

Stelle mineralisieren, nach dem wasserlöslichen, wobei die Geschwindigkeit der Mineralisierung von der Zusammensetzung der Eiweißstoffe und der Art der durch diese gebildeten Komplexe abhängen wird.

Die Zusammensetzung des nicht hydrolysierbaren Stickstoffs, der anscheinend den ältesten Teil der organischen Bodensubstanz bildet, zeigt keinen deutlichen Zusammenhang mit dem gegenwärtigen Bodentypus.

Die Zusammensetzung der Bodeneiweißstoffe wirkt auf den Kolloidteil des Bodens, die Konstanz der Bodenkomplexe und die Kationenaustauschkapazität.

Literatur:

1. Waksman, S. and Yyer: Contribution to our knowledge of the chemical nature and origin of Humus. *Soil Sci.* **36**, 57 (1933). — 2. Dragunow, S.: Organo-Mineraldünger aus Torf. *Ztschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk.*, **A**, **30**, 199. — 3. Dragunow, S. und Bachtina, E.: Löslichkeit der Huminsäuren und die Stickstoff-Formen in verschiedenen Torfarten. *Ibidem*, **A**, **34**, 89. — 4. Kossel und Kutcher: Beiträge zur Kenntnis der Eiweißkörper. *Hoppe-Seyl. Ztschr. f. Physiolog. Chem.*, **31**, 165—215 (1900). — 5. Kossel und Paten: Zur Analyse der Hexonbasen. *Ibidem*, **38**, 39—45 (1903). — 6. Mattson, S.: The laws of soil colloidal behavior: VII Proteins and Proteinated complexes. *Soil. Sci.*, **33**, 41—72 (1932). — 7. Hobson and Page: Studies on the carbon and nitrogen cycles in the soil. *Journ. Agr. Sci.*, **22**, 497—526 (1932). — 8. Kudrjawtzewa, A. A.: Die im Boden in Verbindung mit dem Nitrifikationsprozeß stattfindenden Umwandlungen der Stickstoffformen. *J. d. wiss. Agronomie*, 297—311 (1924). — 9. Schmuck, A. A.: Einige Angaben zur Frage über die Formen des Stickstoffs in Böden. *J. d. wiss. Agronomie*, **15**, 139 (1914).

5. Über die Änderungen im pH des Bodens bei fortgesetzter Düngung mit einigen Stickstoffdüngern.

Von Professor Dr. O. de Vries und Jr. W. C. Visser.

Rijkslandbouwoverheidsstation, Groningen, Niederlande.

Die Änderungen im Boden, welche durch einige Stickstoffdünger verursacht werden, haben in den Niederlanden schon seit etwa 15 Jahren sehr die Aufmerksamkeit auf sich gezogen; besonders der Gegensatz zwischen alkalisch wirkendem (pH-erhöhendem oder Basen-hinzubringendem) Chilesalpeter und versäuerndem oder entkalkendem (pH-erniedrigendem oder Basen-entziehendem) schwefelsaurem Ammoniak. Mehrere statische Versuchsfelder liegen jetzt lange genug, um die Resultate zusammenfassend zu überblicken¹⁾.

Man kann die Faktoren, die bei der Düngung mit Stoffen wie Chilesalpeter oder schwefelsaurem Ammoniak den Basenhaushalt beeinflussen, wie folgt zusammenfassen:

¹⁾ Die Einzel-Resultate werden in Mitteilungen in Holländischer Sprache niedergelegt, die denjenigen, welche Details näher studieren wollen, gerne zur Verfügung stehen.

