

Institut für Geographie und Geoökologie
Bereich Physische Geographie
der Akademie der Wissenschaften der DDR

Veränderung der Nährstoffverhältnisse von Böden in einem Immissionsgebiet und Auswirkungen auf die Pflanze mittels eines Feldversuches

Von Christa Franke und Gisela Peklo

Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle

(Eingegangen am 17. April 1986)

1. Einleitung

Von großem Interesse, auch aus landwirtschaftlicher Sicht, ist die Frage nach der Änderung der Nährstoffverhältnisse von Böden in Immissionsgebieten und der damit im Zusammenhang stehenden Beeinflussung der entsprechenden Nutzpflanzen. Untersuchungen zu dieser Problematik werden dadurch erschwert, daß derartige Böden meist schon über lange Zeiträume einer Kontamination ausgesetzt sind und die verschiedenen Bodenformen jeweils eine spezifische Reaktion auf entsprechende Einflüsse zeigen. Deshalb wurde im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogramms zur Schadstoffbelastung, dessen Resultate in Forschungsberichten des IGG (Nagel et al. 1983, Kahnt und Peklo 1983) niedergelegt sind, ein Versuch durchgeführt, bei dem ein einheitliches, von Immissionen unbeeinflusstes, fossiles (altweichselzeitliches) Bodenmaterial aus einem Lösprofil aus dem inneren Thüringer Becken, im folgenden als „Einheitsboden“ bezeichnet, in einem Industriegebiet ausgebracht wurde. Das Untersuchungsgebiet stellt ein Ballungszentrum der chemischen Industrie sowie der Energieerzeugung auf Braunkohlenbasis dar. Zu den emittierten Hauptschadstoffen gehören insbesondere SO_2 , Stäube, NO_x , Cl, HCl, H_2S , F und organische Verbindungen.

2. Material und Methoden

Der Einheitsboden wurde an neun Standorten in Entfernungen von 2–20 km zum Emittentenkomplex in der Hauptwindrichtung ausgebracht, wobei er in Holzgefäße von $0,25 \text{ m}^2$ Oberfläche, in denen ein Bodenabfluß gewährleistet ist, verfüllt und in den Boden eingelassen wurde (gleiches Niveau von Erd- und Gefäßoberfläche, Abb. 1). Die Aussaat von Testpflanzen (*Sinapis alba*) erfolgte in diesen Gefäßen und parallel dazu auf den umliegenden Standortböden.

Das Experiment wurde über einen Zeitraum von sechs Jahren, d. h. von 1976 bis 1981 durchgeführt, wobei eine jährliche Analyse sowohl der Einheits- als auch der umliegenden Standortböden und der entsprechenden Pflanzen im Hinblick auf eine Veränderung der Gehalte bestimmter Makro- und Mikronährstoffe erfolgte.¹

3. Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind alle Analysedaten des Einheitsbodens (Ausgangsdaten, pflanzenverfügbare Gehalte) zusammengestellt und die einzelnen Elementgehalte mit Emp-

¹ Die Analyse der Pflanzenproben erfolgte im Bezirksinstitut für Veterinärwesen Dresden, während die Bodenproben vom IPE Jena, Bereich ACUB Rostock untersucht wurden.

