

Kalkung und Bodenfruchtbarkeit

Jutta Rogasik¹, Paul Kurtinecz², Kerstin Panten¹, Ute Funder¹, Helmut Rogasik³,
Susanne Schroetter¹ und Ewald Schnug¹

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

²Forschungsstation (ARS) Livada, Rumänische Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, 3913 Livada, Rumänien

³Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Eberswalder Straße 84, D-15374 Müncheberg

**Wir werden nur das schützen,
was wir lieben,
aber wir werden nur das lieben,
was wir verstehen,
und wir werden nur das verstehen,
was wir gelernt haben.**

Baba Dinum, Senegal

Zusammenfassung

An Hand von Dauerversuchen in Müncheberg, Braunschweig und Livada (Rumänien) wird der langfristige Einfluss von Kalkung und Düngungsmaßnahmen auf Basensättigung, Bodenreaktion, Gehalt der Böden an organischer Substanz und verwandte Eigenschaften dargestellt.

Kalkung, pH-Wert und Basensättigung

Nach Untersuchungen im Kalkdüngungsversuch in Livada besteht zwischen Kalkdüngereinsatz, pH-Wert und Basensättigung ein enger korrelativer Zusammenhang. Die für den Standort optimale Basensättigung von 70-80% wird mit einer Kalkmenge von 0,8 t ha⁻¹ a⁻¹ CaCO₃ gewährleistet. Der pH-Wert stellt sich dann bei ca. 6,5 ein. Auf sandigen Ackerstandorten mit geringer Pufferkapazität wird mit dem pH-Wert nicht immer die Belegung des Austauschers mit Ca und Mg wiedergegeben. Neben der in der Praxis üblichen Überprüfung der pH-Werte zur Einschätzung des Kalkbedarfes sind Untersuchungen der Kationenbelegung des Sorptionskomplexes notwendig.

Kalkzustand, Nährstoffverfügbarkeit und Ertragshöhe
Niedrige pH-Werte im Boden sind häufig mit eingeschränktem Pflanzenwachstum und dem damit einhergehenden geringen Ertragsniveau verbunden. Die pH-Wirkungen sind allerdings sehr komplex und wirken direkt, aber auch indirekt auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe und somit auf die Ertragsbildung. Ein optimaler pH-Wert muss die Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen gewährleisten, aber auch toxische Wirkungen von Al und Mn ausschließen sowie die Mobilität der Schwermetalle berücksichtigen.

Kalkzustand, organische Bodensubstanz und Bodenstruktur

Unzureichende Kalkzufuhr vermindert die Basensättigung, die Bodenaggregate zerfallen in Grundbe-

standteile mit den Konsequenzen der Verdichtung und Verschlammung des Bodens sowie reduzierter Wasserinfiltration. Anhand langfristiger Beobachtungsreihen wurde auch ein maßgeblicher Einfluss des Humusgehaltes auf die Wasserinfiltration in den Boden nachgewiesen. In der Versuchsvariante „NPK+Kalk+Stalldung“ wurden im Vergleich zur Behandlung „NPK+Kalk“ deutlich höhere Infiltrationsraten gemessen.

Schlüsselwörter: *Basensättigung, Bodenfruchtbarkeit, Dauerversuch, Ertrag, Kalkung, pH*

Summary

Long-term effects of liming and fertilization on base saturation, pH, soil organic matter content and related properties are shown by means of field experiments in Müncheberg, Braunschweig and Livada (Romania).

Liming, pH, and base saturation

According to investigations in the Livada liming experiment a close correlation exists between liming, pH and base saturation. The site-specific base saturation of 70-80 % is achieved by a lime rate of 0.8 t ha⁻¹ a⁻¹ CaCO₃. Under these conditions the pH value was adjusted to 6.5. On sandy soils with a low buffer capacity the pH reflects not always the base saturation with Ca and Mg. In addition to the common estimation of liming requirements by pH measurements, investigations of the cation exchange are necessary to assess the lime demand of soils.

Liming, nutrient availability, and yield

Restricted plant growth and therewith decreasing yield are frequently associated with low pH values of soils. But, the effects of pH on plant growth are very complex with a direct and indirect influence on nutrient availability and yield formation. An optimum pH value should consider the availability of macro

and micro nutrients, but also possible toxic effects of Al and Mn, or the mobility of heavy metals.

Liming, soil organic matter, and soil structure
Insufficient lime rates reduce the base saturation; soil aggregates are breaking down to single-grained structure with the consequence of soil compaction, sealing and reduced water infiltration into the soil. On the basis of long-term observations a relevant influence of soil organic matter on the water infiltration was proved. In the treatment „NPK+lime+farmyard manure“ significantly higher infiltration rates were measured compared to the treatment „NPK+lime“.

Key words: base saturation, liming, long-term experiment, pH, soil fertility, yield

Einleitung

Die Erhaltung der Fruchtbarkeit der Böden auf lange Sicht ist die Hauptaufgabe einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung, denn *SOLUM DIVITIAE SOCIETATIS*.

Diesem Gedanken widmete sich ALBRECHT DANIEL THAER schon 1821. In seinen „Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft“ hob er die Bedeutung des Kalkes für Boden und Pflanze hervor: „...Der Kalk im Boden hat auf die physische Beschaffenheit desselben, wie in der Lehre von der Agronomie gesagt worden ist, einen beträchtlichen Einfluß. Die chemische oder eigentlich düngende Wirkung des Kalkes scheint wieder von zweierlei Art zu sein. Eines Theils wirkt er als ein bloß zersetzendes Mittel auf den Humus, den er auflöst. Anderen Theils aber ist es höchst wahrscheinlich, daß der Kalk auch durch seine Kohlensäure etwas wirke, und durch selbige den Pflanzen wirkliche Nahrung gebe. ...“

Als Hauptnährstoff für Pflanzen ist Calcium unentbehrlich zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Es wirkt einer Bodenversauerung, Strukturverschlechterung und Verarmung des Bodenlebens entgegen.