Wirkt auf den Boden:

- | | |
|--|--|
| a) direkte Aufnahme durch die Pflanze von Nitrat-Ion. | Basen-hinzubringend. |
| b) direkte Aufnahme durch die Pflanze von Ammonium-Ion. | Basen-entziehend (versäuernd). |
| c) Nitrifikation von Ammonium-Ion. | versäuernd. |
| d) Aufnahme durch die Pflanze von durch Nitrifikation gebildetem Nitrat-Ion. | verkleinert Versäuerung durch Nitrifikation (c). |
| e) Aufnahme durch die Pflanze von Natrium-Ion. | Basen entziehend. |
| f) Aufnahme durch die Pflanze von Sulfat-Ion. | verkleinert Versäuerung (b) |
| g) Auswaschung von Ammonium- oder Natrium-Ion. | } meist als Salze; abhängig vom Kohlensäurehaushalt, meist etwas versäuernd. |
| h) Auswaschung von Sulfat- oder Nitrat-Ion. | |

Es ist durch die Untersuchungen von mehreren Forschern bekannt²⁾ daß, je nach der Pflanze und den Umständen, Nitrat- oder Ammoniak-Stickstoff aufgenommen werden kann; mit diesen Faktoren wird deshalb auch die pH-Änderung unter a und b zusammenhängen.

Die Nitrifikation (c) spielt zweifellos eine wichtige Rolle³⁾ bei der entkalkenden Wirkung der Ammoniak-Dünger und wird zum größten Teil den Unterschied erklären zwischen dem pH-erniedrigenden $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und dem verwandten K_2SO_4 , das das pH unverändert läßt, obgleich hier K wie dort NH_4 von den Pflanzen am meisten, SO_4 nur wenig aufgenommen wird. Mit der Nitrifikation hängt auch die Tatsache zusammen, daß die pH-erniedrigende Wirkung von schwefelsaurem Ammoniak nicht im Gleichgewicht gehalten wird durch Dosen CaCO_3 , genügend um das Sulfat als Gips zu binden; auch die durch Nitrifikation gebildete Salpetersäure muß neutralisiert werden, und es hängt von einem Zusammenspiel zwischen einer Anzahl von Faktoren ab (Aufnahme von Ammoniak durch die Pflanze; Nitrifikation vom übrigen Ammoniak; Auswaschung von beiden Stickstoffformen; Auswaschung von CaCO_3 , das sich noch nicht in Sulfat umgesetzt hat, weil es lokal nicht mit Sulfatteilchen zusammenstieß; Bindung von all diesen Bestandteilen durch den Sorptionskomplex; Verluste durch Auswaschung usw.), wieviel CaCO_3 die Basen-entziehende Wirkung etwa von 100 kg $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ im Gleichgewicht halten wird. Es hat keinen Zweck, nach einem festen Verhältnis zu spüren, weil dieses von mehreren wechselnden Faktoren bedingt und je nach Umständen verschieden sein wird.

²⁾ Siehe z. B. die Zusammenfassung von D. N. Prjanischnikov, diese Zeitschrift A 30, 38 (1933) und A, 33, 134 (1934). ³⁾ Siehe das demonstrative Beispiel, das R. W. Beling in Landw. Jahrb. 73, 491 (1931) gegeben hat.

Die versäuernde Wirkung von der Nitrifikation wird wieder teilweise rückgängig gemacht, wenn die Pflanze einen Teil des gebildeten Nitrats aufnimmt (d).

Daß das Verhältnis, in dem die Pflanze die Neben-Ionen aufnimmt (e und f), nicht ganz zu vernachlässigen ist, zeigen folgende Zahlen für die Zusammensetzung (% von der Trockensubstanz) bei einigen Ernteprodukten, die wir aus unserem Material herausgreifen.

Versuchsfeld	Jahr	Düngung	Ernteprodukt	Na ₂ O %	SO ₂ %
Pr. 78	1932	5 Jahre Chile S.	Gras, erster Schnitt	0,47	0,90
		5 Jahre schw. A.		0,15	1,19
Pr. 8	1932	52 Jahre Chile S.	Kartoffel, Laub	0,12	1,02
		51 Jahre schw. A.		0,09	2,19
Pr. 7	1933	14 Jahre Chile S.	Sommerweizen, Stroh	0,08	0,27
		14 Jahre schw. A.		0,06	0,42

Obleich die Auswaschung mit Salzen (z. B. KCl bei der Bestimmung der Austauschazidität) bekanntlich einen sauren Extrakt gibt und dementsprechend auf den Boden Basen-hinzubringend wirkt, hat die Auswaschung im Felde (g und h) meist einigermaßen entkalkenden Effekt, wohl weil die Kohlensäure dabei auch eine Rolle spielt.

