Bei grösserer Ammoniumsulfatdüngung geht die Gesamternte von 55.98 g auf 54.65 g und 53.73 g zurück, während erhöhte Permutitgabe eine Steigerung der geernteten Trockensubstanz von 55.25 auf 57.70 und 59.90 g zur Folge hat.

Die Abnahme der Gesamternte bei den A.-S.-Gefässen wird durch die geringere Ernte an Wurzeln und Stroh + Spreu verursacht; die Durchschnittsernten an Körnern bei den Serien II, III und IV sind fast gleich. Bei den A.-P.-Gefässen (Serien V, VI und VII) steigt eben die Ernte an Körnern von 21.47 auf 23.16 und 25.16 g im Mittel pro Gefäss; die Ernten an Wurzeln und Stroh und Spreu weichen gegenseitig nicht viel voneinander ab.

Warum bei Steigerung der Ammoniumsulfatdüngung Abnahme der Ernte an Trockensubstanz eintritt, ist mir nicht deutlich. Die Stickstoffdüngung muss durch irgend einen anderen Vegetationsfaktor an seiner optimalen Verwertung zur Pflanzenproduktion behindert worden sein, selbst in dem Maſse, dass Ernteabnahme an Trockensubstanz eintritt. Es ist mir aber unbekannt, welcher dieser Faktor ist. Es scheint mir, dass es nicht der Vegetationsfaktor Wasser sein kann, weil bei den Permutitgefässen die Ernte an Trockensubstanz steigt und ein Mangel an Wasser sich im Jahre 1909 eher bei der Ammoniumpermutitdüngung fühlbar machte.[1]) Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass die Stickstoffernten bei den Versuchsreihen mit Ammoniumsulfatdüngung steigen von 636 auf 731 und 821 mg N pro Gefäss.

Den Überblick über das Gesamtergebnis, zu dem man durch Gegenüberstellung der 24 Ammoniumsulfatgefässe und der 24 Ammoniumpermutitgefässe gelangt, ergibt folgende Tabelle f:

Tabelle f.

Düngung:	Die Durchschnitts-Gesamternte pro Gefäss beträgt in Gramm:		Prozentualer Stickstoffgehalt der Trockensubstanz
	Trockensubstanz	Stickstoff	
Serie I (ohne N)	4.7	31	0.67
Serie II, III, IV, Ammoniumsulfat (No. 3—26) (im Mittel 1 g N pro Gefäss).	54.8	729	1.33
Serie V, VI, VII, Ammoniumpermutit (No. 27—50) (im Mittel 1 g N pro Gefäss)	57.6	745	1.29

Unter den im Jahre 1910 obwaltenden Versuchsbedingungen hat also die Ammoniumpermutitdüngung etwas mehr Gesamttrockensubstanz erzeugt (rund 5 % mehr) als die Ammoniumsulfatdüngung, während die mittlere prozentuale Ausnützung des Stickstoffs bei der A.-S.-Düngung 70 % und bei der A.-P.-Düngung 71 % beträgt. Die Haferpflanzen haben also im

[1]) Vielleicht wäre hier von einer Schädigung, die sich auf die physiologisch saure Reaktion des Ammoniumsulfats zurückführen lässt, die Rede.

Jahre 1910 den N des A.-S. und des A.-P. in fast genau derselben Weise ausgenutzt; auch zwischen den unterschiedenen Serien (II gegen V; III gegen VI; IV gegen VII; s. Tabelle e auf S. 410) ist in dieser Hinsicht wenig Unterschied.

Der Sand der Versuchsgefässe 1910 wurde nicht auf Stickstoff untersucht; eine Stickstoff-Bilanz kann deshalb nicht gegeben werden.

Die prozentuale Ausnützung des Stickstoffs.

Die Stickstoffernten öffnen die Gelegenheit, die Höhe der prozentualen Ausnützung des Stickstoffs zu ermitteln in den beiden Jahren bei steigender Stickstoffgabe und bei den zwei angewandten Düngemitteln (Ammoniumsulfat und Ammoniumpermutit). Die Ausnützung des Stickstoffs durch den Hafer in Prozenten habe ich berechnet, indem ich die in der Ernte gefundenen Stickstoffmengen mit der Stickstoffernte der ungedüngten Gefässe vermindert habe, diese Differenz mit hundert multipliziert und schliesslich das erhaltene Produkt durch die nur in der Düngung gegebenen Stickstoffmengen dividiert habe. Die Ergebnisse dieser Berechnungen für jede Serie lasse ich in Tabelle g folgen.

Tabelle g.

Prozentuale Ausnützung des Stickstoffs durch den Hafer.

Düngung:	1909	Düngung:	1910
0.6 g N (A.-P.)	62	0.8 g N (A.-P.)	73
0.8 „ „ „	52	1.0 „ „ „	72
1.0 „ „ „	47	1.2 „ „ „	69
0.6 g N (A.-S.)	65	0.8 g N (A.-S.)	76
0.8 „ „ „	63	1.0 „ „ „	70
1.0 „ „ „	56	1.2 „ „ „	66

Die prozentische Ausnützung des Stickstoffs war im Jahre 1910 weit grösser als im vorigen Jahre. Genau berechnet ist im Mittel von 45 Gefässen im Jahre 1909 geerntet pro Gefäss 482 mg N, mit im Mittel 800 mg Stickstoffdüngung; im Jahre 1910 im Mittel von 48 Gefässen 737 mg N, mit im Mittel 1000 mg Stickstoffdüngung. Mit Berücksichtigung der Stickstoffernte der ungedüngten Gefässe lässt sich die prozentuale

Ausnützung berechnen auf rund 58 % und 71 % (s. auch Tabelle g). Die Ausnützungskoeffiziente erreichen im Jahre 1910 normale Höhen; die mässige Wassergabe im Jahre 1909 hat dagegen die Stickstoffausnützung deutlich herabgesetzt. Nach oben erwähnten Mitteilungen ist diese bessere Ausnützung im Jahre 1910 auf bessere Wasserversorgung zurückzuführen.

Wie schon bemerkt, hat die Haferpflanze im Jahre 1910 den Stickstoff des Ammoniumpermutits etwas besser ausgenutzt als den Ammoniumsulfatstickstoff, während im Jahre 1909 gerade das Gegenteil stattgefunden hat. Gross war der Unterschied jedenfalls nicht.

Die Zahlen der Tabelle g zeigen weiter, dass die Ausnützung des Stickstoffs durch die Haferpflanzen bei beiden Düngemitteln, in beiden Jahren, nicht konstant ist, doch bei steigender Stickstoffdüngung abnimmt.

In seiner vierten Mitteilung[1]) kommt Mitscherlich zu dem Resultat, dass die Ausnützung der Phosphorsäure durch die Haferpflanze bei ein und demselben Düngemittel konstant ist, d. h. dass sie unabhängig ist von der Menge des verabfolgten Düngemittels, sofern dieses sich im Minimum befindet und alle übrigen Vegetationsbedingungen konstant sind.

Wie schon mitgeteilt wurde, ist im Jahre 1909 sehr wahrscheinlich unter den im Glashause obwaltenden Versuchsbedingungen die Feuchtigkeit mit ins Minimum geraten: die Zahlen für 1909 mögen daher hier weiter ausser Betracht bleiben. Sofern ich dieses jetzt beurteilen kann, sind aber die von Mitscherlich gestellten Bedingungen im Jahre 1910 erfüllt worden; trotzdem nimmt die prozentuale Ausnützung des Stickstoffs bei steigender Stickstoffgabe ab, und sowohl beim Permutit (73—72—69) als beim Ammoniumsulfat (76—70—66). Die oben erwähnte, von Mitscherlich gefundene Gesetzmässigkeit scheint mir daher nicht verallgemeinerungsfähig zu sein.

Auch W. Simmermacher kommt in einer eben erschienenen Arbeit[2]) zu der Schlussfolgerung (s. S. 464, Tabelle 10), dass mit steigender Düngung eine Abnahme in der Ausnützung der Phosphorsäure durch die Pflanze eintritt; er meint sogar (S. 470),

[1]) Landw. Jahrbücher Bd. 39 (1909), S. 147.