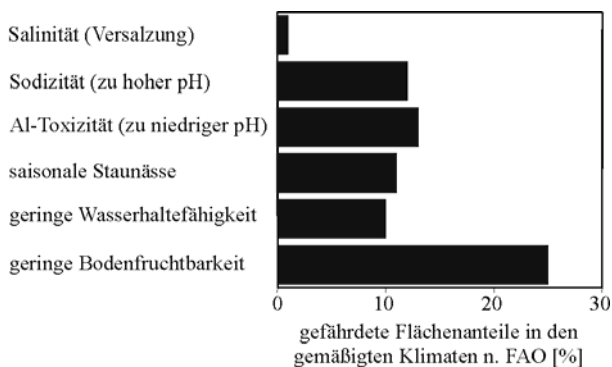


Abb.1: Abschätzung des Anteils gefährdeter Flächen in den gemäßigten Klimaten (Zusammenstellung nach FAO, 1993)

Der Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit ist damit außerordentlich komplex. Unter- bzw. Überversorgung mit Ca sind die Ursache dafür, dass das Ertragspotential auf wesentlichen Flächenanteilen in den gemäßigten Klimaten nicht ausgeschöpft werden kann (Abb. 1). Als integraler Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit beeinflussen Bodenreaktion und Kalkung das Transformations- und Speichervermögen und damit die Nährstoffverfügbarkeit, den Nährstoffvorrat im durchwurzelten Bodenraum, die Nachlieferungsrate und die mikrobiologische Aktivität. Außerdem werden wichtige Gefügeeigenschaften wie die Wasser- und Luftleitfähigkeit sowie Durchwurzelbarkeit des Bodens verändert.

Ziel dieses Beitrages ist es, an Hand von Dauerversuchen in Müncheberg, Braunschweig und Livada (Rumänien), den langfristigen Einfluss von Kalkung und Düngungsmaßnahmen auf Kationenbelegung bzw. Basensättigung, Bodenreaktion, Gehalt der Böden an organischer Substanz und verwandte Eigenschaften darzustellen.

Material und Methoden

Versuchsstandorte und Versuchsbeschreibung

Der Versuchsstandort Müncheberg liegt im kontinental beeinflussten ostdeutschen Binnenlandklima, geprägt durch ausgesprochene Trockenperioden im Frühsommer. Im langjährigen Mittel betragen die durchschnittliche Niederschlagsmenge 511 mm und die mittlere Jahrestemperatur 8,4°C. Der Versuchsstandort Braunschweig liegt im maritim und kontinental beeinflussten Übergangsklima mit 618 mm Niederschlag im langjährigen Mittel und einer mittleren Jahrestemperatur von 8,8°C. Die landwirtschaftliche Forschungsanstalt Livada befindet sich im Nordwesten Rumäniens und wird geomorphologisch der Teiss-Ebene zugeordnet mit 737 mm Jahresniederschlag und einer mittleren Jahrestemperatur von 9,5°C (Tab. 1).

Tab. 1: Beschreibung der Versuchsstandorte

Parameter	Müncheberg	Braunschweig	Livada
Geogra-	52° 30' N;	52° 18' N;	47° 53' N;
phische Lage	14° 8' E	10° 27' E	23° 7' E
FAO-Boden-	Leptic Podzol,	Dystric	Albic
Klassifikation	Luvic und Cambic	Cambisol, Orthic Luvisol	Luvisol
	Arenosol		
Körnungsart	Su2, Sl2	Slu	Ut4
Mittl. Jahres-	8,4°C	8,8°C	9,5°C
temperatur			
Mittl. Jahres-	511 mm	618 mm	737 mm
niederschlag			

Körnungsart entsprechend KA4 (Anonymous, 1995)

Der **Braunschweiger** Nährstoffsteigerungsversuch wurde 1952 auf einer ehemaligen Waldfläche angelegt. Seit 1980 läuft der Versuch mit geringen Änderungen in der jetzigen Form. Der Versuch wird in einer Hackfrucht-Getreide-Rotation ohne Landwechsel geführt. Die organische Düngung erfolgt zu Hackfrüchten. Getreide erhält nur mineralische Düngung (Tab. 2).

Der **Müncheberger** Nährstoffsteigerungsversuch wurde 1962 angelegt. Der Versuch läuft in einer Hackfrucht-Getreide-Rotation ohne Landwechsel. Auch hier wird zu Hackfrüchten organisch gedüngt, Getreide erhält nur mineralische Düngung (Tab. 2).

In **Livada** läuft seit 1961 ein **Dauerkalkungsversuch** ohne Landwechsel in einer Hackfrucht-Getreide-Rotation. Die Kalkung variiert in der Menge und zeitlichen Abfolge (Tab. 3).

Die experimentelle Prüfung der Kalkung erfolgt in Kombination mit unterschiedlichen Düngungsintensitäten.

Bemerkenswert an allen drei Dauerversuchen ist, dass über fast ein halbes Jahrhundert hinweg die Bewirtschaftungskombinationen nahezu unverändert beibehalten wurden. Zusätzlich zu den beschriebenen Dauerversuchen werden Sekundärauswertungen von Versuchs-ergebnissen aus einer Serie von Einzelversuchen zur Beurteilung des Einflusses der Kalkung auf die Bodenfruchtbarkeit genutzt. Mit Hilfe eines mehrstufigen Stichprobenverfahrens, bei dem die Stichprobenelemente stufenweise aus einer Grundgesamtheit entnommen werden, erhält man erwartungstreue Schätzungen.

Tab. 2: Versuchsdesign in Müncheberg und Braunschweig

Prüffaktoren	organische Düngung ^a [t ha ⁻¹ a ⁻¹ TM]	Müncheberg					Braunschweig		
		mineralische N-Düngung ^b [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]					N1	N2	N3
		N1	N2	N3	N4	N5			
ungedüngt									
NPK	0	50	86	115	153	189	65	130	165
NPK + Stm 1	1,2	32	68	114	138	169	0	65	130
NPK + Stm 2	3,2	8	50	75	115	147	(0) ^c	0	65
NPK + Stroh	2,0	60	96	132	157	187	65	130	

^a zur Hackfrucht; ^b Mittel der Fruchtfolge; ^c ausschließlich organische Düngung; Stm = Stallmist

Tab. 3: Versuchsdesign in Livada

Prüffaktoren	organische Düngung ^a [t ha ⁻¹ a ⁻¹ Stm]	Livada							
		NPK Düngung [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]			Kalkung [t ha ⁻¹ CaCO ₃] ^b				
		N	P	K	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5
ungedüngt	0	0	0	0	0	10	20	30	60
N	0	100	0	0	0	10	20	30	60
P	0	0	30	0	0	10	20	30	60
NP	0	100	30	0	0	10	20	30	60
NPK	0	100	30	50	0	10	20	30	60
NPK	0	150	45	75	0	10	20	30	60
Stm	20	0	0	0	0	10	20	30	60
NPK + Stm	20	100	30	50	0	10	20	30	60

^a Stallmist (Stm) zur Hackfrucht; ^b kumulative Ca-Düngung als CaCO₃ (1961-2002)
Ca2: 2 x 5 t ha⁻¹, Ca3: 2 x 10 t ha⁻¹, Ca4: 6 x 5 t ha⁻¹, Ca5: 6 x 10 t ha⁻¹

Ergebnisse und Diskussion

Kalkung, pH-Wert und Basensättigung

Nach Untersuchungen im Kalkdüngungsversuch in Livada besteht zwischen Kalkdüngereinsatz, pH-Wert und Basensättigung ein enger korrelativer Zusammenhang.