Bei Versuchen über die pH-verändernde Wirkung von Stickstoffdüngern hat man nun ins Auge zu fassen:

1. die zugesetzte Menge Stickstoffdünger,
2. den Verbrauch durch die Pflanze, abhängig von der Art des Verbrauches und von dem Ernteertrag,
3. die Nitrifikation,
4. die Bodenwasserbewegung (Regen, Verdunstung) und die damit ausgespülten Mengen,
5. den Einfluß von dem aus 1—4 resultierenden Saldo auf den Boden, wobei in erster Linie das Pufferungsvermögen des Bodens, also die Menge und das basenbindende Vermögen des Sorptionskomplexes, von Bedeutung ist.

Es ist daraus klar, daß es nicht einen „entkalkenden Effekt“ von einer bestimmten Menge (NH₄)₂SO₄ gibt, und daß ebenso wenig eine bestimmte Düngung mit NaNO₃ oder (NH₄)₂SO₄ das pH um einen fixen Betrag wird steigen oder sinken lassen. Bodenart, Gewächs, Wetterumstände usw. werden Einfluß haben, und es werden sich bei fortgesetzter Düngung Gleichgewichtszustände ausbilden, deren Lage von all diesen auf einander wirkenden Faktoren abhängig ist.

Bei unseren langjährigen Versuchen lassen sich die Gleichgewichte schätzungsweise überblicken, weil das Ergebnis für einige Jahre einen ungefähren Durchschnitt von den Gewächsen der Fruchtfolge, von den Wetterumständen usw. bildet.

Für die hierbei gebotene Zusammenfassung dienen die Resultate von 23 Versuchsfeldern, wovon die meisten in den Jahren 1915—1929 von J. Hudig und seinen Mitarbeitern auf Sand- oder Moorboden angelegt wurden, Tabelle I

gibt davon eine Übersicht. Bodenproben wurden seit 1925 nach der heutigen Methode untersucht (pH in Wasser nach der Chinhydron-Methode). Spalte 10 gibt die pH-Werte im Jahre 1933, so weit ein Gleichgewicht anscheinend erreicht war, oder sonst (mit einem Sternchen verzeichnet) die geschätzten Gleichgewicht-pH's. Für Bestimmungsmethoden und Details möge auf die einzelnen Publikationen verwiesen werden.

Den pH-Verlauf für zwei Versuchsfelder findet man in Abb. 1, wobei mittlere Kurven durch die einzelnen Werte gezogen sind. Fortgesetzte Chilesalpeter-Düngung gibt eine Steigung des pH, die bei Pr. 24 nach einigen Jahren, bei Pr. 10 erst nach etwa 16 Jahren zu einem Gleichgewicht führt. Das End-pH ist für beide Versuchsfelder sehr verschieden (5,2 bzw. 5,7). Schwefel-

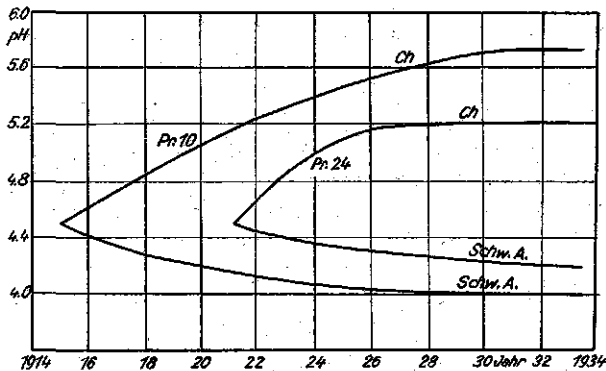


Abb. 1.

saurer Ammoniak gibt bei Pr. 24 nur ein geringfügiges Sinken des pH (von 4,5—4,2) und bei Pr. 10 etwas mehr (von 4,5—4,0). Man findet also nicht ein fortwährendes Steigen oder Sinken des pH, sondern es wird früher oder später ein Gleichgewicht erreicht, in dem zum Beispiel das per Saldo jährlich hinzugeführte Natrium von der Auswaschung wieder weggeführt wird, resp. nach fortgesetzter saurer Düngung der Basengehalt des Komplexes so niedrig geworden ist, daß in der Bodenflüssigkeit nichts mehr weggeführt wird.