[2]) Einwirkung des kohlensauren Kalkes bei der Düngung von Haferkulturen mit Mono- und Dicalciumphosphat von W. Simmermacher; Die landw. Versuchs-Stationen Bd. LXXVII, S. 441—471.

dass seine Versuche den klaren Beweis dafür erbringen, dass das Gesetz des Minimums in der von E. A. MITSCHERLICH zuerst ausgesprochenen quantitativen Formulierung (also als logarithmische Funktion) nicht nur für die Erträge an Korn, Stroh und Wurzeln, sowie für die Summen dieser Produkte Gültigkeit habe, sondern sich auch auf die Nährstoffaufnahme, die Ausnützung der Nährstoffe, sowie den Prozentgehalt der Nährstoffe in der Pflanzentrockensubstanz erstrecke.

Die Prozentgehalte der Haferernte an Stickstoff.

Der mittlere Stickstoffgehalt im Stroh von allen mit N gedüngten Versuchsserien beträgt im Jahre 1909 0.39 %, im Jahre 1910 0.62 %; in den Körnern resp. 1.61 % und 2.27 %. Das Stroh weist also in beiden Versuchsjahren im Verhältnis zu den Körnern einen niedrigen Stickstoffgehalt auf, was dafür spricht, dass die Stickstoffverwertung sich günstig gestaltet hat.

Die Prozentgehalte an N der Ammoniumsulfat- und Ammoniumpermutit-Gefässe weichen in beiden Jahren nur wenig voneinander ab (s. Tabelle b und e und vor allem Tabelle c: 0.95 % und 0.88 %, und Tabelle f: 1.33 % und 1.29 %).

Gross ist jedoch der Unterschied zwischen den Stickstoffgehalten der Haferernten der beiden Jahre, was m. E. nur von der verschiedenen Feuchtigkeit herrühren kann. Im Durchschnitt ist der Gehalt für die ganze Pflanze bei allen mit N gedüngten Gefässen im Jahre 1909 0.9 % N gegen 1.3 % im Jahre 1910. Es ist übrigens eine bekannte Tatsache, dass der Wassergehalt des Bodens eine ausschlaggebende Bedeutung für die Gestaltung der Ernteergebnisse besitzt.[1])

Die Prozentgehalte an Stickstoff steigen ohne Ausnahme bei steigender Stickstoffdüngung, in beiden Jahren und bei beiden Stickstoffdüngungen. Auch SIMMERMACHER konstatiert in seiner oben erwähnten Arbeit eine Steigerung der Prozentgehalte bei steigender Düngung; meint sogar, wie schon bemerkt wurde, dass diese Steigerung sich in logarithmischer Funktion vollziehen müsse. Manche Versuche haben aber bewiesen[2]), dass die

[1]) S. z. B. meine „Studie über Delitabak" im Journal für Landwirtschaft 1905, S. 163—165. Auch PFEIFFER, BLANCK und FLÜGEL; Die landw. Versuchs-Stationen Bd. 76, S. 235.

[2]) S. z. B. Untersuchungen über die Nährstoffaufnahme der Haferpflanze bei verschiedenem Wassergehalt des Bodens und bei verschiedener

Prozentgehalte bei Steigerung eines im Minimum vorhandenen Vegetationsfaktors bisweilen abnehmen können, was auch nicht Wunder nehmen kann, da die verschiedenen Prozentgehalte von den Ernten an Trockensubstanz und von den Ernten an den betreffenden Nährstoffen abhängen. Wenn also, wie Simmermacher annimmt, diese beide mit der Gabe des Düngemittels steigen, so brauchen die Gehalte der Ernteprodukte nicht auch notwendig zu steigen; sie können sowohl steigen wie sinken, und wenn sie steigen, brauchen sie nicht in derselben Weise zu steigen wie die Ernten an Trockensubstanz und an dem sich im Minimum befindenden Nährstoffe. Eine Gehaltzunahme der Ernteprodukte bei steigender Düngergabe bildet jedoch in der Literatur die Regel. Inwiefern das Gesetz des Minimums in der von Mitscherlich ausgesprochenen quantitativen Formulierung richtig ist, muss weiteren Forschungen überlassen werden; dass es sich jedoch nicht auf den Prozentgehalt der Nährstoffe in der Pflanzentrockensubstanz erstreckt, sei hier schon hervorgehoben.

Der Vegetationsfaktor Wasser.

Die grosse Bedeutung, welche der Wassergehalt des Bodens für die Gestaltung der Ernteergebnisse besitzt, veranlasst mich, die im Jahre 1909 bei mässiger Wassergabe und die im Jahre 1910 bei genügender Wassergabe erhaltenen Ergebnisse kurz miteinander zu vergleichen.

Wie schon bemerkt, haben in den verschiedenen Teilen des Glashauses nicht die gleichen Versuchsbedingungen geherrscht. Im Jahre 1910 ist bei der Aufstellung der Gefässe diesem Umstande Rechnung getragen, im Jahre 1909 jedoch nicht. Ich muss mich also darauf beschränken, die Durchschnittsergebnisse aller mit N gedüngten Gefässe der beiden Jahre miteinander zu vergleichen. Wir erhalten dann folgendes Bild (Tabelle h):

Düngung, von Dr. L. Langer, mitgeteilt von Prof. Dr. B. Tollens; Journal für Landwirtschaft 1901, S. 209. Weiter „Eine Studie über Delitabak" von Dr. D. J. Hissink; Journal für Landwirtschaft 1905, S. 168. Schliesslich „Wasser und Licht als Vegetationsfaktoren und ihre Beziehungen zum Gesetz vom Minimum" von Th. Pfeiffer, E. Blanck und M. Flügel; Die landw. Versuchs-Stationen Bd. 76 (1912), S. 169—236; vor allem den sehr interessanten zweiten Abschnitt (und die da auf S. 195—196 erwähnten Versuche Wagners).

Tabelle h.

	1909	1910
Wassergabe	mässig	genügend
Wasserkapazität des Sandes	9.8	12.2
Wasser pro Gefäss in Gramm	647	805
Anzahl der geernteten Pflanzen pro Gefäss	19.9	14.3
Mittlere Stickstoffdüngung pro Gefäss in Gramm	0.8	1.0
Geerntete Trockensubstanz in Gramm an:		
Wurzeln	8.53	6.86
Stroh + Spreu	22.99	27.85
Körner	20.20	21.50
Gesamternte:	51.72	56.21
Stickstoffernte in Milligramm:		
Wurzeln	69	77
Stroh + Spreu	88	172
Körner	325	488
Gesamternte:	482	737
Stickstoffgehalte:		
Wurzeln	0.81	1.12
Stroh + Spreu	0.38	0.62
Körner	1.61	2.27
Gesamternte:	0.93	1.31
Prozentgehalt der Gesamternte an:		
Wurzeln	16.5	12.2
Stroh + Spreu	44.5	49.5
Körner	39.0	38.3
Verhältnis von Korn = 100 zu Stroh + Spreu	114	130
Prozentuale Ausnützung des Stickstoffs	58	71

Ein Vergleich der beiden Serien lässt deutlich den günstigen Einfluss mässiger Wassergabe auf die Wurzelausbildung erkennen, welche Tatsache offenbar eine Folge davon ist, dass die Pflanzen versucht haben, ihr Wasserbedürfnis so gut wie möglich zu befriedigen, was eine kräftige Ausbildung des Wurzelsystems veranlasst hat. Das Wurzelsystem hat sich vor allem auf Kosten von „Stroh + Spreu" entwickelt; die Prozentgehalte der Gesamternte an Stroh + Spreu sind bei mässiger Wassergabe abgenommen.