Die für den Standort optimale Basensättigung von 70-80% wird mit einer Kalkmenge von 0,8 t ha⁻¹ a⁻¹

CaCO₃ gewährleistet. Der pH-Wert stellt sich dann bei ca. 6,5 ein (Abb. 2). Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf den Umstand, dass die pH-Werte in Livada in Wasser gemessen wurden und damit im Mittel um 0,5 Einheiten höher liegen als die pH-Werte, die auf den Standorten in Braunschweig und Müncheberg in 0,01M CaCl₂-Lösung gemessen wurden (Finck, 1978). Die Ergebnisse bestätigen die

von zahlreichen Autoren dokumentierte chemische Wirkung des Kalkes. Diese wird durch den Zusammenhang zwischen dem pH-Wert als Maß für den Kalkversorgungszustand und der Verfügbarkeit der Nährstoffe dokumentiert (Schaffer, 1969; Huettl & Zoettl, 1993; Goulding & Blake, 1998; Blake et al., 1999; Matula & Pechova, 2002). Neben der in der Praxis seit Jahrzehnten üblichen Überprüfung der pH-Werte zur Einschätzung des Kalkbedarfes sind Untersuchungen der Kationenbelegung des

Sorptionskomplexes notwendig. Das ist wichtig, da der pH-Wert nicht immer mit einer optimalen Belegung des Austauschers mit Ca und Mg übereinstimmt. Das trifft vor allem für sandige Ackerstandorte mit geringer Pufferkapazität zu. Die deutliche Differenzierung in der Ca^{2+} -Belegung am Austauscher wird im Dauerversuch Müncheberg, wie hier ausgewählte Proben zeigen, durch die pH-Werte nur unzureichend repräsentiert (Tab. 4).

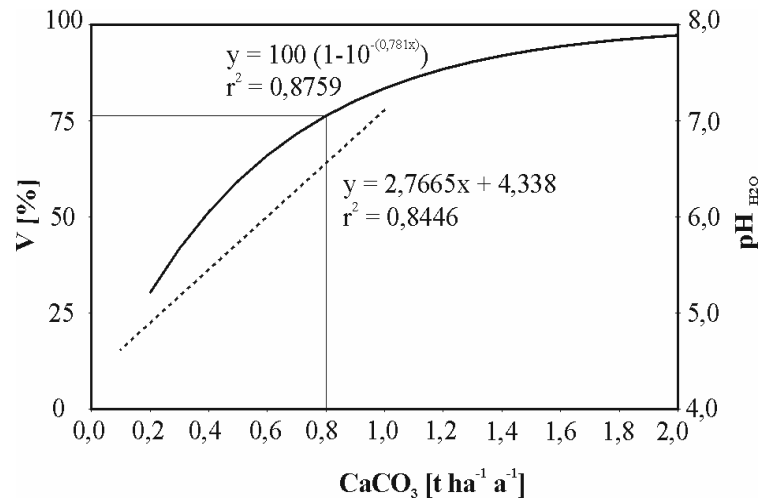


Abb. 2: Einfluss der Höhe der Kalkdüngung auf pH-Wert (.....) und Basensättigung (V) (—) im Dauerkalkungsversuch Livada (1961-2001, n = 138)

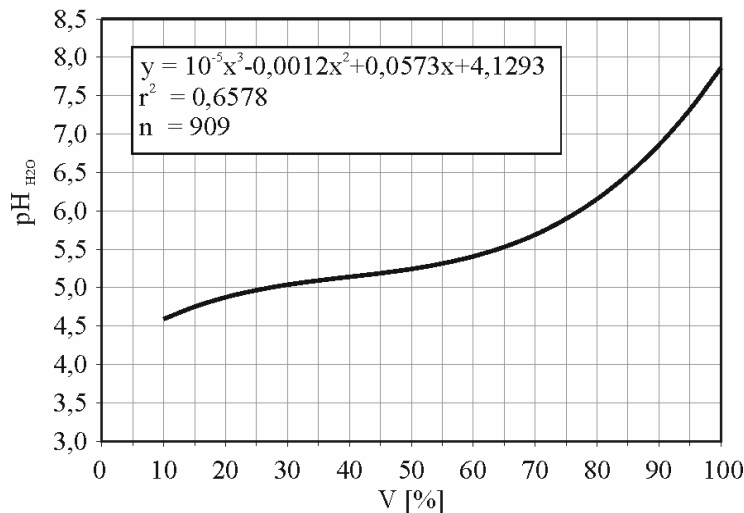


Abb. 3: Beziehungen zwischen Basensättigung und pH-Wert (Dauerkalkungsversuch Livada)

Die Funktionalität zwischen Basensättigung der Böden und dem pH-Wert ist im Bereich < 70 % für die Basensättigung auf dem Standort Livada sehr gering ausgeprägt, während bei Werten > 75 % eine

starke, nahezu lineare Abhängigkeit zum pH-Wert besteht (Abb. 3).

Tab. 4: Kationenbelegung und pH-Wert im Dauerversuch Müncheberg

Probe	H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	pH
[meq kg ⁻¹ Boden]						
1	0,1	32,4	3,1	3,5	1,3	6,0
2	0,1	22,9	2,6	3,2	9,3	5,6
3	0,1	44,8	4,8	4,6	0,1	5,8
4	14,0	26,2	2,9	3,8	0,1	5,7
5	0,1	25,7	3,1	3,4	0,1	6,0

Die Ergebnisse des Dauerkalkungsversuches in Livada belegen eindeutig, dass Kationen-Nährstoffbilanzen notwendig sind. Sie gewährleisten, dass die nachfolgend aufgeführten Schwerpunkte bei der Düngerbemessung Berücksichtigung finden:

- Ersatz ausgewaschener Kationen (Ca, Mg), d. h. Ausgleich von bis zu 300 kg ha⁻¹ a⁻¹ Ca durch regelmäßige Kalkung!
- Erkennung von induziertem Mg-Mangel bei K-Überschuss (Weidetetanie!)
- Behinderung der Ca²⁺-Aufnahme bei hoher K⁺, Na⁺- bzw. NH₄⁺-Sättigung - Beeinträchtigung des Wurzelwachstums vor Sichtbarwerden der Ca-Mangelsymptome
- Reduzierung der Ca-induzierten Resistenz von Pflanzen gegenüber Krankheiten bei hoher K⁺-Sättigung (Ca aktiviert Abwehrgene und die Biosynthese von Phytoalexin und β -Thujaplicin)
- Zerstörung der Bodengare bei \sum Kationen (K⁺, Na⁺, NH₄⁺) > 15% am Bodenaustauscher.

