©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Osnabrücker naturwiss. Mitt.	9	S. 57-64	4 Tab.	Osnabrück, Dez. 1982

Das austauschbare Aluminium im Boden und seine Wirkung auf die Pflanze

Mit 4 Tabellen

Johannes Niemann*

Kurzfassung: Die Folgen der starken Emission von Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden in die Atmosphäre wurden in den vergangenen Jahrzehnten immer deutlicher erkennbar: Saure Niederschläge gelangen in die Böden und verstärken die Tendenz ihrer Versauerung. Unter den negativen Wirkungen einer starken Bodenversauerung wird toxischer Überschuß von Aluminium-Ionen auf das Pflanzenwachstum besonders untersucht und diskutiert. Zu dieser Frage sind in dem vorliegenden Beitrag Versuchsergebnisse beschrieben worden, die im Rahmen eines Forschungsauftrages mit Gemüsearten als Testpflanzen in den Jahren 1966 bis 1968 erzielt werden konnten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung 57
2. Durchführung der Versuche 59
3. Methodik der Analysen 60
3.1. Bodenuntersuchung 60
3.2. Untersuchung der Pflanzenachse 60
4. Ergebnisse 61
5. Zusammenfassung 63
Schriftenverzeichnis 64

1. Einführung

In den vergangenen Jahrzehnten wurden durch Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas in zunehmendem Maße Schadstoffe, vor allem Schwefeldioxid (SO_2) und Stickstoffoxide (NO, NO_2), in die Atmosphäre emittiert. 1980 betrugen die Mengen im Bundesgebiet etwa 3,50 Mill. t SO_2 und 1,5 Mill. t NOx. Aus den Gasen bilden sich nach Reaktion mit der feuchten Luft starke Säuren (H_2SO_3, H_2SO_4, HNO_2, HNO_3), die mit dem Niederschlag in den Boden gelangen. Eine direkte Folge war, daß die Reaktion des Niederschlagwassers deutlich zum sauren Bereich hin verschoben wurde, und zwar in Mitteleuropa von pH 5,8 (1955) bis pH 4,3 (1972). In dicht besiedelten Gebieten der Bundesrepublik sind schon Werte unter pH 3 gemessen worden (Scheffer & Schachtschabel 1982). Da SO_2 sehr weit in der Luft transportiert werden kann, geht der saure Niederschlag auch in unseren mittleren Waldgebieten (Weserbergland, Harz, Schwarzwald) zu Boden. Die oberen Bodenhorizonte der Waldstandorte weisen z. T. bereits eine sehr stark saure Reaktion auf.

* Prof. Dr. Johannes Niemann, Richard-Strauß-Weg 6, 4500 Osnabrück

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Die starke Versauerung hat eine komplexe Wirkung auf die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften des Bodens sowie auf das Pflanzenwachstum. Zwar ist ein toxischer Überschuß von Wasserstoff-Ionen (H^+) erst unter pH 3 zu erwarten, doch sind es vor allem die Sekundärschäden, welche das Wachstum der Pflanzen hemmen oder ganz zum Erliegen bringen:

absoluter Mangel an Ca, Mg und K;
relativer Mangel durch Festlegung von P und Mo;
toxischer Überschuß von Al, abgeschwächt von Fe und Mn;
Strukturschäden mit Beeinträchtigung des Luft- und Wasserhaushalts;
biotische Störungen mit Folgen für den Stickstoff-Umsatz (Nitrifizierung).

Die Böden im Bundesgebiet zeigen allgemein die Tendenz zur Versauerung, hervorgerufen durch:

Kohlensäure (H_2CO_3) im Wurzelraum;
Wasserbewegung überwiegend von oben nach unten im Bodenprofil und Verlagerung von Ca und Mg in den Unterboden;
Anwendung von physiologisch sauren Mineraldüngern, z. B. von Ammoniumsulfat, wodurch H_2SO_4 zusätzlich gebildet wird;
Ionen-Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln und Nitrifizierung.