Was den relativen Körnerertrag anbetrifft, schreiben SEELHORST und FRECKMANN, dass die Hafer relativ viel Körner

produzieren bei einem höheren Feuchtigkeitszustand des Bodens, während ADOLF MAYER für Gramineen die allgemeine Regel aufstellt: Je weniger Feuchtigkeit, desto grösser der relative Körnerertrag[1]). Bei meinen Versuchen ist der Körneranteil in beiden Jahren nahezu gleich.

Meine Versuche liefern weiter eine Bestätigung der Angaben von WILMS und von SEELHORST,[2]) dass höhere Wassergaben beim Hafer zu einem weiteren Verhältnis zwischen Körnern und Stroh führen; das Verhältnis von Korn = 100 zu Stroh + Spreu steigt von 114 auf 130 bei steigender Wassergabe.

Wie schon bemerkt, wird der sich im Minimum befindende Nährstoff bei besserer Wasserversorgung besser ausgenutzt (58 % im Jahre 1909 gegen 71 % im Jahre 1910), während die Stickstoffgehalte der Ernte im Jahre 1910 höher sind als im Jahre 1909.

Meine Versuche bestätigen also in mehrfacher Hinsicht die Ergebnisse verschiedener Forscher, dass der Vegetationsfaktor Wasser einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Vegetation ausübt. Ich halte es denn auch für unbedingt nötig, bevor zu einem Düngungsversuch geschritten wird, mittels eines besonderen Vegetationsversuches zu ermitteln, in welcher Weise die Wasserversorgung unter den obwaltenden Vegetationsbedingungen[3])

---

[1]) Siehe die Literatur bei PFEIFFER, Versuchs-Stationen Bd. 76, S. 225.

[2]) Journal für Landwirtschaft Bd. 46 (1898), S. 413.

[3]) Ich meine hiermit vor allem den Faktor Boden. Wenn mittels besonderer Vegetationsversuche die optimale Wasserversorgung einer bestimmten Sandsorte im voraus bestimmt worden ist, muss natürlich weiter dafür gesorgt werden, dass bei den nun folgenden Düngungsversuchen stets die einmal gewählte Sandsorte benutzt wird. Dass man in der Tat mit verschiedenen Sandsorten sehr verschiedene Resultate erzielt, ist bekannt und geht auch aus den von mir gemachten Versuchen hervor. Ich verweise hier auch auf die Arbeit von PFEIFFER, Versuchs-Stationen Bd. 76, S. 192. Ich begreife aber nicht, wie PFEIFFER meinen kann, dass seine Versuche, also auch die bei überschüssiger Wassergabe, unter Wassermangel gelitten haben; mehr Wasser als 100 % der Wasserkapazität des von PFEIFFER benutzten Sandes ertrugen die Pflanzen eben nicht; bei höheren Wassergaben begannen die Pflanzen frühzeitig zu kümmern, wie PFEIFFER mitteilt. Die Wasserversorgung in der von PFEIFFER angegebenen Weise war vielleicht für diesen Sand so günstig wie möglich. Obgleich andere Forscher mit einem anderen Sande höhere Erträge erzielen, braucht bei den Versuchen PFEIFFERS von Wassermangel noch nicht die Rede zu sein. Die Sache ist m. E. einfach so, dass bei dem von PFEIFFER und seinen Mitarbeitern benutzten Sande selbst bei optimaler Wasserversorgung geringere Erträge erreicht werden als bei Benutzung eines Sandes mit grösserem Absorptionsvermögen.

möglichst günstig zu gestalten ist. Bis jetzt hat man allgemein angenommen, dass die Maximalernte bei 60 % der Wasserkapazität erzielt wird. Aus den Untersuchungen von PFEIFFER geht aber deutlich hervor, dass dies nicht der Fall ist und dass bisweilen bei 100 % der Wasserkapazität höhere Erträge erreicht werden. Auch MITSCHERLICH kommt in seiner dreizehnten Mitteilung zu demselben Ergebnis.[1])

Bei der Forschung nach der optimalen Wasserversorgung fragt es sich, ob die Wassergabe während der ganzen Vegetation dieselbe sein müsse. Die Wassergabe wird zuweilen zur Zeit der lebhaftesten Vegetation vergrössert, aber es scheint mir nicht unmöglich, dass man vielleicht zur optimalen Wasserversorgung gelangen wird durch allmähliche Steigerung der Wassergabe bis nahezu an das Ende der Vegetation. Vor allem wäre zu untersuchen, ob eine mässige Wassergabe in den ersten Wochen der Vegetation nicht zur besseren Ausbildung des Wurzelsystems und infolgedessen zu einer höheren Ernte führen würde. Weil es mir an Zeit und einem guten Glashaus fehlt, bin ich leider nicht imstande, diese Arbeit auf mich zu nehmen.

Meine Versuche veranlassen mich noch zu der folgenden Bemerkung. Zur Erzielung von Maximalernten wird es in manchen Fällen nötig sein, vor allem zur Zeit der lebhaftesten Vegetation, den Pflanzen eine sehr grosse Wassermenge zur Verfügung zu stellen; bisweilen muss das verdunstete Wasser 2- bezw. 3mal im Laufe eines Tages ersetzt werden. Unter diesen Umständen ist die Gefahr für Stickstoffverluste bei der Anwendung leichtlöslicher Stickstoffverbindungen, wie $(NH_4)_2SO_4$, NH_4NO_3, $NaNO_3$, sehr gross, vor allem bei den Sanden mit sehr geringem Absorptionsvermögen. Zur Vermeidung dieser Stickstoffverluste kann man die Stickstoffdüngung in mehreren Gaben verabreichen. Vielleicht ist es aber empfehlenswerter, in diesem Falle statt der leichtlöslichen Stickstoffverbindungen das Ammoniumpermutit zu benutzen. Wie aus meinen Versuchen hervorgeht, wird der Stickstoff des Ammoniumpermutits eben bei nicht-mässiger Wassergabe ebensogut verwertet wie der Stickstoff der leichtlöslichen Verbindungen, während die Gefahr für Stickstoffverluste völlig ausgeschlossen ist.

[1]) Das Wasser als Vegetationsfaktor, Landw. Jahrbücher Bd. 42 (1912), S. 705.

Ergebnisse der Versuche.

Als Hauptergebnis der beiden Versuchsjahre kann mitgeteilt werden, dass der im Ammoniumpermutit vorhandene Stickstoff unter optimalen Verhältnissen, wenn also die Feuchtigkeit nicht mit ins Minimum gerät, ebensogut für die Pflanzen zugänglich ist als der Stickstoff des Ammoniumsulfats; dass also das vom Permutit absorbierte Ammoniak nicht so fest gebunden wird, dass dieses zum Teil erst im Laufe einer zweiten Vegetationsperiode für die Pflanzenwurzeln zugänglich wird. Während einer sehr trockenen Vegetationsperiode, so wie diese im Jahre 1909 im Wageningenschen Glashaus geherrscht hat, ist die bindende Kraft des Permutits für Ammoniak ein Faktor, der berücksichtigt werden muss; bei normaler Wasserversorgung löst sich jedoch genügend Ammoniakstickstoff, um ein üppiges Wachstum zu sichern. Es wäre zweifelsohne interessant, den Einfluss verschiedener Wassermengen auf die Aufnahmefähigkeit des Stickstoffs des Ammoniumpermutits zu ermitteln.

Wie wir im ersten Teil dieser Arbeit gesehen haben, ist die Löslichkeit des Ammoniakstickstoffs des Ammoniumpermutits und eines mit Ammonium gesättigten Tonbodens in CO_2-haltigem Wasser denselben Gesetzen unterworfen; für die beiden Systeme trifft die bekannte Freundlichsche *Gleichung* $\frac{x}{m} = a\, c^{\frac{1}{n}}$ *zu. Wenn nun auch die Resultate obiger Vegetationsversuche ohne weiteres nicht auf die Praxis, d. h. in diesem Falle auf einen mit Ammoniak gedüngten Tonboden anwendbar sind, so geben diese Resultate mir doch das Recht, den Landwirt mit voller Bestimmtheit zu warnen, in trocknen Jahren das Absorptionsvermögen des Tonbodens für Ammoniak zu berücksichtigen; denn es ist sehr wahrscheinlich, dass der Ammoniak aus Mangel an Feuchtigkeit von einem Tonboden so fest absorbiert wird, dass ein Teil dieses Nährstoffes, sei es auch ein kleiner Teil, über die Dauer einer Vegetationsperiode hinaus für die Pflanzenwurzeln unzugänglich bleibt.*

Schliesslich sei hier hervorgehoben, dass ein Vergleich der Versuche der beiden Jahre 1909 und 1910 deutlich gezeigt hat, von welcher ausschlaggebenden Bedeutung der Wassergehalt des Bodens für die Gestaltung der Ernteergebnisse ist.