Kationenbilanzen sind immer standortspezifisch zu bewerten, da sie eine Funktion von Bodenart und angebauter Fruchtart sind. Eine grobe Einschätzung der Kationenbelegung für sandige Ackerstandorte mit einer KAK < 50 meq kg⁻¹ sowie für lehmige mit einer KAK > 100 meq kg⁻¹ kann aus zahlreichen Literaturangaben abgeleitet werden (Tab. 5).

Tab. 5: Häufige Kationenbelegung der Bodenaustauscher

Substrat	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	KAK
[%]						[meq kg ⁻¹]
sandig	60-	15-	6-	< 3	10-	< 50
	65	20	8		15	
lehmig	70-	10-	2-	< 1	10-	> 100
	80	15	5		15	

Quellen:

<http://www.vabf.org/soilre1.php>; <http://www.vabf.org/soilre2.php>;
http://www.umassvegetable.org/soil_crop_pest_mgt/soil_nutrient

Kalkzustand, Nährstoffverfügbarkeit und Ertragshöhe

Der optimale Kalkzustand aus der Sicht der Nährstoffverfügbarkeit erfordert, neben der

Beurteilung der Kationenbelegung, die Einstellung optimaler pH-Werte. Niedrige pH-Werte im Boden sind häufig mit eingeschränktem Pflanzenwachstum und geringem Ertragsniveau verbunden. Die pH-Wirkungen sind allerdings sehr komplex und wirken direkt, aber auch indirekt auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe und somit auf die Ertragsbildung (Haby, 2002; Makela-Kurto & Sippola, 2002; Schnug, 1982). Schlechtes Wurzelwachstum und verminderte Aufnahme der Kationen (besonders Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) werden oft beobachtet (Magdorff & Barlett, 1980; Kopec & Mazur, 1999; Brauer et al., 2002; Meiwes et al., 2002; Mora et al., 2002; Summer & Yamada, 2002).

Untersuchungen im Braunschweiger und Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch zeigen deutlich den Einfluss des Düngungsmanagements auf Ertragshöhe, pH-Wert und C_{org}-Gehalt im Boden (Abb. 4 und 5). Die mineralische N-Düngung wirkt signifikant ertragssteigernd auf die Ertragshöhe bis zum N-Optimum. Organische Düngung erhöht primär den Humusgehalt des Bodens, während die Kombinationswirkung eine gegenläufige Tendenz für den pH-Wert erkennen lässt. Ansteigende Humusgehalte sind oft mit sinkenden pH-Werten verbunden. Besonders deutlich wird dieser Effekt auf dem sandigen Versuchsstandort Müncheberg mit geringer Pufferkapazität. Eine Gruppierung des Datenmaterials aus langjährigen Nährstoffsteigerungsversuchen nach vorgegebenen Klassengrenzen der Bodenmerkmale zeigt, dass Nährstoffmangel im Boden erhebliche Ertragsminderungen zur Folge haben kann (Abb. 6 und 7). Wie die Ergebnisse in Müncheberg zeigen, führt eine pH-Anhebung bis zum Optimum (pH 5,8-6,3) auf sandigen Ackerstandorten zu einem sichtbaren Ertragsanstieg. Versuchspartellen mit niedrigen pH-Werten (pH < 5,0) wiesen in dieser Versuchsauswertung außerdem minimale Humusgehalte sowie geringe Ton- und Schluffgehalte auf.

In einem Polarkoordinatendiagramm (Abb. 7) werden die multiplen Beziehungen zwischen Bodenparametern und Ertragshöhe von Winterweizen demonstriert. Die dargestellten Ergebnisse belegen, dass komplexe Wirkungsmechanismen die Ertragshöhe beeinflussen. Geringe Nährstoffdefizite im Boden können kompensiert werden, „nutrient mining“ führt allerdings zu drastischen Ertragsverlusten infolge der Abnahme der Bodenfruchtbarkeit. Erst durch ein optimales Zusammenwirken der Bodenparameter werden hohe Erträge realisiert.

Die Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen, Änderungen der Mobilität von Schwermetallen und dadurch auftretende toxische Effekte, insbesondere

von Al und Mn, müssen bei der Optimierung des Boden-pH-Wertes berücksichtigt werden.

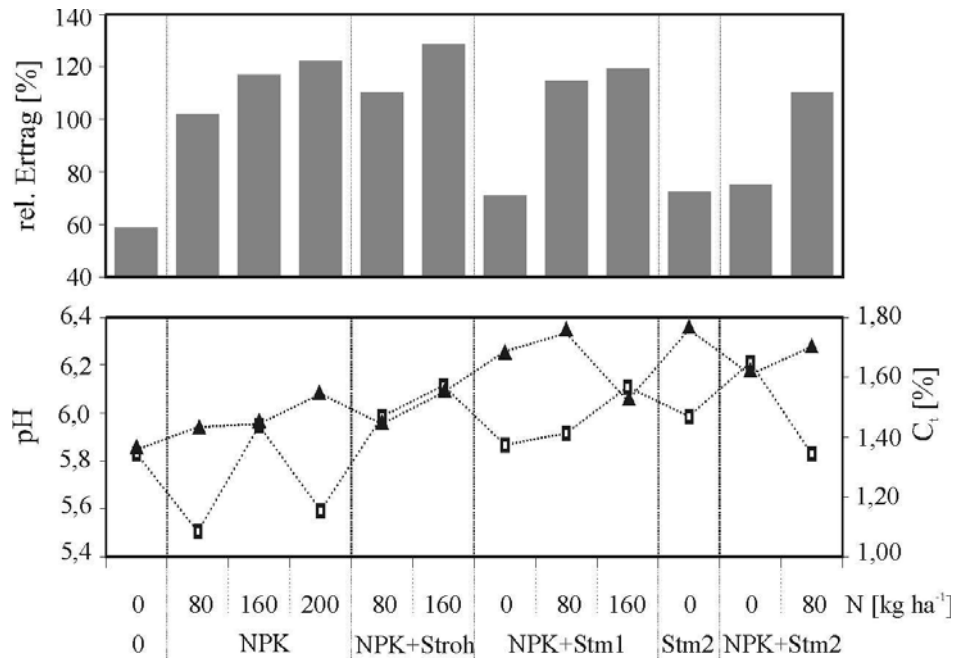


Abb. 4: C₁-Gehalte (▲) und pH-Werte (□) im Oberboden sowie relative Ertragshöhe (Mittel 2002-2004) im Dauerdüngungsversuch Braunschweig (Bodenprobenahme 2003)