Ohne Zweifel sind es aber auch die stark sauren Niederschläge, die zur Versauerung unserer Böden beitragen.

Der pH-Wert (Maßzahl für die Bodenacidität) ist der negative dekadische Logarithmus der H-Ionen-Konzentration, d. h. der H-Ionen-Aktivität. Die H-Ionen liegen in hydratisierter Form als H_3O-Ionen (Hydronium-Ionen) vor, werden aber allg. als H-Ionen berechnet.

Es bedeuten: pH 7 neutral
6,9–6,0 schwach sauer
5,9–5,0 mäßig sauer
4,9–4,0 stark sauer
3,9–3,0 sehr stark sauer
unter 3,0 extrem sauer

Im folgenden Beitrag wird über Untersuchungen berichtet, die der Verfasser im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft in den Jahren 1966 bis 1968 im Versuchsbetrieb des Fachbereiches Gartenbau der Fachhochschule Osnabrück durchgeführt hat.

Das gestellte Thema war:

„Ein Beitrag zur Frage der toxischen Wirkung des Aluminiums in stark sauren Böden" (Niemann 1969).

Da dieses Problem heute sehr aktuell geworden ist, sollen die Versuchsdurchführung und die wesentlichen Ergebnisse hier zusammengefaßt werden.

Mehrfach wurde schon die Wirkung der Versauerung auf den Boden und das Pflanzenwachstum sowie speziell die Toxizität des Aluminiums in stark sauren Substraten behandelt (Finck 1967, Friedrichsen 1967, Hoffmann 1964, Juste 1966, Schwertmann 1961). Dabei zeigte es sich, daß die einzelnen Kulturpflanzen ganz unterschiedlich durch einen Überschuß an AL-Ionen geschädigt werden, d. h., daß der Toxizitäts-Grenzwert in einem relativ weiten Bereich variiert.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

In unserem Versuch wurden Gemüsekulturen als Testpflanzen genommen. Es sollte geprüft werden, ob die teilweise erheblichen Ertragsdepressionen der Gemüse in sauren Böden auf die giftige Wirkung des austauschbaren Aluminiums zurückzuführen sind. Zugleich war die Aufgabe gestellt, zu ermitteln, ob Beziehungen bestehen zwischen der Wirkung des Aluminiums und dem Humusgehalt des Bodens.

2. Durchführung der Versuche

Die Untersuchungen wurden an Feld- und Gefäßversuchen durchgeführt.
Feldversuch: Es konnte ein langjähriger Kalkdüngungsversuch zu Gemüsen herangezogen werden (Anlage 1954). Der Versuch umfaßt bei jeweils 4 Wiederholungen die folgenden Fragen:

1. Ohne Kalk, Boden sehr stark sauer
2. Branntkalk, mittlere pH-Stufe
3. Magnesiumbranntkalk, mittlere pH-Stufe
4. Branntkalk, höhere pH-Stufe
5. Magnesiumbranntkalk, höhere pH-Stufe

Für die vorliegende Aufgabe wurden nur die Fragen 1, 2 und 4 genommen.
Die ungefährt 25 cm mächtige Krume des diluvialen Bodens besteht aus einem mäßig humosen stark sandigen Lehm (Gehalt an organ. Substanz 2,2%), an Ton (<0,002 mm) 10,0%, an Grobschluff (0,02–0,06 mm) 12,6%, an Mittel- und Feinschluff (0,002–0,02 mm) 6,9%.
Das atlantisch bestimmte Klima des Raumes Osnabrück begünstigt die Versauerung des Bodens. Die Niederschläge im langjährigen Mittel betragen 774 mm, die mittlere Jahrestemperatur beträgt 8,4 °C (Niemann 1965).
Gefäßversuch: Für die Durchführung stand eine kleine Vegetationshalle zur Verfügung. Als Gefäße wählten wir 10-cm-Kunststofftöpfe. Die Gefäßerden wurden den Parzellen des Feldversuches entnommen. Die erforderlichen Bodenmengen dienten – entsprechend der jeweiligen Fragestellung – teils unvermischt, teils miteinander vermengt, teils auch mit Torfzusatz versehen, als Kultursubstrate.
Um die gewünschten pH-Werte zu erhalten, wurden den Gefäßen entsprechend der jeweiligen Versuchsfrage geringe Mengen an H_2SO_4 bzw. $CaCO_3$ beigemengt.
Der Gefäßversuch 1968 umfaßte 10 Versuchsfragen:

1. Boden sehr stark sauer, kein Torfzusatz, 3,75 ml 1%ige H_2SO_4/Gef.
2. Boden sehr stark sauer, 3 Gew.% Schwarztorf, 3,75 ml 1%ige H_2SO_4/Gef.
3. Boden sehr stark sauer, kein Torfzusatz
4. Boden sehr stark sauer, 3 Gew.% Schwarztorf + 0,15 g $CaCO_3$/Gef.
5. Boden stark sauer, kein Torfzusatz
6. Boden stark sauer, 3 Gew.% Schwarztorf + 0,30 g $CaCO_3$/Gef.
7. Boden schwach sauer, kein Torfzusatz
8. Boden schwach sauer, 3 Gew.% Schwarztorf + 0,60 g $CaCO_3$/Gef.
9. Boden neutral, kein Torfzusatz, 0,75 g $CaCO_3$/Gef.
10. Boden neutral, 3 Gew.% Schwarztorf + 1,95 g $CaCO_3$/Gef.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Zusammensetzung der Nährlösung zur flüssigen Düngung: 1 l der Nährlösung enthielt

1966:	1967 und 1968:
130 ml n KNO_3	40 ml n NH_4NO_3
10 ml n $Ca(NO_3)_2$	40 ml n KNO_3
50 ml n $MgSO_4$	30 ml n $(NH_4)_2SO_4$
100 ml n $NH_4H_2PO_4$	10 ml n $NH_4H_2PO_4$
	60 ml n K_2SO_4
	20 ml n $MgSO_4$

Die Gebrauchslösung wurde 1 : 10 verdünnt. Zum Gießen verwendeten wir salzfreies Wasser.

3. Methodik der Analysen

3.1. Bodenuntersuchung

Die pH-Messung erfolgte potentiometrisch in einer Aufschwemmung mit 0,1 n KCl. Zur Bestimmung von Phosphor und Kalium wurden die Bodenproben mit einer Ca-Laktatlösung bei pH 3,7 extrahiert. Nach der Filtration ist Phosphor 1966 nach der Vanadat-Molybdat-Methode, 1967 und 1968 nach der Methode von HOFFMANN und OHNESORGE kolorimetrisch und Kalium flammenphotometrisch bestimmt worden. Zur Bestimmung des austauschbaren Aluminiums wurde die Methode nach PAKALNS gewählt, die auf der Anfärbung mit Chromazurol S beruht (Analytica Chimica Acta 32/ 1965/57-63). Bei der Extraktion wurden 40 g Boden 2 Stunden mit 100 ml n KCl geschüttelt. Als Gerät diente das Photometer Eppendorf. Zur Ermittlung der organischen Substanz wurden die Bodenproben 3 Stunden mit Kaliumdichromat und konzentr. H_2SO_4 auf dem Wasserbad erhitzt. Da ein Zentrifugieren nicht möglich war, entnahmen wir jeweils erst nach 16stündigem Absetzen eine kleine Menge der überstehenden Lösung vorsichtig zur photometrischen Messung.
Die Bestimmung der organischen Substanz des Bodens ist jeweils vor Beginn des Versuches vorgenommen worden. Alle anderen Untersuchungen erfolgten nach Versuchsende.