III. Betrachtungen über die Methode der Düngemittelanalyse nach Mitscherlich.

MITSCHERLICH meint, dass die Düngemittelanalyse genau in der gleichen Weise ausgeführt werden solle wie die Bodenanalyse, dass also die Löslichkeit der Düngemittel in mit CO_2 gesättigtem Wasser bestimmt werden müsse. Nachdem schon von RICHARD KUNZE im Jahre 1907 ein erster Beitrag zu dieser Methode geliefert worden war,[1]) erschien im Jahre 1910 als sechste Mitteilung[2]) ein Beitrag zur Düngemittel- und Bodenanalyse, in welcher Arbeit MITSCHERLICH seine Auffassungen näher auseinandersetzt.

Unterdessen hatte ich nach meinem Königsberger Besuch im Jahre 1908 schon im Jahre 1909 verschiedene phosphorsäurehaltige Düngemittel[3]) nach der Methode MITSCHERLICH untersucht und die Löslichkeit der Phosphorsäure in mit CO_2 gesättigtem Wasser bei 30 ° C., während 24 Stunden, bei verschiedenen Verdünnungen bestimmt. Ich konnte mich aber nicht zur Veröffentlichung dieser Untersuchungen entschliessen, hauptsächlich darum nicht, weil die Resultate wenig Bedeutung haben, solange nicht feststeht, mit einer wie grossen, mit CO_2 gesättigten Wassermenge (bei 30 ° C., 24 Stunden) die Düngemittel extrahiert werden müssen. Für die Allgemeingültigkeit der Methode ist es doch unbedingt nötig, alle Düngemittel mit der gleichen Wassermenge zu behandeln. Vorausgesetzt, es bestehe eine allgemein gültige Methode der Düngemittelanalyse, so wäre es weiter die Frage, wie gross diese Wassermenge sein müsse, womit alle Düngemittel extrahiert werden müssen.

Auch MITSCHERLICH ist dieser Schwierigkeit begegnet und in seiner obenerwähnten sechsten Mitteilung gibt er an, wie er sich die Lösung dieser Frage mit Hilfe von Vegetationsversuchen denkt. Bestimmt wurde aus einigen Vegetationsversuchen, dass die Haferpflanze unter gleichen Vegetationsbedingungen vom zweibasisch-phosphorsauren Kalk ca. 45.7 %, vom dreibasischen ca. 14.9 % ausnutzte. Dann ermittelte er, mit der wievielten

[1]) Beiträge zur Wertbestimmung der Phosphorsäure der Thomasmehle. Inaugural-Dissertation von RICHARD KUNZE, 1907.

[2]) Landw. Jahrbücher 1910, S. 299—334.

[3]) Untersucht wurden Thomasphosphat, Knochenmehl (zwei Sorten), entleimtes Knochenmehl, Algiersphosphat, Agrikulturphosphat, Tricalciumphosphat.

Wassermenge die betreffenden Düngemittel übergossen werden müssen, damit vom zweibasisch-phosphorsauren Kalk (mit 43.29 % Gesamt-P_2O_5) $\frac{45.7}{100} \times 43.29$, vom dreibasischen (mit 43.22 % Gesamt-P_2O_5) $\frac{14.9}{100} \times 43.22$, das sind 19.78 % resp. 6.44 % P_2O_5 gelöst werden. Mit Hilfe der Lösungsgleichungen lässt sich dann weiter berechnen, dass zur Lösung der von der Haferpflanze aufgenommenen Phosphorsäuremengen die 542- resp. die 475-fache Wassermenge erforderlich ist. MITSCHERLICH gibt darauf eine Bewertung der verschiedenen phosphorsäurehaltigen Düngemittel dadurch, dass er bestimmt, wieviel P_2O_5 bei 30° C. in der 500-fachen mit CO_2 gesättigten Wassermenge in einer Rührzeit von 24 Stunden löslich ist.

In der ersten Abteilung dieser Arbeit habe ich die Löslichkeit des Stickstoffs des Ammoniumpermutits nach MITSCHERLICH bestimmt, während die in der zweiten Abteilung mitgeteilten Vegetationsversuche die prozentuale Ausnützung der Ammoniumpermutitdüngung durch die Haferpflanzen unter den im Glashause obwaltenden Vegetationsbedingungen angeben. Mit Hilfe dieser Daten muss also berechnet werden können, mit der wievielfachen Menge CO_2-haltigen Wassers (bei 30° C.) innerhalb 24 Stunden aus Ammoniumpermutit ebenso viel N auflöst, als die Haferpflanzen während der ganzen Vegetationsperiode aufnehmen.

Nun stösst man aber sofort auf die Schwierigkeit, dass die Ausnutzung des Stickstoffs des Ammoniumpermutits in den Jahren 1909 und 1910 eine sehr verschiedene ist, wo noch hinzu kommt, dass dieselbe bei steigender Stickstoffdüngung abnimmt (s. Tabelle g, S. 412). Schalten wir die Versuche 1909 aus und nehmen das Mittel der Versuche 1910 (73—72—69), so bekommen wir eine prozentuale Ausnutzung des Ammoniumpermutitstickstoffs von rund 71 %. Wir müssen nun weiter berechnen, mit der wievielten Wassermenge das Ammoniumpermutit gerührt werden muss, damit $\frac{71}{100} \times 5.68$ [1]) $= 4.03$ % N gelöst wird.

Mit Hilfe der in Tabelle III (S. 384) mitgeteilten Resultate und unter Annahme der Lösungsgleichung $\log(A - y) = \log A - c\,w^n$, welche für diesen Fall

[1]) Die Vegetationsversuche sind angestellt mit Permutit von 5.12 % N, die Lösungsversuche mit Permutit von 5.68 % N.

$$\log (5.68 - y) = 0.7543 - 0.0303\, w^{0.393}$$

wird, lässt sich berechnen, dass für $w = 1370$ $y = 4.03$ wird. Zur Lösung der von der Haferpflanze unter den im Glashause im Jahre 1910 obwaltenden Vegetationsbedingungen im Mittel aus Ammoniumpermutit aufgenommenen Stickstoffmenge ist also die 1370-fache Wassermenge erforderlich.

Es sei an dieser Stelle jedoch sofort ausdrücklich betont, dass dieses Resultat nur für die Haferpflanze unter den im Jahre 1910 im Glashaus herrschenden Versuchsbedingungen Gültigkeit beanspruchen kann. Dazu kommt noch, was auch MITSCHERLICH schon bemerkt (S. 327), dass diese Bewertung sich natürlich verändert durch den Einfluss, welchen der Boden auf das Düngemittel ausübt (in diesem Falle Umsetzungen der Stickstoffdüngung). Weiter bemerkt MITSCHERLICH noch, dass die Aufnahmefähigkeit (der phosphorsäurehaltigen Düngemittel) noch keineswegs bedingend ist für den Pflanzenertrag, da die Pflanze die verschieden gebundene Phosphorsäure für sich noch ganz verschieden zum Aufbau ihrer Trockensubstanz verwertet oder ausnutzt.