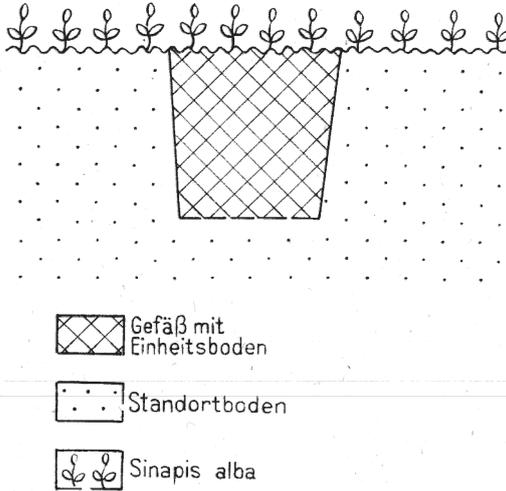


Abb. 1. Versuchsanlage

Tabelle 1. Charakterisierung des Einheitsbodens

		Einheitsboden (Ausgangsdaten)	Einschätzung der Gehalte des Einheitsbodens	Standortboden in Emittentennähe (Oberboden)
allgem. Boden- paramet.	Sand	31,0 ‰		31,9 ‰
	Ton	16,9 ‰		16,6 ‰
	Schluff	52,1 ‰		51,5 ‰
Makro-Nährstoffe	C	1,27 ‰	schwach humos	3,9 ‰
	N	0,055 ‰	niedrig	0,15 ‰
	pH	7,1	optimal	6,5 ‰
	Na	(50) ppm	normal	48 ppm
	K	(117) ppm	mittel	130 ppm
	Ca	200 ppm	normal	3185 ppm
	Mg	211 ppm	sehr hoch	100 ppm
	SO ₄	15 ppm	niedrig	572 ppm
	P	12 ppm	mittel	60 ppm
	Cl	50 ppm	normal	44 ppm
Mikro- Nährstoffe	Cu	4,8 ppm	hoch	14,2 ppm
	Zn	2,0 ppm	normal	9,7 ppm
	Mn	13,0 ppm	mittel	14,7 ppm
	Mo	0,05 ppm	niedrig	0,61 ppm
	B	0,4 ppm	mittel-hoch	3,8 ppm

fehlungen des Instituts für Pflanzenernährung Jena der AdL der DDR für Acker- und Grünlandböden verglichen.

Betrachtet man die Elementgehalte im einzelnen, so fallen bei den Makronährstoffen geringe C-, N-, SO₄- und vergleichsweise niedrige Ca-Gehalte sowie sehr hohe Mg-Gehalte und bei den Mikronährstoffen niedrige Mo- und relativ hohe Cu- und B-Gehalte auf. Der pH-Wert liegt im Optimalbereich (keine Kalkbedürftigkeit). Alle anderen Elemente bewegen sich im Normalbereich. Im Vergleich dazu sind die

Elementgehalte (Mittelwerte) des Oberbodens eines vom Substrat her ähnlichen Standortbodens (Auenschluffvega) aus Emittentennähe angeführt. Erwartungsgemäß treten hier höhere C- und N-Gehalte auf. Darüber hinaus liegen die Ca-, SO₄-, P- und Mikronährstoffgehalte mehr oder weniger deutlich über den Werten des Einheitsbodens. Die Na-, K- und Cl-Gehalte bewegen sich in der gleichen Größenordnung. Lediglich der Mg-Gehalt des Einheitsbodens liegt über dem dieses Standortbodens.

Die weitere Auswertung des Versuches erfolgte unter nachstehenden Fragestellungen:

- Vergleich des unbelasteten Einheitsbodens (Ausgangswerte) mit dem Einheitsboden nach 6monatiger und mit dem Einheitsboden nach 6jähriger Expositionszeit;
- Vergleich der Einheitsböden bezüglich ihrer Lage zum Emittenten unter Berücksichtigung von zwei Gruppen: emittentennahe und emittentenerne Standorte;
- Vergleich des Einheitsbodens mit dem jeweilig anstehenden Standortboden;
- Auswirkung der Änderung der Einheitsboden-Gehalte auf die Elementgehalte in der Testpflanze *Sinapis alba* (Boden-Pflanze-Beziehung).

Im folgenden werden die Gehalte der Elemente C, N, Na, K, Ca, Mg, P, Cl, SO₄, Cu, Zn, Mn, Mo und B sowie der pH-Wert im Einheitsboden nach 6monatiger und 6jähriger Expositionszeit mit dem Ausgangswert für emittentennahe und emittentenerne Standorte verglichen (Abb. 2).