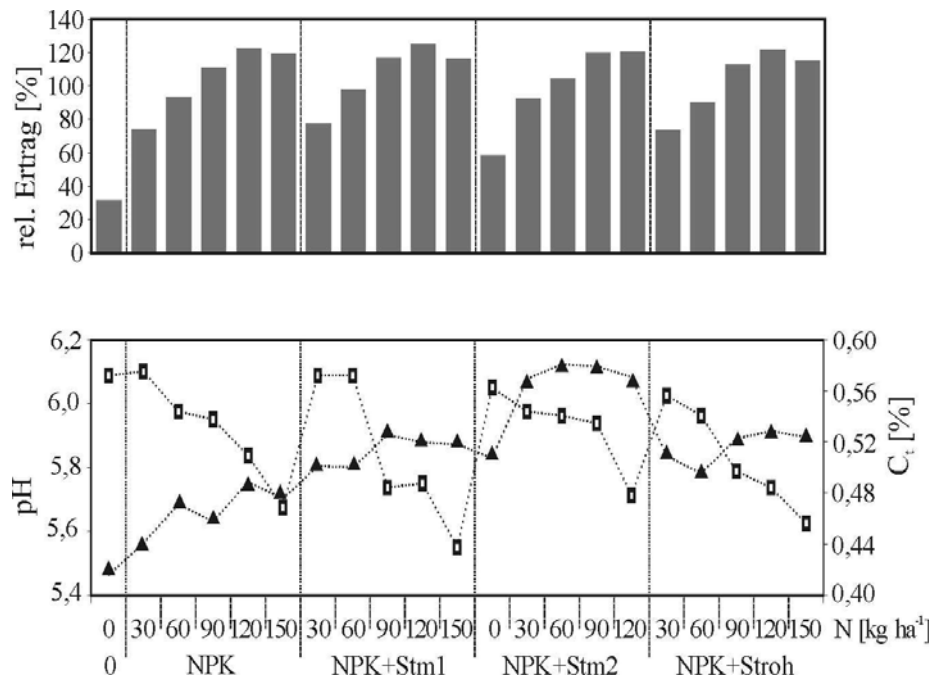


Abb. 5: C₁-Gehalte (▲) und pH-Werte (□) im Oberboden sowie relative Ertragshöhe (Mittel 1996-1998) im Dauerdüngungsversuch Müncheberg (Bodenprobenahme 1998)

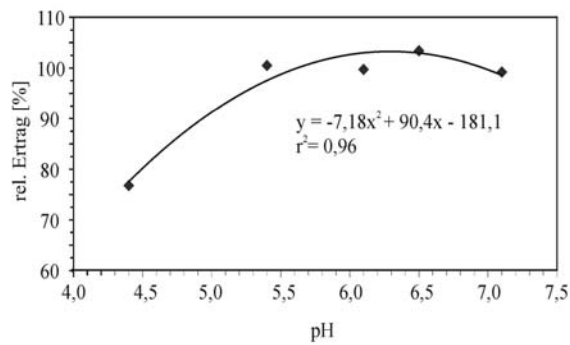


Abb. 6: Beziehungen zwischen pH-Wert und relativem Ertragsniveau bei Getreide (Sekundärauswertung von Dauerversuchen in Müncheberg, Klassifizierung des Datenmaterials mit n = 1229)

Nach mehr als 40 Versuchsjahren ist im Dauerkalkungsversuch Livada der Einfluss der Kalkung auf die P- und Mo-Konzentration in Winterweizen deutlich sichtbar.

Die Verfügbarkeit von P und Mo für ein optimales Pflanzenwachstum ist eine Funktion von verabreichter Kalkmenge und Boden-pH (Tab. 6).

Für die ökologischen Auswirkungen von Schwermetallgehalten in Böden sind pH-Wert sowie Konzentration und Spezifizierung der Schwermetalle in der Bodenlösung von Bedeutung, da damit sowohl die Mobilität als auch die Pflanzenverfügbarkeit eng korrelieren.

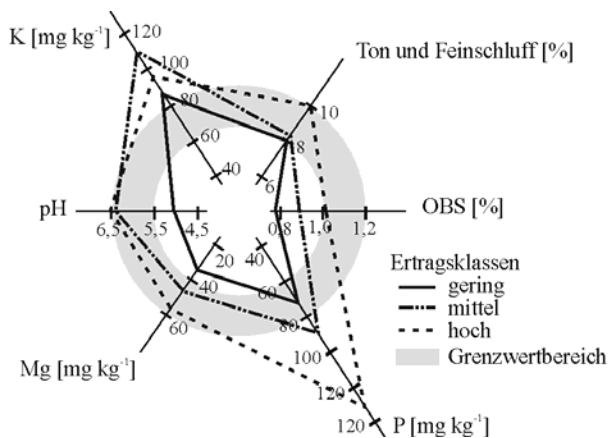


Abb. 7: Konstellation von Bodenfruchtbarkeitskennziffern innerhalb von Ertragsklassen für Winterweizen auf Braunerde (Nährstoffsteigerungsversuch Müncheberg)

Zum gleichen Ergebnis kamen auch Edmeades et al. (1983) in Kalkungsversuchen auf Grünland. Die beginnende Mobilisierung verschiedener Metalle wird wie folgt angegeben (zusammengefasst nach Schimming, 1990; Blake & Goulding, 2002):

Element	Cd	Mn, Zn	Ni, Co	Cu	As, Cr ^{III}	Pb, Hg
pH	6,5	6 - 5,5	5,5	4,5	4,5 - 4	4

Kalke sind aber auch Quellen für Schwermetalle, wie Untersuchungen von Kurtinecz (2004) belegen (Abb. 8). Steigende Zufuhr von Kalk (CaCO₃) erhöhte im Untersuchungszeitraum nicht nur die Ca-Gehalte und pH-Werte im Boden, sondern auch die Strontium (Sr)-Gehalte.