Abb. 2 bringt weitere Beispiele, um verschiedene Typen zu zeigen. Auch hier geben wir, der Übersichtlichkeit halber, einigermaßen schematisierte Kurven, wobei die Versuchsfehler, die Jahreschwankungen usw. eliminiert sind, so daß der allgemeine Typus klarer hervortritt. Pr. 4 zeigt eine symmetrische „Zange“, wobei das Gleichgewicht nach 15 Jahren noch nicht ganz erreicht ist. Pr. 76 zeigt ein jüngeres Versuchsfeld, wobei die Änderungen zunächst sehr groß waren. In Pr. 21 finden wir ein Beispiel, wo die Verhältnisse so lagen, daß Chilesalpeter keine pH-Erhöpfung verursachte, aber schwefelsaurer Ammoniak eine deutliche Erniedrigung gab; umgekehrt läßt bei Pr. 81 eine fortgesetzte Düngung

mit schwefelsaurem Ammoniak das pH praktisch unverändert, während Chilesalpeter eine Steigung verursacht. Es kann sogar vorkommen, daß Chilesalpeter zunächst pH-erniedrigend wirkt, wie uns Pr. 30 zeigt.

Die anderen Versuchsfelder (siehe Tabelle 1) geben weitere Illustrationen von diesen Fällen, die wir hier nicht alle abbilden,

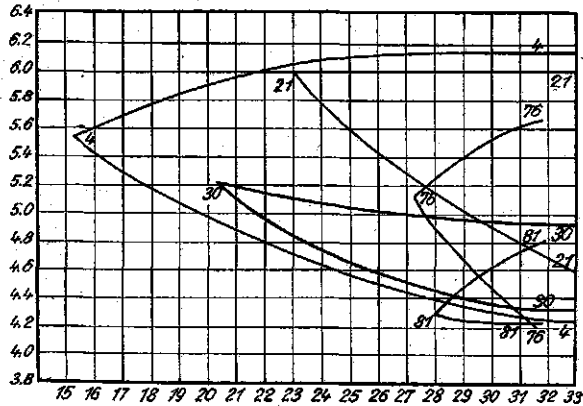


Abb. 2.

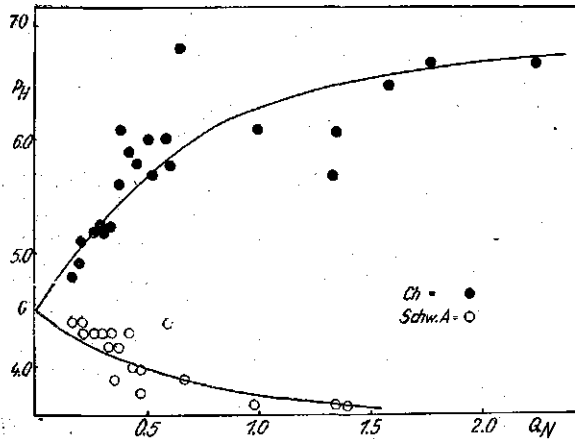


Abb. 3.

aber die man in den ausführlicheren Publikationen abgebildet wird finden können.

Während es nicht leicht sein wird — und bei diesen Versuchen, die nicht darauf eingerichtet waren, nicht möglich ist — zu studieren, wie die im Anfang genannten Faktoren einzeln wirken, und warum in jedem einzelnen Fall der Verlauf tatsächlich so ist, wie er gefunden wurde, so kann man doch wohl den Einfluß von einem der vornehmsten Faktoren nachweisen und mit

Tabelle I.