In gleicher Weise lässt sich nun die Berechnung für das schwefelsaure Ammon ausführen. Auch hier stösst man auf dieselben Schwierigkeiten hinsichtlich der verschiedenen Ausnützung des Stickstoffs in verschiedenen Jahren und bei steigender Düngergabe. Angenommen wird die mittlere prozentuale Ausnützung im Jahre 1910, welche sich aus Tabelle g auf rund 71 % berechnen lässt. Wir müssen nun noch wissen, mit der wievielten mit Kohlensäure gesättigten Wassermenge das Ammoniumsulfat gerührt werden muss, damit $\frac{71}{100} \times 21.2 =$ 15.1 % N in Lösung übergehen. Schwefelsaures Ammon ist schon in wenig Wasser vollkommen löslich; zur Lösung von 15.1 g N aus 100 g $(NH_4)_2SO_4$ sind ungefähr rund 100 ccm mit CO_2 gesättigtem Wasser bei 30° C. nötig. Zur Auflösung der von der Haferpflanze unter den Bedingungen der Versuche im Mittel aus der $(NH_4)_2SO_4$ aufgenommenen Stickstoffmenge ist also etwa die einfache Wassermenge erforderlich.

Wir kommen deshalb zu dem Ergebnis, dass die Haferpflanze, immer unter den obwaltenden Versuchsbedingungen, aus dem Ammoniumpermutit diejenige Menge Stickstoff aufnimmt, welche bei 30° C. in der 1370-fachen, mit Kohlensäure gesättigten

Wassermenge in einer Rührzeit von 24 Stunden löslich ist, während aus dem schwefelsauren Ammon diejenige Menge Stickstoff aufgenommen wird, welche unter denselben Lösungsbedingungen in der ungefähr 1300 bis 1400-fachen kleineren Wassermenge sich auflöst. Für eine „allgemein gültige Düngemittelanalyse" ist nun offenbar nötig, dass die Düngemittel ungefähr dieselben Wassermengen zur Lösung der von der Pflanze aufgenommenen Nährstoffmengen erfordern, wie das bei den beiden von MITSCHERLICH untersuchten phosphorsäurehaltigen Düngemitteln beinahe der Fall war, was aber bei den zwei von mir angewendeten Stickstoffdüngemitteln bei weitem nicht zutrifft.

Wenn übrigens schon bei so einfachen Versuchen, wie diese Sandkulturen mit einem einzigen Gewächse, von einer Verwertung der zwei benutzten Düngemittel im Sinne MITSCHERLICHS im entferntesten nicht die Rede ist, so ist die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass in der Praxis, wo Boden und Pflanzenart auch eine Rolle spielen, eine allgemein gültige Düngemittelanalyse zu den Unmöglichkeiten gehört.

Während ich diese Arbeit für den Druck fertig mache, erscheint eine Mitteilung von meinem Kollegen Herrn J. G. MASCHHAUPT in Groningen (Holland)[1]), welcher die Methode MITSCHERLICH einer Kritik unterwirft. In dieser Arbeit bemüht Kollege MASCHHAUPT sich, darzulegen, dass MITSCHERLICH dem alten Traumbilde nachjagt, das niemals verwirklicht werden kann; „eine „allgemein gültige Düngemittelanalyse" im Sinne MITSCHERLICHS ist eine Unmöglichkeit, weil die Eigenschaften der verschiedenen Gewächse und der Kulturböden zu verschieden sind; dem widersetzt sich die Unmenge von Faktoren, welche bei der Kultur der Gewächse Einfluss ausüben" (MASCHHAUPT S. 69).

Es braucht hier nicht gesagt zu werden, dass ich mich auf Grund meiner hier mitgeteilten Untersuchungen dieser Kritik anschliesse.[2])

[1]) Betrachtungen über die bis jetzt gemachten Versuche durch chemische Untersuchung die Menge der für die Pflanze aufnehmbaren Nährstoffe in Boden und Düngemitteln kennen zu lernen, mit besonderer Berücksichtigung der Untersuchungen MITSCHERLICHS; Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen der Rijkslandbouwproefstations, No. XI, S. 67—70.

[2]) Dass der Methode MITSCHERLICH auch für die Düngemittelanalyse grosse praktische Bedeutung beizumessen ist, zeigen die schon erwähnten Untersuchungen von SIMMERMACHER (Die landw. Versuchs-Stationen Bd. 77) und auch die zweite Mitteilung von MASCHHAUPT (Über das Verhalten ver-

Zusammenfassung.

Wie aus den Vegetationsversuchen hervorgeht, nimmt die Haferpflanze, unter den obwaltenden Versuchsbedingungen im Jahre 1910, aus 100 g N in Form von Ammoniumsulfat und Ammoniumpermutit ungefähr dieselbe Menge Stickstoff auf, nämlich rund 70 g. Die Löslichkeit dieser beiden Stickstoffverbindungen in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser (24 Stunden Rührzeit, 30° C.) läuft aber ausserordentlich auseinander; der Permutitstickstoff erfordert ungefähr eine 1300 bis 1400-fache grössere Wassermenge als der Ammoniumsulfatstickstoff zur Lösung der von den Haferpflanzen aufgenommenen Stickstoffmenge. Die Methode MITSCHERLICH *der Düngemittelanalyse ist also zur gegenseitigen Bewertung der Stickstoffverbindungen Ammoniumsulfat und Ammoniumpermutit völlig unbrauchbar.*

Wenn nun schon bei so einfachen Versuchen, wie diese Sandkulturen mit einem einzigen Gewächse, von einer Verwertung der zwei benutzten Düngemittel im Sinne MITSCHERLICHS *im entferntesten nicht die Rede ist, so ist die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass in der Praxis, wo Boden und Pflanzenart auch eine Rolle spielen, eine allgemein gültige Düngemittelanalyse zu den Unmöglichkeiten gehört.*

Bei den in der 1. Abteilung mitgeteilten Analysen stand mir Herr G. B. VAN KAMPEN, Hauptassistent, beim Anstellen der Vegetationsversuche, sowie bei der Feststellung und Analyse der Ernteerträge Herr J. A. G. MAURENBRECHER, Assistent, zur Seite, welchen beiden Herren ich auch an dieser Stelle bestens danke.

Nachschrift, Wageningen, im Februar 1913. Im Laufe des Jahres 1912 haben Dr. GEORG WIEGNER und Dr. MARYAN GORSKI Untersuchungen über das in der ersten Abteilung dieser Arbeit behandelte Thema veröffentlicht (Journal f. Landwirtschaft und Zeitschrift für das Landw. Versuchswesen in Österreich). Leider war ich bis jetzt noch nicht imstande, die beiden interessanten Verhandlungen anders als flüchtig durchzusehen. Sie sind also bei der Verfassung obiger Arbeit nicht berücksichtigt.

---

schiedener Phosphate bei mehrmaliger Extraktion mit kohlensäurehaltigem Wasser, bezw. mit einer Zitronensäurelösung). Ein Beitrag zur Kenntnis der Phosphate als Düngemittel, von J. G. MASCHHAUPT und Dr. L. R. SINNIGE, Verslagen, Bd. XI, S. 71—73.

Tabelle 1.

Ernteergebnisse im Jahre 1909 (in Gramm).