Tab. 6: Einfluss langjähriger Kalkung auf Boden-pH sowie P- und Mo-Gehalte von Winterweizen (Albic Luvisol, Livada, 2001 zur Bestockung)

	Kalkdüngung [t ha ⁻¹ a ⁻¹ CaCO ₃]				
	0	0,25	0,50	0,75	1,50
pH	4,6	5,6	6,5	6,8	7,4
P [%]	0,27	0,39	0,45	0,47	0,52
Mo [ppm]	0,14	0,28	0,61	0,63	0,77

Kalkzustand, organische Bodensubstanz und Bodenstruktur

Kalkung ist, neben der ausreichenden Versorgung der Böden mit organischer Substanz, eine der Schlüsselmaßnahmen landwirtschaftlicher Produktion zum Schutz der Bodenstruktur.

Bei unzureichender Kalkzufuhr vermindert sich die Basensättigung, Ca²⁺ und Mg²⁺ werden am Bodenaustauscher durch H⁺ und Al³⁺ ersetzt (Schachtschabel et al., 1989). Durch die Peptisation zerfallen die Strukturelemente (Aggregate) in ihre Grundbestandteile, d.h. Aggregatgefügeformen gehen in Einzelkornstruktur über. Konsequenzen sind Verdichtung und Verschlämzung des Bodens. Die durch Kalkung verbesserte Belegung der Bodenaustauscher mit Ca²⁺ und Mg²⁺ (Basensättigung) führt zur Erhöhung der Stabilität der Bodenaggregate (Bohne, 1991). Dichtlagernde Bodenteilchen flocken bei Kalkdüngergaben aus und tragen so zur Erhöhung der Wasserinfiltration bei (Schnug & Haneklaus, 2002; Schnug et al., 2004). Die Strukturverbesserung des Bodens bewirkt, dass die Ackerflächen im Frühjahr schneller abtrocknen und der Boden sich auf Grund des vergrößerten Porenvolumens schneller erwärmt. Für die Ausbildung einer guten Bodenstruktur sind komplexe Wirkungsmechanismen verantwortlich, die nur im Rahmen nachhaltiger Landnutzungs- und Bodenbewirtschaftungssysteme realisiert werden können. Nur ein Bodengefüge mit optimalen Regulationsfunktionen (Transport, Transformation, Speicherung) wird der Forderung nach Erhaltung der Ackerflächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand gerecht.

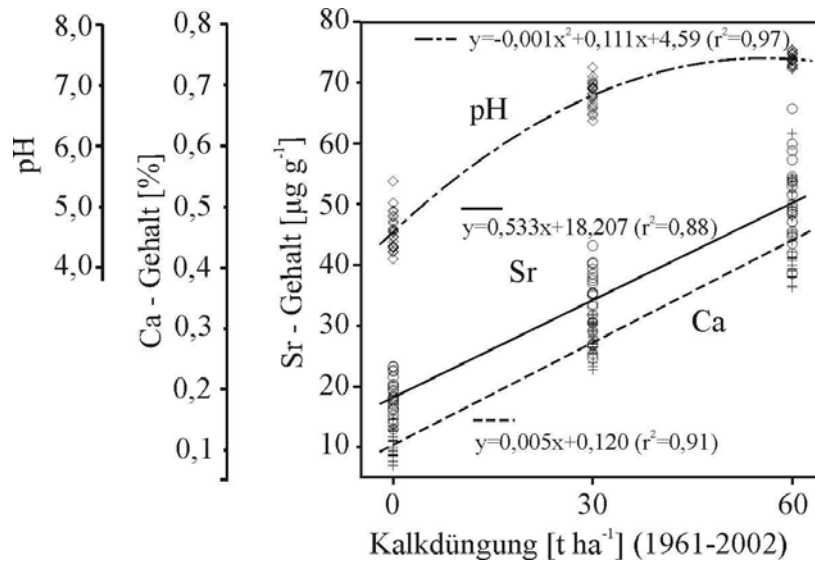


Abb. 8: Einfluss der Kalkung (kumulativ 1961-2002) auf pH-Wert sowie Sr- und Ca-Gehalte im Oberboden (Dauerkalkungsversuch Livada, Albic Luvisol)

Röntgen-computertomographische Untersuchungen einer mit dem Standort Müncheberg vergleichbaren Sand-Braunerde (SI3) (Abb. 9a) zeigen ein relativ dicht gelagertes Bodengefüge; die mittlere Lagerungsdichte beträgt $1,58 \text{ g cm}^{-3}$. Die Bodenprobe ist durch einen hohen Skelettgehalt (Steine, Kieskörner) gekennzeichnet, erkennbar als weiße Objekte in den Röntgenschnittbildern. Das Bodengefüge ist durch eine intensive Regenwurmtätigkeit geprägt; die Regenwurmgänge

sind dominierend vertikal ausgeprägt und als schwarze Strukturen in den Röntgenschnittbildern sowie in der 3D-Visualisation zu erkennen. Parallele Untersuchungen auf Löß-Parabraunerde (Ut3) (Abb. 9b) zeigen ein locker gelagertes Polyedergefüge mit einer mittleren Lagerungsdichte von $1,27 \text{ g cm}^{-3}$. Deutlich sind Aggregate unterschiedlicher Größenordnung, verantwortlich für die Stabilität des Bodengefüges, zu identifizieren (hellere Graustufen im Röntgenschnittbild).