1 Ver- suchs- feld, Nr.	2 Versuchsfeld, Namen	3 Beginn, Jahr	4 Bodentyp	5 Fur- chen E5	6 Humus, %		7 Ton-Humus in Furche		8 E5 E5 E5 E5 E5		9 QN		10 End-ph	
					Schw. A.	Ch- Salp.	Schw. A.	Ch- Salp.	Schw. A.	Ch- Salp.	Schw. A.	Ch- Salp.	Schw. A.	Ch- Salp.
Pr. 3	Veenperceel	1905; 1915	Moorkolonial	13,5	6,6	6,7	108	111	73	0,68	0,66	3,9	6,8	
Pr. 4	Zandperceel	1905; 1916	Sand	20	6,3	5,9	160	154	62	0,39	0,40	4,2*	6,1	
Pr. 7	Perceel 7	1909; 1920	gelber Sand	20	1,1	1,1	38	38	85	2,24	2,24	—	6,7	
Pr. 8	A. G. Mulder West	1881	Moorkolonial	10	25,7	26,3	234	229	72	0,31	0,31	4,3	5,2	
Pr. 9	A. G. Mulder Oost	1881	Moorkolonial	10	24,8	27,7	230	221	75	0,33	0,34	4,3	5,2	
Pr. 10	Spitsbergen	1915	Sand	15	6,5	6,2	132	118	63	0,48	0,53	4,0	5,7	
Pr. 11	Proef A, Bergercompagnie	1918	Moorkolonial	12	13,1	12,4	206	197	77	0,37	0,39	3,9*	5,6*	
Pr. 13	Proef B, Bergercompagnie	1919	Moorkolonial	12	12,6	12,0	164	157	81	0,49	0,52	3,8*	6,0	
Pr. 19	Proef C, Bergercompagnie	1921	Moorkolonial	12	14,1	12,8	178	166	80	0,45	0,48	4,0*	5,8	
Pr. 21	Borgercompagnie perc. 8	1921	Moorkolonial	10	12,8	13,5	137	141	82	0,60	0,58	4,4*	6,0	
Pr. 22	Borgercompagnie perc. 11	1921	Moorkolonial	10	24,0	24,3	208	206	90	0,43	0,44	4,3*	5,9	
Pr. 23	Emm. Comp., perc. 4	1921	Moorkolonial, neu	11	12,3	10,7	135	130	133	0,98	1,02	3,7*	6,1	
Pr. 24	Goedijk, Opende	1921	Sand	18	8,5	8,4	193	189	67	0,35	0,35	4,2	5,2	
Pr. 30	Doornbos	1922	Moorkolonial	15	25,5	26,6	340	346	76	0,22	0,22	4,3	4,9	
Pr. 32	Pr. C, Emmercompascuum	1923	Moorkolonial, neu	10	10,8	9,7	99	101	135	1,36	1,34	3,7*	5,7	
Pr. 34	Freije	1923	tonhaltiger Moor	10	49,8	46,7	291	280	51	0,18	0,18	4,4	4,8	
Pr. 67	Pr. B, Emmercompascuum	1927	Moorkolonial, neu	10	10,1	10,0	105	104	141	1,34	1,36	3,7*	6,1	
Pr. 75	Goedijk, Marum	1928	Sand	0-5	11,1	9,7	129	115	204	1,58	1,77	—	6,7*	
Pr. 76	Heerenga	1928	Sand	15	7,0	7,7	135	146	84	0,62	0,58	—	5,8*	
Pr. 77	Kuipers	1928	Moorkolonial	15	24,4	21,4	306	285	62	0,20	0,22	4,4	5,1	
Pr. 78	Sterksma	1928	Sand	0-5	5,3	5,1	67	65	103	1,54	1,58	—	6,5*	
Pr. 81	de Eese	1929	Sand	20	10,6	9,5	244	220	68	0,28	0,31	4,3	5,2*	

Berücksichtigung darauf eine gewisse Regelmäßigkeit in die Gleichgewicht-pH's bringen. Es ist klar, daß die jährliche Quantität Stickstoff von großer Wichtigkeit sein muß, weil dadurch die „Zufuhr“ in großen Zügen bedingt wird; andererseits wird das Pufferungsvermögen des Bodens in Betracht gezogen werden müssen, weil die Zufuhr sich über den Sorptionskomplex verteilt.