No. der Gefässe	Ernte (lufttrocken) an			Anzahl Pflanzen pro Gefäss	Durchschnittslänge der Halme	No. der Gefässe	Ernte (lufttrocken) an			Anzahl Pflanzen pro Gefäss	Durchschnittslänge der Halme
	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körnern				Wurzeln	Stroh + Spreu	Körnern		
1	1.65	1.87	0.83	20	26	26	12.34	29.78	27.53	20	71
2	1.74	1.74	0.69	20	26	27	9.37	25.08	22.08	20	72
3	1.71	2.03	0.88	20	28	28	11.82	28.90	26.75	19	73
4	1.73	1.95	1.00	20	26	29	12.24	29.32	27.42	20	71
5	1.91	2.13	1.13	20	28	30	13.62	29.80	28.67	20	72
6	13.08	27.18	17.05	20	78	31	14.60	28.25	28.90	20	71
7	11.99	27.88	24.60	20	80	32	12.70	25.52	24.12	19	71
8	13.60	27.63	24.52	20	86	33	10.20	27.77	26.67	20	70
9	12.93	28.63	22.49	20	82	34	12.21	27.25	19.18	19	67
10	16.52	29.23	24.80	20	83	35	12.23	26.95	26.85	19	65
11	11.70	29.78	27.84	19	78	36	10 25	23.17	16.71	20	67
12	12.50	23.60	18.28	19	79	37	11.06	25.22	23.91	20	72
13	12.62	27.50	24.73	20	75	38	10.63	25.57	22.37	20	70
14	11.47	23.63	24.18	20	75	39	10.82	22.67	17.32	20	67
15	12.99	27.08	26.10	20	75	40	10.57	23.70	17.87	20	70
16	13.12	25.47	22.33	20	79	41	10.39	23.70	19.67	20	63
17	11.71	22.62	22.28	20	72	42	10.94	25.12	21.65	20	59
18	11.01	22.65	22.46	19	72	43	10.78	25.80	22.10	20	62
19	12.31	26.02	26.81	20	73	44	11.77	28.05	25.75	20	65
20	11.11	24.61	23.80	20	73	45	10.12	25.75	24.14	20	62
21	12.06	27.65	27.45	20	76	46	10.35	28.70	28.20	19	66
22	10.72	22.42	19.17	19	74	47	9.08	25.82	27.58	20	61
23	10.19	24.20	17.50	20	77	48	10.59	28.35	26.86	20	62
24	12.98	26.47	15.32	20	75	49	9.11	26.98	24.45	18	63
25	11.76	27.32	22.72	20	74	50	9.86	23.70	22.32	20	58

Tabelle 2.

Die Ernte enthält im Jahre 1909 (in Prozenten).

No. der Gefässe	Wurzeln Wasser	Wurzeln Sand	Stroh + Spreu Wasser	Körner Wasser	No. der Gefässe	Wurzeln Wasser	Wurzeln Sand	Stroh + Spreu Wasser	Körner Wasser
1	10.5	—	15.3	12.8	26	11.1	8.8	12.8	13.0
2	11.6	—	15.7	13.6	27	10.6	12.0	12.9	13.3
3	11.4	—	16.2	14.3	28	10.2	11.1	12.5	13.2
4	11.4	—	16.0	14.3	29	10.3	7.1	12.7	13.3
5	10.9	—	16.0	14.0	30	9.0	21.7	12.7	13.2
6	9.1	21.1	13.2	14.1	31	7.7	29.5	12.1	13.5
7	10.8	13.6	13.9	13.7	32	8.5	20.0	12.0	13.9
8	10.1	21.2	7.5	14.0	33	10.0	11.5	12.2	14.2
9	10.3	17.3	13.6	13.8	34	8.5	24.1	12.0	14.1
10	9.1	29.6	13.5	13.0	35	9.2	21.6	12.1	13.8
11	11.8	9.5	13.1	13.7	36	9.8	16.7	12.9	13.6
12	8.9	22.9	7.9	14.0	37	10.4	11.3	12.6	13.3
13	10.0	14.9	13.1	13.6	38	10.0	15.4	12.8	14.3
14	10.3	13.8	7.1	13.7	39	9.6	20.6	12.9	14.7
15	8.8	22.7	12.9	13.6	40	9.7	18.8	12.6	14.3
16	8.5	24.9	12.8	13.3	41	10.8	10.3	12.2	14.5
17	8.9	23.4	13.1	13.5	42	10.5	14.9	12.3	14.3
18	9.2	19.3	13.0	13.5	43	10.8	10.2	12.5	14.5
19	9.4	19.2	13.5	13.4	44	11.2	13.5	12.2	14.2
20	9.7	13.5	12.8	13.4	45	10.4	9.8	12.7	14.2
21	10.1	14.6	12.0	12.9	46	10.4	15.2	12.8	13.9
22	10.0	15.1	12.0	13.4	47	12.1	4.0	12.9	13.9
23	9.9	18.8	12.5	13.6	48	11.5	12.1	13.2	14.0
24	9.4	20.6	12.5	13.6	49	11.2	7.7	15.2	14.1
25	11.1	9.4	12.9	13.1	50	9.2	21.8	15.5	14.1

Tabelle 3.

Geerntete Trockensubstanz im Jahre 1909 (in Gramm).

No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
1	1.48	1.58	0.72	3.78	26	9.88	25.97	23.95	59.80
2	1.54	1.47	0.60	3.61	27	7.25	21.84	19.14	48.23
3	1.52	1.70	0.75	3.97	28	9.30	25.29	23.22	57.81
4	1.53	1.64	0.86	4.03	29	10.11	25.60	23.77	59.48
5	1.70	1.79	0.97	4.46	30	9.44	26.02	24.89	60.35
Mittel:	1.55	1.63	0.78	3.96	Mittel:	9.20	24.94	22.99	57.13
6	9.13	23.59	14.65	47.37	31	9.17	24.83	25.00	59.00
7	9.06	24.00	21.23	54.29	32	9.08	22.46	20.77	52.31
8	9.34	25.56	21.09	55.99	33	8.01	24.38	22.88	55.27
9	9.36	24.74	19.39	53.49	34	8.23	23.98	16.48	48.69
10	10.13	25.28	21.58	56.99	35	8.46	23.69	23.14	55.29
Mittel:	9.40	24.65	19.58	53.63	Mittel:	8.59	23.87	21.65	54.11
11	9.21	25.88	24.03	59.12	36	7.53	20.18	14.44	42.15
12	8.53	21.74	15.72	45.99	37	8.66	22.04	20.73	51.43
13	9.48	23.90	21.37	54.75	38	7.93	22.30	19.17	49.40
14	8.71	21.95	20.87	51.53	39	7.55	19.75	14.77	42.07
15	8.90	23.59	22.55	55.04	40	7.56	20.71	15.31	43.58
Mittel:	8.96	23.41	20.91	53.28	Mittel:	7.85	21.00	16.88	45.73
16	8.74	22.21	19.36	50.31	41	8.20	20.81	16.82	45.83
17	7.93	19.66	19.27	46.86	42	8.16	22.03	18.55	48.74
18	7.87	19.71	19.43	47.01	43	8.52	22.58	18.90	50.00
19	8.79	22.51	23.22	54.52	44	8.86	24.63	22.09	55.58
20	8.53	21.46	20.61	50.60	45	8 07	22.48	20.71	51.26
Mittel:	8.37	21.11	20.38	49.86	Mittel:	8.36	22.51	19.41	50.28
21	9.08	24.33	23.91	57.32	46	7.70	25.03	24.28	57.01
22	8.03	19.73	16.60	44.36	47	7.62	22.49	23.75	53 86
23	7.27	21.18	15.12	43.57	48	8.09	24.61	23.10	55.80
24	9.09	23.16	13.24	45.49	49	7.39	22.88	21.00	51.27
25	9.35	23.80	19.74	52.89	50	6.80	20 03	19.17	46.00
Mittel:	8.56	22.44	17.72	48.72	Mittel:	7.52	23.01	22.26	52.79

Tabelle 4.

Stickstoffernte im Jahre 1909 (in Milligramm).