3.2. Untersuchung der Pflanzenasche

Nach trockener Verbrennung von 1 g der bei 60 °C getrockneten Pflanzensubstanz wurde die Asche mit 5 n HCl aufgenommen, anschließend mit 1 n HCl in 100-ml-Meßkolben überführt und mit 1 n HCl aufgefüllt. Im Filtrat sind bestimmt worden: Al photometrisch nach PAKALNS, K und Ca flammenphotometrisch und P photometrisch nach der Vanadat-Molybdat-Methode.
Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1966, 1967 und 1968 durchgeführt. Im folgenden werden einige auserwählte Ertrags- und Analysenwerte aus dem Feldversuch 1966 und dem Gefäßversuch 1968 wiedergegeben.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

4. Ergebnisse

Die abgestufte Bodenacidität hatte einen mehr oder weniger starken Einfluß auf das Pflanzenwachstum wie auch auf den Nährstoffhaushalt des Bodens und die Mineralstoffaufnahme durch die Pflanzen.
Die untersuchten Gemüsearten zeigten gegenüber einer starken Bodenversauerung ein unterschiedliches Verhalten: Erhebliche Ertragsdepressionen fanden wir bei Spinat, Möhre, Sellerie, Porree, Radies und Markerbse. Bei Kohlrabi, Buschbohne und Tomate war der negative Einfluß viel geringer.
Mit steigendem pH-Wert nahm bei allen Versuchsreihen der Gehalt des Bodens an austauschbarem Aluminium ab. Entsprechend verringerte sich jeweils die Aluminium-Aufnahme durch die Pflanze.

Tab. 1 Ertrags- und Analysewerte Markerbse „Sprinter" (Feldversuch 1966)
Aussaat der Erbsen: 12. 5. Reihenabstand: 0,4 m
Ernte der Hülsen und des Strohes, Entnahme der Bodenproben: 25. und 26. 7.

Ertrags- und Analysenwerte

Vers.-Frage	Ertrag (Frischsubstanz) Hülsen rel. Wert	Hülsen dz/ha	Stroh rel. Wert	Stroh dz/ha	Ergebnisse der Bodenuntersuchung org. Substanz %	pH	mg/100g Boden Al	P_2O_5	K_2O	Mineralstoffgehalt d. Trockensubstanz (Stroh) Al mg/kg	P %	K %	Ca %
Ohne Kalk	100	20,8	100	48,6	2,2	4,0	4,64	14	14	452	0,44	5,4	1,52
Branntkalk mittlere pH-Stufe	194	40,4	232	112,6	2,2	4,9	0,17	15	19	223	0,49	5,4	1,68
Branntkalk höhere pH-Stufe	308	64,0	347	168,6	2,1	6,0	0	26	20	120	0,53	5,2	1,89

GD	Hülsen dz/ha	Stroh dz/ha
5 %	8,7	34,9
1 %	12,2	49,0
0,1 %	17,2	69,1

Anmerkung:
GD bedeutet Grenzdifferenz, d.h. die kleinste gesicherte Differenz, und zwar bei einer Grenzwahrscheinlichkeit von 5 %, 1 % und 0,1 % (einfach, bzw. hoch bzw. sehr hoch signifikant).

Tab. 2 Ertrags- und Analysewerte Spinat „Vital R" (Feldversuch 1966)
Aussaat des Spinats: 15. 8. Reihenabstand: 0,5 m
Spinat-Ernte und Entnahme der Bodenproben: 12. 10.

Ertrags- und Analysenwerte

Vers.-Frage	Ertrag Frischsubstanz rel. Wert	Frischsubstanz dz/ha	Ergebnisse der Bodenuntersuchung org. Substanz %	pH	mg/100 g Boden Al	P_2O_5	K_2O	Mineralgehalt d. Trockensubstanz (Blätter) Al mg/kg	P %	K %	Ca %
Ohne Kalk	100	5,9	2,6	3,9	5,18	19	16	510	1,06	9,3	1,30
Branntkalk mittlere pH-Stufe	704	41,6	2,4	5,4	0,03	20	20	318	0,90	11,1	1,14
Branntkalk höhere pH-Stufe	903	53,4	2,4	6,3	0	29	21	282	0,94	11,0	1,12