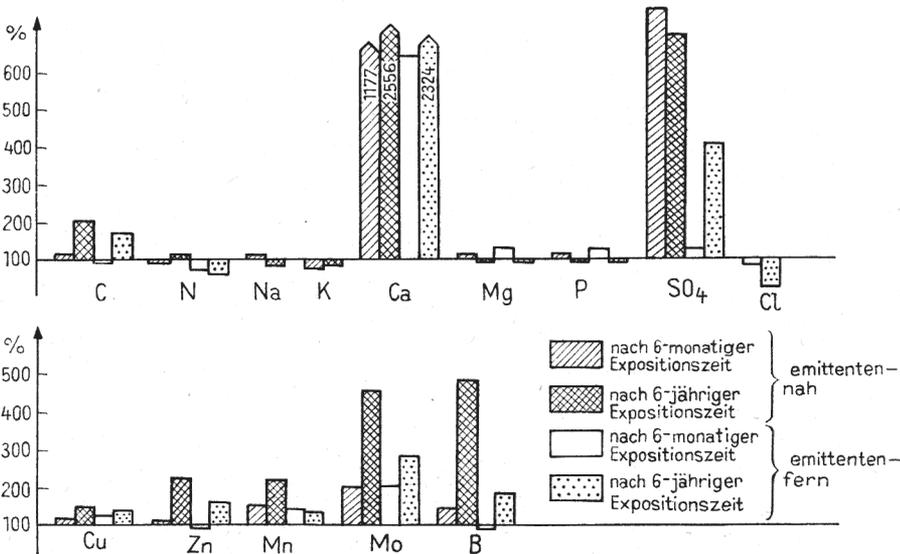


Abb. 2. Gegenüberstellung der Elementgehalte des Einheitsbodens nach 6monatiger bzw. 6jähriger Expositionszeit im Vergleich zum Ausgangswert für emittentennahe und emittentenerne Standorte

C und N

Der sehr niedrige C-Gehalt der Einheitsböden erhöht sich schwach im Untersuchungszeitraum an den emittentennahen Standorten und nähert sich den C-Gehalten der nährstoffarmen emittentenernen Standortböden. Die N-Gehalte bleiben in Emittentennähe gleich, während sie in größerer Entfernung sogar leicht abfallen.

Kationen (Na, K, Ca, Mg)

Die Gehalte von Na, K und Mg ändern sich im Untersuchungszeitraum sowohl in Emittentennähe als auch in Emittentenferne nur unwesentlich.

Im Unterschied dazu findet eine Ca-Anreicherung im Einheitsboden mit steigender Tendenz statt, wobei zunächst eine deutliche Differenzierung zwischen den beiden Gruppen emittentenfern und emittentennah zu erkennen ist. Zu Ende des Experiments liegen die Ca-Gehalte der entfernteren Einheitsböden zwar noch unter denen der emittentennahen Standortböden, erreichen aber Werte, die bedeutend über denen der emittentennahen Standortböden liegen. Die starke und schnelle Aufkalkung der emittentennahen Einheitsböden ist auf Grund der Immission von Flugaschen erklärlich. Für die hohen Ca-Gehalte der entfernteren Einheitsböden konnte noch keine befriedigende Erklärung gefunden werden.

Anionen P, Cl, SO₄

Nach 6monatiger Expositionszeit sind die emittentennahen Einheitsböden stark mit SO₄ angereichert. Im Verlaufe des Untersuchungszeitraumes steigen die Gehalte der Einheitsböden beide Entfernungsguppen an. Zu Versuchsende wurden jedoch etwas geringere Gehalte ermittelt. Die Ursache dafür könnte eine Verlagerung des SO₄ in tiefere Bodenschichten sein.

Die P-Gehalte ändern sich gegenüber dem Ausgangswert kaum, während sich der Cl-Gehalt nach 6jähriger Expositionszeit möglicherweise auf Grund von Auswaschvorgängen etwas vermindert.

Mikronährstoffe (Cu, Zn, Mn, Mo, B)

Diese Elemente zeigen bereits nach der 1. Beprobung eine leicht steigende Tendenz, die sich im Verlaufe des Untersuchungszeitraumes fortsetzt. Mit Ausnahme des Cu bestehen deutliche Unterschiede zwischen den beiden Entfernungsguppen. Diese sind bei Mo und B besonders augenfällig.

pH-Wert

Der pH-Wert (Abb. 3) ändert sich über den Zeitraum der Untersuchungen nur geringfügig. Es ist aber zu erkennen, daß er an den emittentennahen Standorten relativ hoch bleibt, während er an den entfernteren nach 6jähriger Expositionszeit leicht absinkt. Das ist in Emittentennähe mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Dominanz der Ca-Zufuhr (Flugaschen) mit ihrer pH-stabilisierenden Wirkung zurückzuführen, während in größerer Entfernung die überwiegend pH-absenkende Wirkung des SO₂ zum Ausdruck kommt.