Wir haben deshalb jeweils den Faktor:

$$Q_N = \frac{\text{jährliche N-Gabe in kg/ha}}{\text{Tonnen Humus pro ha und Furchentiefe}}$$

berechnet (siehe Tabelle 1, Spalte 7, 8 und 9) und in Abbildung 3 die Gleichgewicht-pH's gegen diese Zahl abgesetzt. Es bildet sich nun eine ziemlich gleichmäßige Gruppierung der Zahlen, welche natürlich nicht ein strenges Gesetz darstellt, weil andere Faktoren auch Einfluß haben oder haben können, aber welche doch zeigt, daß Q_N einer der wichtigsten Faktoren ist und daß, je größer Q_N , je höher das End-pH sein wird für Chilesalpeter, je niedriger für schwefelsauren Ammoniak.

Abbildung 4 gibt ein sterisches Bild für den Zusammenhang zwischen den „Zangen“ von Abbildung 1 und 2 und der „Zange“ von Abbildung 3; es zeigt, wie sich die Einzelresultate aus Abbildung 1 und 2 und aus Tabelle 1 regelmäßig nach Q_N gruppieren lassen.

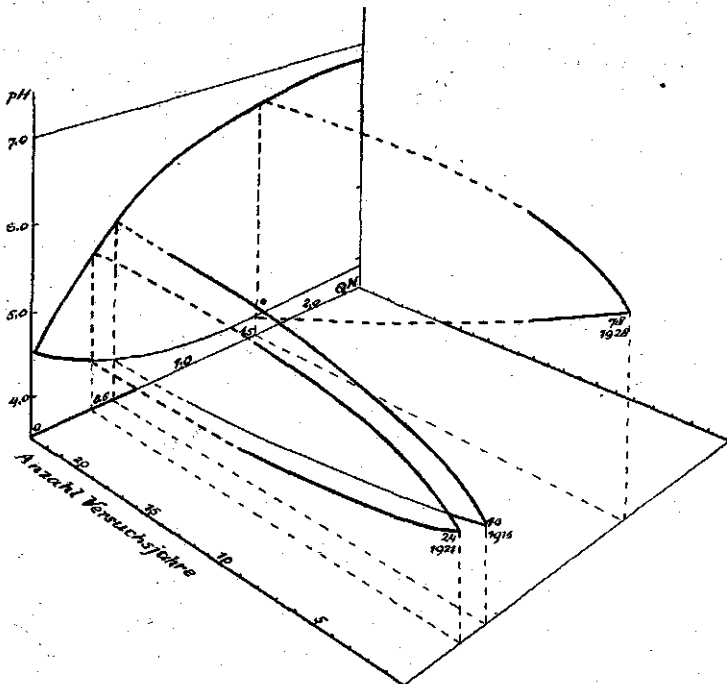


Abb. 4.

Ob Punkt 0 in Abbildung 3, der den Wert 4,5 angibt, extrapoliert als End-pH für „kein Stickstoff“, eine allgemeine Bedeutung hat, und inwieweit die Kalidüngung und Phosphatdüngung darauf Einfluß haben, wäre näher zu studieren; der Punkt 4,5 kommt schärfer zum Vorschein, wenn man die pH-Werte aus Abbildung 3 nicht nach Q_N , sondern nach $1/Q_N$ abbildet.

Kalziumnitrat.

Auf sieben Versuchsfeldern war Kalziumnitrat seit mehreren Jahren angewandt; es zeigt sich, daß der Einfluß auf das pH gering ist. Die Zahlen waren:

Versuchsfeld	Beginnjahr	pH in		
		1925—27	1928—30	1931—33
Pr 19	1921	5,6	5,4	5,4
21	1921	—	5,6	5,5 ^b
22	1921	—	5,3	5,3
22	1926	6,0	5,7	5,7
22	1926	5,6	5,4 ^b	5,5
32	1923	5,2	4,9	5,0
67	1927	—	5,0	5,3
3	1915	5,7	5,4	5,5
4	1915	5,5	5,2	5,2

Die Zahlen lassen keinen Schluß zu, ob hier und da eine kleine Abnahme zu konstatieren ist, und noch weniger können sie lehren, ob Q_N dabei eine Rolle spielt. Annähernd kann man sagen, daß fortgesetzte Düngung mit Kalksalpeter das pH von Sand- oder Moorböden mit pH 5—6 nicht viel verändert.