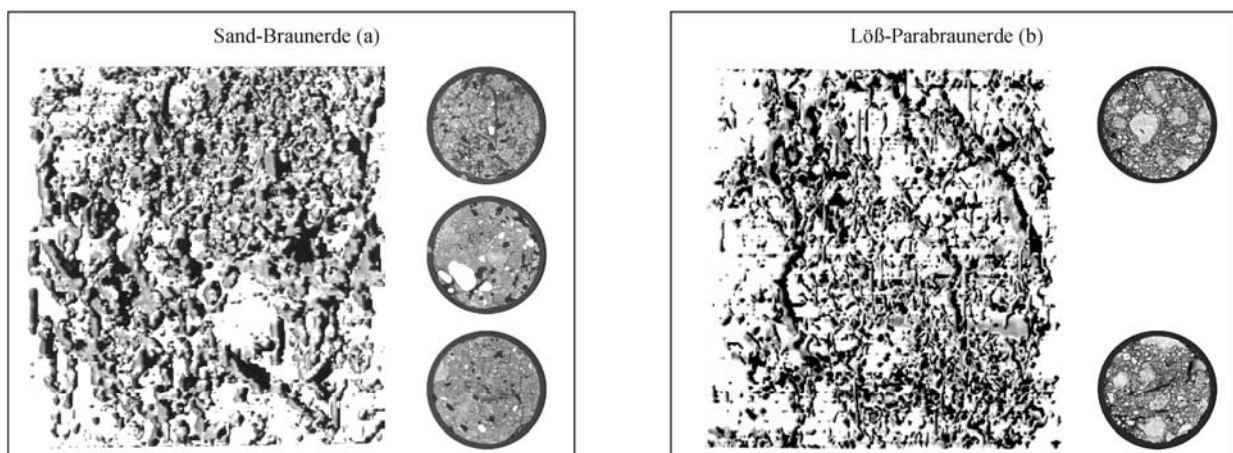


Abb. 9: 3D-Visualisation des Makroporensystems im Ap-Horizont einer Sand-Braunerde (a) und Löß-Parabraunerde (b), ergänzt durch ausgewählte Horizontalscheiben (Röntgenschnittbilder) zur Gefügebeurteilung (stehende Bodensäulen)

Das vertikal-kontinuierliche Makroporensystem, erkennbar in der 3D-Visualisation, ist eine Folge intensiver Regenwurmtätigkeit (Rogasik et al., 1994). Aufgrund der hohen Kontinuität und Konnektivität

des vertikalen Porensystems (Bioporen) ist ein hohes Infiltrationspotential gegeben.

Dem Wechselspiel von mikrobieller Biomasse, Humusgehalt, Aggregatbildung und Kalkung kommt

bei der Ausbildung optimaler Regulationsfunktionen im Boden eine entscheidende Bedeutung zu (Motta et al., 2002; Nohrstedt, 2002; Jongmans et al., 2003; Balabane, 2004). Es ist hinreichend bekannt, dass Kalkung die Netto-Mineralisation (Umsetzung von organischer Bodensubstanz) erhöht, aber auch wichtige Aggregatbildungsprozesse fördert. Anhand langfristiger Beobachtungsreihen in Livada konnte nachgewiesen werden, dass die Wasser-

infiltration in den Boden maßgeblich vom Gehalt des Bodens an organischer Substanz beeinflusst wird (Schnug & Haneklaus, 2002; Rogasik et al., 2001, 2004; Schnug et al., 2004). In der Versuchsvariante „NPK+Kalk+Stalldung“ wurden im Vergleich zu „NPK+Kalk“ deutlich höhere Infiltrationsraten gemessen (Abb. 10).

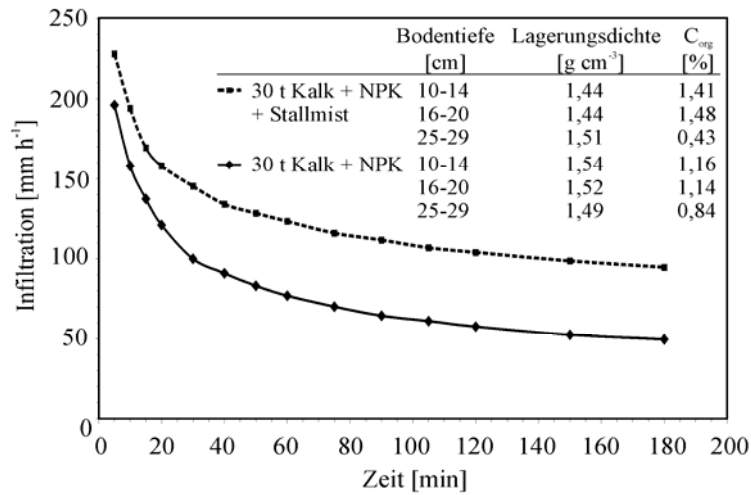


Abb. 10: Einfluss unterschiedlicher Düngungsmaßnahmen auf die Wasserinfiltration in das Bodenprofil (Dauerkalkungsversuch Livada, Albic Luvisol, September 2003)

Die anhand von Stechzylindern gemessenen geringeren Lagerungsdichten und höheren C_{org}-Gehalte im Versuchsprüfglied mit zusätzlicher Stalldungdüngung lassen darauf schließen, dass

aktivierte physiko-chemische Prozesse sowie eine hohe Regenwurmpopulation Porensysteme mit hoher Wegsamkeit in diesem Versuchsglied garantieren.

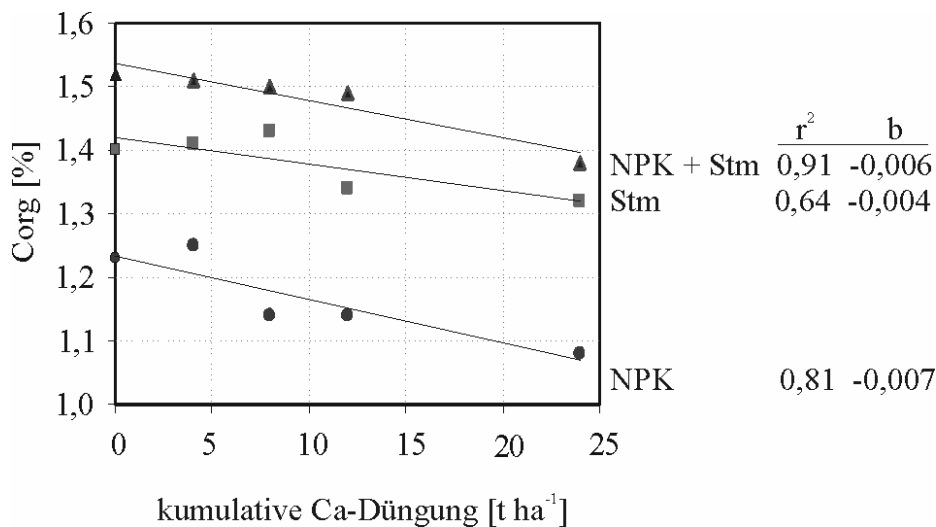


Abb. 11: Einfluß der Kalkung (kumulativ 1961-2002) auf den Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff (Dauerkalkungsversuch Livada)

Die Untersuchungen zur Dynamik der C_{org} -Entwicklung in Abhängigkeit von der Kalkdüngung zeigen, dass besonders bei ausschließlicher NPK-Düngung hohe Kalkdüngergaben ein Absinken der Humusvorräte verursachen (Abb. 11).