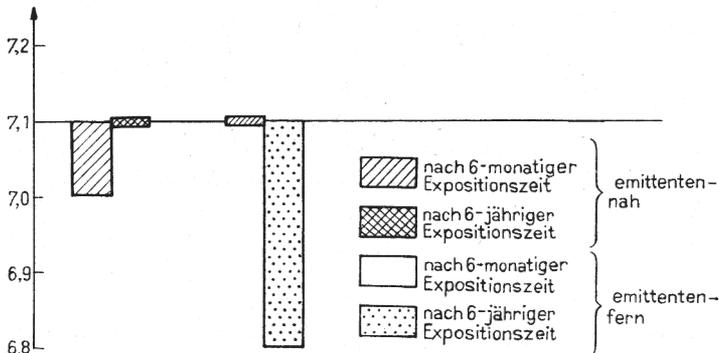


Abb. 3. pH-Wert-Änderungen im Einheitsboden über den Versuchszeitraum von 1976-1981

Auswirkungen der Änderung der Elementgehalte im Einheitsboden auf die Elementgehalte in der Testpflanze *Sinapis alba* (Boden-Pflanze-Beziehung)

Die Frage nach der Auswirkung dieser Veränderungen der Elementgehalte in den Einheitsböden auf die Gehalte in der Testpflanze *Sinapis alba* wird mit der Gegenüberstellung der entsprechenden Gehalte beantwortet (Abb. 4). Da die Testpflanzen einige Monate nach Ausbringung des Einheitsbodens, d. h. in den schon teilweise veränderten Boden gebracht wurden, erwies es sich als zweckmäßig, für den Pflanze-Boden-Vergleich die Veränderungen des Einheitsbodens nach 6jähriger Expositionszeit auf die Analysedaten nach 6 Versuchsmonaten zu beziehen. Bei den Pflanzen wurde in gleicher Weise verfahren.

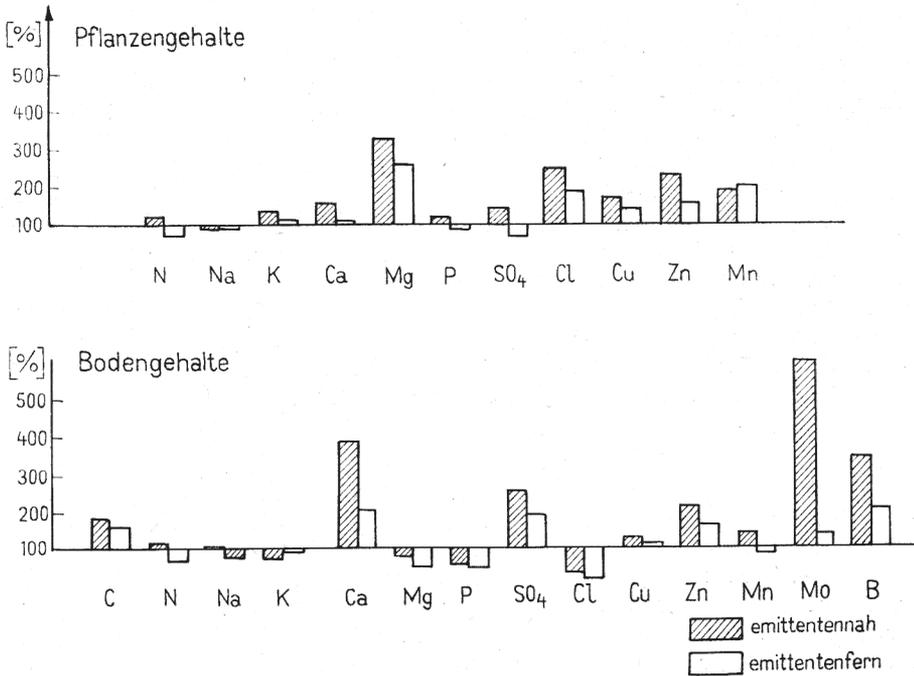


Abb. 4. Elementgehalte in Boden und Testpflanze (*Sinapis alba*) nach 6monatiger und 6jähriger Expositionszeit für emittententferne und emittentennahe Standorte; 6monatige Expositionszeit = 100 %

Obwohl es sich bei diesem Versuch um anuelle (einjährige) Pflanzen handelt, müßten sich signifikante Veränderungen im Nährstoffgehalt des Bodens in den Gehalten der einzelnen Pflanzen widerspiegeln. Bei den Elementen N, Na und K zeigt sich kaum eine Veränderung sowohl der Boden- als auch der Pflanzenwerte über den Untersuchungszeitraum. Die starke Erhöhung der Ca-Gehalte sowohl an emittentennahen als auch emittententfernen Standorten zeigt erwartungsgemäß eine Auswirkung auf die Pflanzengehalte, jedoch nicht in der Deutlichkeit wie beim Boden. Dabei soll aber erwähnt werden, daß Ca das einzige Element ist, bei dem die Gehalte der Einheitsbodenpflanze über denen der Standortpflanze und über dem Normwert für *Sinapis alba* liegen.