No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
1	5.9	4.7	7.3	17.9	26	78.6	87.2	338.1	503.9
2	5.7	4.4	4.0	14.1	27	58.2	87.5	284.4	430.1
3	5.9	5.5	6.3	17.7	28	77.8	88.8	353.1	519.7
4	6.3	5.2	6.8	18.3	29	76.0	81.5	372.9	530.4
5	6.4	5.6	7.1	19.1	30	74.7	87.3	399.1	561.1
Mittel:	6.0	5.1	6.3	17.4	Mittel:	73.1	86.5	349.5	509.1
6	59.4	71.7	264.6	395.7	31	73.2	78.2	437.0	588.4
7	58.9	70.3	246.0	375.2	32	71.2	87.8	351.7	510.7
8	62.7	81.8	249.1	393,6	33	73.3	83.9	380.3	537.5
9	64.8	71.6	226.7	363.1	34	58.2	90.5	362.1	510.8
10	65.8	72.6	273.8	412.2	35	70.7	89.7	390.9	551.3
Mittel:	62.3	73.6	252.0	387.9	Mittel:	69.3	86.0	384.5	539.8
11	55.0	74.8	307.4	437.2	36	82.3	122.3	252.7	457.3
12	50.3	59.3	288.1	397.7	37	89.5	104.1	365.3	558.9
13	60.2	64.0	290.8	415.0	38	79.8	111.0	315.0	505.8
14	53.8	58.1	276.6	388.5	39	78.0	115.4	261.9	455.3
15	52.0	68.0	300.7	420.7	40	79.1	119.8	276.0	474.9
Mittel:	54.3	64.8	292.7	411.8	Mittel:	81.7	114.5	294.2	490.4
16	45.8	68.8	253.7	368.3	41	80.7	95.7	313.1	489.5
17	54.9	62.6	281.6	399.1	42	82.9	119.0	337.7	539.6
18	51.6	64.5	265.5	381.6	43	90.6	108.9	360.7	560.2
19	54.8	63.7	332.4	450.9	44	90.0	104.6	393.5	588.1
20	52.7	64.5	297.0	414.2	45	72.6	108.7	390.6	571.9
Mittel:	52.0	64.8	286.0	402.8	Mittel:	83.4	107.3	359.1	549.8
21	74.5	78.7	357.9	511.1	46	74.2	114.2	455.7	644.1
22	69.1	76.4	242.3	387.8	47	82.2	101.2	472.2	655.6
23	66.7	86.6	198.8	352.1	48	79.1	114.0	441.6	634.7
24	76.4	93.4	301.5	471.3	49	82.1	122.8	422.5	627.4
25	74.6	93.4	265.4	433.4	50	66.6	98.2	351.8	516.6
Mittel:	72.2	85.7	273.2	431.1	Mittel:	76.8	110.1	428.8	615.7

Tabelle 6.
Ernteergebnisse im Jahre 1910 (in Gramm).

No. der Gefässe	Ernte (lufttrocken) an			Anzahl Pflanzen pro Gefäss	Durchschnittslänge der Halme	No. der Gefässe	Ernte (lufttrocken) an			Anzahl Pflanzen pro Gefäss	Durchschnittslänge der Halme
	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körnern				Wurzeln	Stroh + Spreu	Körnern		
1	1.50	2.20	1.2	15		27	9.25	30.75	25.75	15	68
2	1.15	2.17	1.3	15		28	8.75	26.05	24.40	15	64
3	10.85	35.47	22.45	15	67	29	9.05	30.85	28.35	14	70
4	10.85	28.52	23.95	15	64	30	8.90	31.05	25.80	15	68
5	10.05	30.20	24.55	15	69	31	10.65	33.65	26.50	14	66
6	10.40	27.00	25.25	14	66	32	9.40	29.70	24.55	15	62
7	10.75	36.50	21.05	14	73	33	9.60	30.20	23.65	15	70
8	10.70	33.60	20.80	14	68	34	8.65	35.87	22.80	15	66
9	12.35	34.05	24.65	15	76	35	7.05	29.50	28.90	15	69
10	8.50	35.20	21.10	15	72	36	7.65	29.62	23.60	13	59
11	9.25	32.37	25.10	15	66	37	7.55	31.90	26.70	14	69
12	8.50	27.50	26.50	15	63	38	7.65	30.70	26.60	13	67
13	9.95	38.60	22.40	15	69	39	8.65	34.15	25.75	12	64
14	8.65	28.37	25.30	15	65	40	8.65	33.70	23.80	14	62
15	8.45	29.22	22.35	14	70	41	8.05	34.45	25.40	13	64
16	8.60	30.35	22.10	15	62	42	9.70	36.25	28.70	13	66
17	9.45	35.25	20.75	15	70	43	8.40	30.80	29.40	12	72
18	8.25	30.85	21.90	14	66	44	8.45	29.45	30.65	14	63
19	8.90	31.80	20.50	15	64	45	8.50	30.80	29.75	13	66
20	8.20	27.10	26.55	15	57	46	9.90	32.35	23.15	12	62
21	11.00	31.80	23.15	15	66	47	8.70	32.30	30.00	15	61
22	8.65	27.90	24.60	15	64	48	8.85	34.30	25.35	12	59
23	8.15	38.92	22.35	15	64	49	9.20	32.00	27.15	14	64
24	6.90	31.32	21.35	12	61	50	9.80	31.35	32.30	15	63
25	8.85	35.12	21.60	15	65						
26	7.90	31.20	23.90	15	64						

Tabelle 7.
Die Ernte enthält im Jahre 1910 (in Prozenten).

No. der Gefässe	Wurzeln Wasser	Wurzeln Sand	Stroh + Spreu Wasser	Körner Wasser	No. der Gefässe	Wurzeln Wasser	Wurzeln Sand	Stroh + Spreu Wasser	Körner Wasser
1	—	10.32	—	—	27	11.4	10.58	9.2	14.25
2	—	8.21	—	—	28	12.5	12.45	9.3	14.88
3	9.85	25.92	11.6	14.1	29	10.65	21.5	14.0	14.70
4	9.0	28.67	11.4	14.03	30	11.75	14.05	14.1	15.23
5	8.75	20.15	11.4	14.1	31	10.55	23.08	13.9	14.78
6	10.2	15.94	11.5	13.95	32	10.8	14.95	14.2	14.85
7	10.7	15.2	11.1	14.33	33	9.5	22.2	14.0	14.90
8	11.25	17.65	11.1	13.58	34	13.1	7.05	13.6	15.05
9	10.15	25.0	11.6	14.15	35	12.2	6.33	14.0	11.08
10	13.0	5.63	11.0	14.95	36	12.6	5.35	14.4	11.1
11	12.15	9.91	11.1	13.48	37	12.3	7.0	13.8	11.05
12	12.95	8.9	13.9	14.33	38	11.95	7.45	13.8	11.93
13	13.1	8.65	14.6	14.43	39	12.0	8.43	13.8	11.75
14	11.75	11.78	11.3	14.68	40	10.95	13.25	13.4	11.75
15	11.1	13.3	11.6	14.70	41	13.35	8.7	12.8	11.78
16	11.45	7.2	11.1	14.75	42	13.3	10.2	12.8	11.93
17	13.35	10.15	11.6	15.18	43	13.0	6.43	12.9	11.68
18	13.10	11.6	11.4	15.0	44	15.1	5.5	13.1	11.83
19	13.05	12.5	11.6	15.25	45	13.2	5.95	12.2	11.78
20	12.75	8.3	11.4	14.68	46	14.2	7.98	11.8	11.48
21	12.4	15.15	11.2	15.23	47	13.2	11.55	11.6	11.45
22	12.6	12.4	9.7	15.18	48	13.95	7.12	11.5	11.68
23	12.75	11.65	10.6	14.48	49	14.8	4.1	16.5	11.58
24	11.4	7.9	9.7	14.70	50	14.45	7.25	11.7	11.60
25	12.9	5.51	9.2	14.73					
26	12.15	10.05	9.4	14.70					

Tabelle 8.

Geerntete Trockensubstanz im Jahre 1910 (in Gramm).