GD 5 % 6,5 dz/ha GD 1 % 9,1 dz/ha GD 0,1 % 12,9 dz/ha

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Die Untersuchungen galten vor allem der Frage, bei welcher Al-Konzentration des Bodens eine toxische Wirkung auf das Wachstum der Gemüsekulturen einsetzt. Deutliche Wachstumshemmungen sind z. B. zu erkennen: beim Salat, wenn 4–5 mg, beim Grünkohl, wenn 5,4 mg und beim Sellerie, wenn 1,0 mg austauschbares Aluminium in 100 g Boden gefunden wurden. Andererseits sind bei fast allen Gemüsearten Höchsterträge erzielt worden bei einem Al-Gehalt, der weit unter 1 mg je 100 g (10 ppm) Boden lag. Nur die Tomatenkultur, die bei 3,4 mg geringe, bei 1 mg keine schädigende Wirkung des Aluminiums zeigte, bildet eine Ausnahme. Die Werte schwanken zwischen 0 bzw. 0,01 mg (Markerbse, Spinat, Möhre, Sellerie und Porree) und 1 mg (Tomate).

Nach Scheffer und Schachtschabel (1966) können bereits Konzentrationen von 1–2 ppm Al in der Bodenlösung das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Dies dürfte bei den meisten der untersuchten Gemüsearten zutreffen. Genaue Richtwerte konnten hier nicht gefunden werden. Der Gehalt des Bodens an austauschbarem Aluminium nimmt sprunghaft zu, wenn der pH-Wert unter 4,5 absinkt.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Untersuchungen galt der Frage nach dem etwaigen Einfluß der organischen Substanz im Boden auf die Wirkung des Aluminiums. 1966 wurden bestimmten Versuchsreihen eine geringe Weißtorfgabe, 1967 und 1968 eine geringe Schwarztorfgabe beigefügt. Der erhöhte Humusgehalt hatte bei gleicher Reaktion vielfach eine deutliche Ertragssteigerung zur Folge. Die Differenzen sind in den sauren Bereichen gesichert. In fast allen Versuchsfragen war bei gleichen pH-Stufen ein erhöhter Gehalt des Bodens an organischer Substanz mit einem Rückgang des Al-Gehalts verbunden. Offenbar sind hier Beziehungen vorhanden. Es ist zu vermuten, daß Al an den Humus gebunden wurde und sich dadurch der Gehalt der Gefäßerden an austauschbarem Aluminium verringerte. Doch konnte diese Frage nicht exakt geprüft werden.

5. Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Emission von Schwefeldioxyd (SO_2) und Stickstoffoxyden (NO, NO_2) in der Atmosphäre bedrohliche Ausmaße angenommen. Diese Gase bilden durch Reaktion mit feuchter Luft starke Säuren, vor allem H_2SO_4 und HNO_3, die mit dem Niederschlag, dem „sauren Regen", in den Boden gelangen. In stark sauren Böden gehen Aluminium-Ionen in Lösung, die in höherer Konzentration toxisch auf die Pflanzen wirken. Das „Tannensterben" wird zum Teil auf Al-Ionen in der Bodenlösung zurückgeführt.

Wegen der großen Aktualität dieses Problems sind hier die wichtigsten Ergebnisse von Untersuchungen zusammengefaßt, die 1966–1968 im Rahmen eines Forschungsauftrages durchgeführt wurden.

Diese Untersuchungen dienten dem Ziel, einen Beitrag zu geben zur Frage der Toxizität des austauschbaren Aluminiums in stark sauren Böden. Auch sollte geprüft werden, ob Beziehungen bestehen zwischen dem Gehalt des Bodens an organischer Substanz und der Wirkung des Aluminiums.

Als Testpflanzen sind Gemüsekulturen in Feld- und Gefäßversuchen genommen worden.