Darüber hinaus läßt sich durch das Überangebot an Ca eine Störung im Nährstoffhaushalt nachweisen, die ihren Ausdruck in einem stark veränderten Ca- : P-Verhältnis findet. Das Ca- : P-Verhältnis reicht bis 13 : 1. Säuberlich (1971) gibt ein Verhältnis

von 1,6 : 1 als normal an und konnte in einem durch Zementstaub beeinflussten Gebiet Ca- : P-Verhältnisse von 7 : 1 bis 11 : 1 ermitteln. Die relativ niedrigen P-Gehalte in den Pflanzen, die an der Untergrenze des Normbereiches liegen, sind möglicherweise darauf zurückzuführen.

Die Mg- und Cl-Gehalte zeigen im Boden eine mehr oder weniger deutliche Abnahme, während die Pflanzengehalte stark ansteigen, jedoch im Normwertbereich bleiben. Im Falle des Mg ist das wahrscheinlich auf die Verdrängung der Mg-Ionen aus dem Sorptionskomplex bei Überangebot von Ca zurückzuführen (dazu kommen noch ausgesprochen hohe Boden-Mg-Gehalte). Beim Cl könnte der erhöhte Wert in Emittentennähe auf eine verstärkte Luftbelastung zur Vegetationsperiode 1981 hindeuten.

Die Bodensulfat-Gehalte sind gegenüber dem Vergleichswert erhöht, was sich in den Pflanzen in Emittentennähe bis zu einem gewissen Grade widerspiegelt. Die SO_4 -Gehalte der Pflanze liegen an der Obergrenze des Normbereichs.

Guderian (1971) konnte zwischen dem Gehalt des Bodens an Gesamt- und Sulfatschwefel und dem Schwefelgehalt der Pflanzen keine deutlichen Beziehungen nachweisen. SO_2 gelangt auch über die Stomata und Blattepidermis in das Blattinnere, was zu einem mehr oder weniger starken Anstieg in den Blättern führen kann.

Die Zink-Gehalte im Einheitsboden zeigen eine deutliche Erhöhung besonders in Emittentennähe, was eine entsprechende Reaktion in der Pflanze zur Folge hat. Die Cu-Gehalte im Einheitsboden steigen nur sehr wenig, die Cu-Gehalte der Pflanze dagegen etwas stärker an. Beim Betrachten der Boden-Mn-Gehalte zeigt sich, daß diese nur in Emittentennähe, die Pflanzengehalte jedoch bei beiden Standortgruppen merklich ansteigen. Die Erhöhung der Bodengehalte zieht zwar gesteigerte Pflanzengehalte nach sich, die sich aber im wesentlichen im Normwertbereich bewegen. Die Elemente B und Mo konnten in den Pflanzen leider nicht bestimmt werden.

4. Diskussion

Von der Tatsache ausgehend, daß die Versorgung der Einheitsböden bei der Ausbringung als relativ normal einzuschätzen ist (Ausnahme C und N), kann nach Beendigung des Experiments festgestellt werden, daß sich bereits nach 6monatiger Ausbringungszeit eine Änderung der Nährstoffverhältnisse bei den meisten Elementen abzeichnete, die sich über den Untersuchungszeitraum im Sinne einer Akkumulation fortsetzte. Davon ausgenommen sind die Makronährstoffe N, Na, Mg, P und Cl. Die Anreicherung der Elemente im Einheitsboden fand statt, obwohl während der Expositionszeit nicht gezielt gedüngt wurde und weiterhin Nährstoffe durch die Testpflanzen entzogen wurden.

Die z. T. räumlich stark differenzierte Anreicherung der Einheitsböden mit SO_4 , Ca und den Mikronährstoffen Mo, B und etwas weniger ausgeprägt Mn lassen den Schluß zu, daß das Verhalten dieser Stoffe in engem Zusammenhang mit der Immission zu sehen ist. Diese Aussagen stehen in Übereinstimmung mit den Resultaten, die an den entsprechenden Standortböden gewonnen wurden.