No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
1	1.35	2.20	1.20	4.75	27	7.22	27.92	22.08	57.22
2	1.06	2.17	1.30	4.53	28	6.57	23.63	20.77	50.97
Mittel:	1.21	2.19	1.25	4.65	29	6.14	26.53	24.18	56.85
					30	6.60	26.67	21.87	55.14
					31	7.07	28.97	22.58	58.62
					32	6.98	25.48	20.90	53.36
3	6.97	31.36	19.28	57.61	33	6.56	25.97	20.13	52.66
4	6.76	25.27	20.58	52.61	34	6.91	30.99	19.37	57.27
5	7.15	26.76	21.08	54.99	Mittel:	6.76	27.02	21.49	55.27
6	7.68	23.90	21.73	53.31					
7	7.96	32.45	18.03	58.44					
8	7.61	29.86	17.98	55.45					
9	8.01	30.10	21.16	59.27	35	5.74	25.37	25.70	56.81
10	6.92	31.32	17.95	56.19	36	6.28	25.35	20.98	52.61
Mittel:	7.38	28.88	19.72	55.98	37	6.09	27.50	23.75	57.34
					38	6.17	26.46	23.43	56.06
					39	6.88	29.44	22.72	59.04
					40	6.56	29.18	21.00	56.74
11	7.21	28.78	21.71	57.70	41	6.27	30.04	22.41	58.72
12	6.64	23.68	22.70	53.02	42	7.42	31.61	25.28	64.31
13	7.79	32.96	19.16	59.91	Mittel:	6.42	28.12	23.16	57.70
14	6.61	25.16	21.59	53.36					
15	6.39	25.83	19.06	51.28					
16	7.00	26.98	18.84	52.82					
17	7.31	31.16	17.59	56.06	43	6.77	26.83	25.97	59.57
18	6.21	27.33	18.62	52.16	44	6.71	25.59	27.02	59.32
Mittel:	6.90	27.74	19.91	54.55	45	6.87	27.04	26.25	60.16
					46	7.70	28.53	20.49	56.72
					47	6.55	28.55	26.57	61.67
					48	6.99	30.35	22.39	59.73
19	6.63	28.11	17.37	52.11	49	7.46	26.72	24.01	58.19
20	6.47	24.01	22.65	53.13	50	7.67	27.68	28.55	63.90
21	7.97	28.23	19.62	55.82	Mittel:	7.09	27.66	25.16	59.91
22	6.49	25.19	20.87	52.55					
23	6.16	27.64	19.11	52.91					
24	5.57	28.29	18.21	52.07					
25	7.22	31.89	18.42	57.53					
26	6.15	28.27	20.39	54.81					
Mittel:	6.58	27.71	19.58	53.87					

Tabelle 9.

Stickstoffernte im Jahre 1910 (in Milligramm).

No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte	No. der Gefässe	Wurzeln	Stroh + Spreu	Körner	Gesamternte
1	8.6	7.7	13.4	29.7	27	65.1	132.8	428.5	626.4
2	6.6	8.0	16.9	31.5	28	67.2	123.0	421.6	611.8
					29	57.9	125.9	444.5	628.3
Mittel:	7.6	7.9	15.2	30.7	30	61.2	116.8	425.2	603.2
					31	68.2	137.3	445.2	650.7
3	69.4	178.8	380.8	629.0	32	69.2	117.6	412.4	599.2
4	69.4	132.3	429.2	630.9	33	59.9	118.4	408.7	587.0
5	75.6	143.8	420.3	639.7	34	65.1	149.2	412.2	626.5
6	76.5	125.3	440.4	642.2					
7	72.2	179.6	390.7	642.5	Mittel:	64.2	127.6	424.8	616.6
8	77.0	177.4	382.7	637.1					
9	69.2	147.1	425.9	642.2	35	63.2	132.2	564.1	759.5
10	68.0	180.2	378.1	626.3	36	73.4	155.4	494.7	723.5
					37	70.1	153.1	538.3	761.5
Mittel:	72.2	158.1	406.0	636.3	38	67.3	141.2	523.5	732.0
					39	77.5	188.5	510.9	776.9
11	84.4	183.9	504.0	772.3	40	77.5	210.3	468.4	756.2
12	76.2	140.8	510.9	727.9	41	63.1	170.9	508.0	742.0
13	90.7	222.3	430.1	743.1	42	79.2	179.9	523.5	782.6
14	80.3	149.8	489.9	720.0					
15	75.7	168.3	475.6	719.6	Mittel:	71.4	166.4	516.4	754.2
16	81.2	182.1	456.1	719.4					
17	84.0	221.4	405.0	710.4	43	82.0	170.0	606.8	858.8
18	75.2	185.1	473.0	733.3	44	78.4	154.3	647.3	880.0
					45	80.2	163.9	633.1	877.2
Mittel:	81.0	181.7	468.1	730.8	46	91.9	214.8	514.9	821.6
					47	80.7	178.3	604.8	863.8
19	94.0	251.9	462.5	808.4	48	82.1	212.7	535.4	830.2
20	84.0	159.4	560.7	804.1	49	89.8	192.0	569.1	850.9
21	110.9	208.6	496.3	815.8	50	89.4	163.0	677.0	929.4
22	92.7	169.6	539.2	801.5					
23	90.0	215.2	523.1	828.3	Mittel:	84.3	181.1	598.6	864.0
24	79.5	253.1	481.7	814.3					
25	90.6	265.5	483.8	839.9					
26	82.2	222.1	546.8	851.1					
Mittel:	90.5	218.2	511.8	820.5					

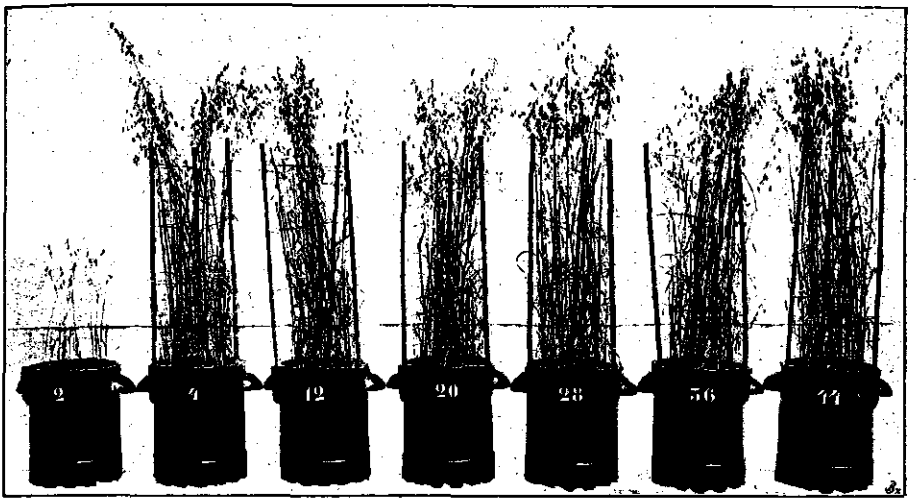

Fig. a.

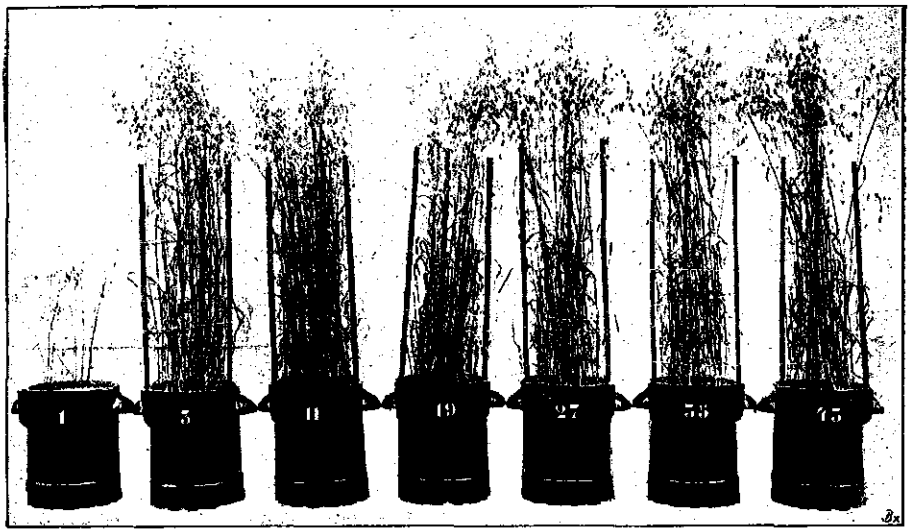

Fig. b.

Vegetationsversuche mit Hafer im Jahre 1910. Gefäß 1 und 2: ohne N; 3, 11, 19 und 4, 12, 20: Ammoniumsulfat; 27, 35, 43 und 28, 36, 44: Ammoniumpermutit.