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Tab. 3 Ertrags- und Analysewerte Radies „Saxa Treib" (Gefäßversuch 1968)
Ansetzen der Gefäße: 15. 3. Zahl der Wiederholungen: 8
Aussaat: 19. 3. (2 × 5 Korn je Gefäß)
Vereinzeln: 3. 4. (5 Pflanzen je Gefäß) und 16. 4. (4 Pflanzen je Gefäß)
Ernte: 10. 5.

Ertrags- und Analysenwerte

Vers.-Frage	Pflanzenertrag (Blätter und Rüben) g/Gefäß Frischsubstanz – x	Trockensubstanz – x	Ergebnisse der Bodenuntersuchung org. Substanz %	pH	mg/100 g Boden Al	P_2O_5	K_2O	Mineralstoffgehalt d. Trockensubstanz (Blätter) Al mg/kg	P %	K %	Ca %
1	4,52	0,48	2,2	3,5	9,28	50	59	356	0,54	6,1	0,81
2	4,63	0,52	4,0	3,4	0,53	45	60	335	0,51	5,4	0,84
3	20,83	1,72	2,3	3,9	3,96	41	26	289	0,60	6,8	1,66
4	25,88	1,89	3,7	4,0	3,25	41	25	220	0,68	7,5	1,69
5	24,88	1,87	2,3	4,4	0,12	39	38	173	0,54	7,3	1,94
6	29,61	2,02	3,9	4,5	0,65	38	35	142	0,55	6,6	2,18
7	19,13	1,74	2,4	6,3	0	59	53	130	0,48	4,7	3,39
8	23,59	1,86	4,0	6,4	0	58	50	115	0,51	4,3	3,76
9	18,91	1,74	2,2	7,1	0	71	52	100	0,41	4,4	3,33
10	20,52	1,79	3,9	7,2	0	63	45	94	0,42	4,6	3,93

GD		Pflanzen- Frischsubstanz (g)	Trockensubstanz (g)
5	%	3,17	0,18
1	%	4,23	0,25
0,1	%	5,47	0,32

Tab. 4 Ertrags- und Analysewerte Porree „Carentan" (Gefäßversuch 1968)
Ansetzen der Gefäße: 25. 7. Zahl der Wiederholungen: 8
Aussaat: 7. 7.
Pflanzung: 26. 7. (3 Pflanzen je Gefäß)
Ernte: 24. 10.

Ertrags- und Analysenwerte

Vers.-Frage	Pflanzenertrag g/Gefäß Frisch-subst. – x	Trocken-subst. – x	Ergebnisse der Bodenuntersuchung org. Substanz %	pH	mg/100 g Boden Al	P_2O_5	K_2O	Mineralstoffgehalt der Trockensubstanz (Pflanzen ohne Wurzeln) Al mg/kg	P %	K %	Ca %
1	0,63	0,17	2,2	3,6	8,70	24	57	594	0,19	3,3	1,20
2	0,83	0,20	4,4	3,6	7,98	28	65	354	0,19	3,2	1,00
3	1,37	0,31	2,2	3,7	7,10	25	62	319	0,18	3,2	0,87
4	10,74	1,74	3,6	3,9	3,65	21	42	115	0,20	3,0	0,55
5	12,43	1,99	2,2	4,3	1,81	23	49	112	0,20	3,1	0,54
6	17,93	2,69	3,7	4,6	0,65	20	39	74	0,24	3,1	0,46
7	18,58	2,68	2,1	6,2	0	32	33	63	0,30	3,5	0,64
8	17,56	2,55	4,2	6,2	0	30	30	61	0,31	3,4	0,59
9	18,26	2,60	2,2	7,1	0	37	34	57	0,34	3,8	0,72
10	18,31	2,58	3,9	7,2	0	36	30	78	0,34	3,6	0,69

GD		Pflanzen- Frischsubstanz (g)	Trockensubstanz (g)
5	%	1,49	0,28
1	%	1,98	0,37
0,1	%	2,57	0,48