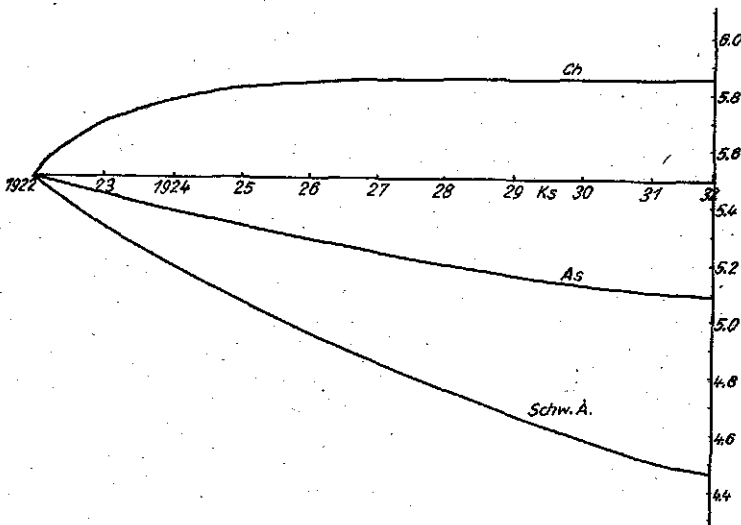


Abb. 5.

Ammoniumnitrat.

Dieser Stickstoffdünger wurde auf drei Versuchsfeldern während einer genügend langen Periode angewandt; es wurde dabei ein deutliches Herabsetzen vom pH gefunden. Die Zahlen waren:

Versuchsfeld	Beginnjahr	pH in		
		1925—27	1928—30	1931—33
Pr. 19	1921	5,4	5,1	5,0
Pr. 32	1923	4,9	4,3	4,2
Pr. 67	1927	—	4,8	4,7

Das allgemeine Bild, das man sich aus diesen Resultaten formen kann, findet sich in Abbildung 5 für Pr. 19, wobei Kalksalpeter für jedes Jahr = 100 gesetzt wurde, um die zufälligen Schwankungen im pH auszugleichen. Die Steigung des pH durch Chilesalpeter, die geringe Senkung durch Ammonsalpeter (As) und die stärkere pH-Erniedrigung durch schwefelsauren Ammoniak zeigen sich bei diesem Versuchsfeld klar.

Harnstoff.

Für Harnstoff können wir Daten von fünf Versuchsfeldern anführen, die folgendes Bild geben:

Versuchsfeld	Beginnjahr	pH in				
		1928	1929	1930	1931	1932
Pr. 76	1928	5,1	5,0	5,1	4,0	4,9
77	1928	4,6	4,5	4,5	4,6 ^b	4,7
81	1929	4,4	4,1	4,2	4,3	—
75	1928	5,8	5,9	—	5,7 ^b	—
78	1928	5,8	5,8	—	5,9	—

In Übereinstimmung mit den Resultaten von den meisten anderen Forschern⁴⁾ finden wir also, daß Harnstoff das pH praktisch unverändert läßt. Ob sich auch hier bei längerer Fortsetzung, vielleicht ganz langsam, ein Endgleichgewicht ausbilden wird, das einen Zusammenhang mit Q_N zeigt, würde erst bei Versuchen, die auf größere Genauigkeit eingerichtet sind, und bei einer sehr langen Versuchsdauer festzustellen sein.

⁴⁾ Siehe: Lemmermann, O., Fresenius, L., Gerdum, E.: Ztschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., A, 26, 284 (1932); Kappen, H.: Die Bodenazidität S. 284; Hansen, F.: Tidskr. for Planteavl Bd. 35, 713 (1929); Brioux, Ch.: Compt. Rend. Acad. Sci. 179, 915—917 (1925); Wichmann, W.: Inaug.-Diss. Bonn-Poppelsdorf(1927); Jones, H.W.: Soil Science, 34, 281—299 (1932).