Die Tatsache, daß Mg (ebenfalls ein Bestandteil des Staubes) und K während des Untersuchungszeitraumes eher abfallen als ansteigen, ist sicher im bestehenden Antagonismus zwischen Ca und diesen Elementen zu sehen. Hohe Ca-Gehalte wirken sich ebenfalls negativ auf die Verfügbarkeit von P aus.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß bei den Pflanzen die Elementaufnahme über die Luft und die Staubbeaufschlagung eine Rolle spielen, andererseits bei der Nährstoffaufnahme bestimmte Wechselwirkungen der Elemente untereinander bestehen, konnte ein Bezug zwischen den Boden- und Pflanzengehalten nachgewiesen werden, die im Boden eine starke Anreicherung erfahren, besonders Ca und in etwas abgeschwächter Form SO_4 . Im Hinblick auf den Einsatz als Futtermittel sind hohe

Ca- und SO_4 -Gehalte in der Pflanze jedoch ohne Bedeutung (Kloke 1977). Wesentlich dagegen ist, daß das Ca einen starken Einfluß auf die Aufnahme anderer Elemente hat und sich somit dort Mangelercheinungen einstellen können.

Zusammenfassung

Mit dem hier vorgestellten Einheitsboden-Experiment konnte der Nachweis erbracht werden, daß sich schon nach relativ kurzer Zeit das Nährstoffangebot für die Pflanzen durch Immissionen verändert.

Besonders die Ca-, SO_4 -, Mo- und B-Gehalte, deren Anteile an der Immission hoch bzw. relativ hoch sind, und in etwas abgeschwächter Form Zn- und Mn-Gehalte waren nach 6jähriger Expositionszeit in Emittentennähe deutlich erhöht. Sie stehen somit in engem Zusammenhang mit der größeren Immissionsbelastung. Die Auswertung ergab weiter, daß sich nach drei bis 6 Jahren ein Ca- und SO_4 -Gehalt im Einheitsboden einstellt, der mit den Gehalten der emittentennahen Standortböden vergleichbar ist, die schon unter jahrzehntelanger Immissionsbelastung stehen.

Daraus kann geschlußfolgert werden, daß jede weitere Ca- und SO_4 -Zufuhr nur durch Pflanzenentzug und sicherwassergebundenen Austrag vermindert wird, wobei letzteres sicher von größerer Bedeutung ist.

Die Untersuchungen zeigen, daß eine starke Anreicherung von Elementen im Boden (insbesondere Ca und SO_4) eine Erhöhung der entsprechenden Pflanzengehalte nach sich zieht. Der Versorgungsgrad der Einheitsböden in Emittentennähe ist nach 6jähriger Versuchsdauer mit allen Mikronährstoffen als hoch bis z. T. sehr hoch einzuschätzen, wobei sämtliche Pflanzengehalte im mittleren Normbereich bleiben.

Schrifttum

- Guderian, R.: Einfluß der Nährstoffversorgung auf die Aufnahme von Schwefeldioxid aus der Luft und die Pflanzenanfälligkeit. Schriftenreihe der Landesanstalt für Immission und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen, 1971, H. 23, 51–57.
- Kahnt, K., und G. Peklo: Wachstum und Qualität der Futterpflanze *Sinapis alba* L. unter Immissionsbedingungen. Forschungsbericht der IGG Leipzig 1983 (VD).
- Kloke, A.: Zur Belastung von Böden und Pflanzen mit Schadstoffen in und um Ballungsbereiche. Ber. Landwirtschaft., N. F. 55 (1977) 633–639.
- Nagel, Ch., Ch. Franke und H.-D. Ploch: Veränderungen von Bodeneigenschaften. Forschungsbericht des IGG Leipzig 1983 (VD).
- Säuberlich, R.: Ermittlung der Art und des Umfangs der Zementstaubimmission und der Einfluß auf Boden und Pflanze. Diss. (A), MLU Halle 1971.

Dr. Christa Franke
Dipl.-Biol. Gisela Peklo
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Geographie und Geoökologie
Georgi-Dimitroff-Platz 1
Leipzig
DDR - 7010