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Unter den geprüften Gemüsearten waren Spinat, Möhre, Sellerie, Porree, Radies und Markerbse gegenüber einer starken Bodenversauerung besonders empfindlich. Geringere Wachstumsdepressionen zeigten Kohlrabi, Buschbohne und Tomate.
2. Falls Höchsterträge erzielt wurden, lag der Gehalt des Bodens an austauschbarem Aluminium – ausgenommen eine Gemüseart (Tomate) – weit unter 1 mg je 100 g. Es darf aufgrund der erhaltenen Werte angenommen werden, daß bei empfindlichen

©Naturwissenschaftlicher Verein Osnabrück e.V.

Kulturen (Spinat, Markerbse) Konzentrationen von 0,03–0,2 mg Al je 100 g Boden wachstumsmindernd wirken können.

3. Etwa unter pH 4,5 nahm der Gehalt des Bodens an austauschbarem Aluminium sprunghaft zu.

4. Zugleich erhöhte sich die Aluminium-Aufnahme durch die Pflanzen.

5. Die Erscheinung, daß bei Aufkalkung eines stark sauren Bodens die Verfügbarkeit des Bodenphosphors deutlich verbessert wird, konnte voll bestätigt werden.

6. Der erhöhte Gehalt des Bodens an organischer Substanz im sauren Bereich war vielfach mit einem deutlichen Rückgang des Gehaltes an austauschbarem Aluminium und mit einer Ertragsteigerung der Gemüsekulturen verbunden. Hier bestehen offenbar Beziehungen. Es ist möglich – diese Frage konnte nicht im einzelnen untersucht werden –, daß das Aluminium an die organische Substanz des Bodens gebunden und dadurch weniger austauschbar wird.

Schriftenverzeichnis

FINCK, A. (1967): Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. – Schriftenreihe d. Landw. Fak. der Univ. Kiel, Heft **41**.

FRIEDRICHSEN, G. (1967): Ursachen von Säureschäden an Kulturpflanzen auf Böden Schleswig-Holsteins. – Inaugural-Dissertation, Kiel.

HOFFMANN, W. (1964): Die komplexe Wirkung von pH-Wert, Phosphat-Fixierung und lösl. Al und Fe in Moormarschen auf das Pflanzenwachstum. – Zeitschr. f. Pfl.-Ern. u. Bodenkd., Bd. **107/3:** 223–241.

JUSTE, C. (1966): Beitrag zur Dynamik des Aluminiums in den sauren Böden Südwestfrankreichs. – II. Teil Ann. Agron., **17:** 251–341.

KUNTZE, H. & NIEMANN, J. & ROESCHMANN, G. & SCHWERDTFEGER, G. (1981): Bodenkunde. – 2., völlig neu bearbeitete Auflage, 408 S., 130 Abb., 101 Tab.; Stuttgart (Verlag Ulmer; Uni-Taschenbücher 1106).

NIEMANN, J. (1965): Zweiter Beitrag zur Untersuchung des Großklimas im Landschaftsraum Osnabrück. – Veröff. naturwiss. Ver. Osnabrück, **31**; Osnabrück.

– (1969): Ein Beitrag zur Frage der toxischen Wirkung des Aluminiums in stark sauren Böden. – Kali-Briefe, Fachgebiet Bodenkunde.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1966): Lehrbuch der Bodenkunde. – Enke-Verlag, Stuttgart.

SCHWERTMANN, U. (1961): Über das lösliche und austauschbare Aluminium im Boden und seine Wirkung auf die Pflanze. – Landw. Forsch., Bd. **14/2:** 53–59.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die freundlich gewährte Unterstützung vielmals gedankt. Auch danke ich Fräulein Peters und Herrn Ladebusch für die Mitarbeit bei der Durchführung der Untersuchungen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: 9

Autor(en)/Author(s): Niemann Johannes

Artikel/Article: Das austauschbare Aluminium im Boden und seine Wirkung auf die Pflanze 57-64