Das agronomische Management muss diesen Sachverhalt unbedingt berücksichtigen. Im Vergleich zu alleiniger Mineraldüngung werden in Versuchspartzen mit Stalldungdüngung ansteigende Kalkmengen gemäß Thaer „als ein zersetzendes Mittel auf den Humus“ - deutlich besser abgepuffert.

Schlussfolgerungen

- Als Transformator und Speicher für Pflanzennährstoffe kommt dem Boden große Bedeutung zu. Mit dem Einstellen und der Gewährleistung von optimalen Bedingungen für Nährstoffe und Bodenazidität werden wichtige Forderungen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit erfüllt und wesentliche Voraussetzungen für hohe Erträge geschaffen.
- Der Nährstoff „Ca“ ist von entscheidender Bedeutung für Pflanzenernährung und Bodenfruchtbarkeit. Ausgewaschene Ca-Ionen müssen ersetzt werden, deshalb sind Kationen-Nährstoffbilanzen zukünftig dringend notwendig. Dennoch ist der pH-Wert einer der wichtigsten und am häufigsten verfügbaren Kenngrößen des Bodens.
- Kalkung ist ein wesentlicher Faktor zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur. Über die Infiltration geht die Bedeutung der Bodenstruktur weit über landwirtschaftliche Bereiche hinaus (schleichende Versiegelung der Ackerflächen).
- Die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch sachgerechte Kalkung ist eine Hauptaufgabe nachhaltiger landwirtschaftlicher Bodennutzung, aber auch ein wichtiger gesellschaftlicher Beitrag, denn „*Solum Divitiae Societatis*“.

Literatur

- Anonymous** (1995) Bodenkundliche Kartieranleitung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter. 4. Auflage. 392 Seiten, ISBN 3-510-95804-7
- Balabane M, Plante AF** (2004) Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation techniques. *European Journal of Soil Science* 55: 415-427
- Blake L, Goulding KWT** (2002) Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted Experimental Station, UK. *Plant Soil* 240: 235-251
- Blake L, Goulding KWT, Mott CJB, Johnston AE** (1999) Changes in soil chemistry accompanying over

more than 100 years under woodland and grass in Rothamsted Experimental Station, UK. *Eur J Soil Sci* 50: 401-412

Bohne H (1991) Stabilität des Bodengefüges unter Einfluss der Bodennutzung -Voraussetzungen, Anforderungen, Möglichkeiten. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 204, Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 2 Bodengefüge, 43-54.

Brauer D, Ritchey D, Belesky D (2002) Effects of lime and calcium on root development and nodulation of clovers. *Crop Sci* 42: 1640-1646

Edmeades DC, Smart CE, Wheeler DM, Rys G (1983) Effects of lime on the chemical composition of ryegrass. *New Zealand J of Agric Res* 26: 473-481

FAO (1993) World soil resources – an explanatory note on the FAO world soil resources map. World soil resources reports, 66 rev.1, 64 pp

Finck A (1978) Pflanzenernährung in Stichworten. Hirt Verlag, Kiel

Goulding KWT, Blake L (1998) Land use, liming and the mobilization of potentially toxic metals. *Agric Ecosyst Environ* 67: 135-144

Haby VA (2002) Soil fertility and management of acid Coastal Plain soils for crop production. *Commun Soil Sci Plant Anal* 33: 2497-2520

Howell J (2002) Soil Basics: Part II, Chemical Properties of Soil: http://www.umassvegetable.org/soil_crop_pest_mgt/soil_nutrient_mgt/soil_basics/index2.html

Huettl RF, Zoetl HW (1993) Liming as a mitigation tool in Germany declining forests. *For Ecol Manage* 61: 325-338

Jongmans AG, Pulleman MM, Balabane M, Oort F van, Marinissen JCV (2003) Soil structure and characteristics of organic matter in two orchards differing in earthworm activity. *Applied Soil Ecology* 24: 219-232

Kopec M, Mazur K (1999) The effect of fertilization and liming on the element composition in meadow sward. *Rostl Vyroba* 45: 101-106

Kurtinecz (2004) unveröffentlichtes Arbeitsmaterial

Magdoff FR, Bartlett RJ (1980) Effect of liming acid soils on potassium availability. *Soil Sci* 129, 1: 12-14

Makela-Kurtto R, Sippola J (2002) Monitoring of Finish arable land: changes in soil quality between 1987 and 1998. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 273-284

Matula J, Pechova M (2002) A simplified approach to liming and its evaluation. *Commun Soil Sci Plant Anal* 33: 2989-3006

Meiwes KJ, Mindrup M, Khanna PK (2002) Retention of Ca and Mg in the forest floor of a spruce

stand after application of various liming materials. For Ecol Manage 159: 27-36

Mora ML, Cartes P, Demanet R, Cronforth IS (2002) Effects of lime and gypsum on pasture growth and composition on an acid Andisol in Chile, South America. Commun Soil Sci Plant Anal 33: 2069-2081

Motta ACV, Reeves DW, Thoughton JT (2002) Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soil. Commun Soil Sci Plant Anal 33: 913-932

Nohrstedt HO (2002) Effects of liming and fertilization (N, PK) on chemistry and nitrogen turnover acid forest soils in SW Sweden. Water Air and Soil Pollut 139: 343-354

Rogasik H, Joschko M, Brunotte J (1994) Nutzung der Röntgencomputertomographie zum Nachweis von Gefügeveränderungen durch Mulchsaat. Mitt Dtsch Bodenkundl Ges 73: 111-114

Rogasik J, Panten K, Schnug E, Rogasik H (2004) Infiltration Management Factors. Encyclopedia of Soil Science
<http://www.dekker.com/servlet/product/productid/E-ESS>

Rogasik J, Schroetter S, Schnug E, Kundler P (2001) Langzeiteffekte ackerbaulicher Maßnahmen auf die Bodenfruchtbarkeit. Arch. Acker- Pfl. Boden., 47: 3-17

Schachtschabel P, Blume HP, Brümmer G, Hartge KH, Schwertmann U (1989) Lehrbuch der Bodenkunde, 12. bearbeitete Auflage, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 491 pp

Schaffer G (1969) Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften. Z Kulturtechn u Flurberei 10: 301-312

Schimming CG (1990) Belastung mit Metallen. In: Blume HP (ed.) Handbuch des Bodenschutzes. 258-298

Schnug E (1982) Untersuchungen zum Einfluss bodenversauernder Düngung auf die Spurennährstoff-Versorgung von Kulturpflanzen. Diss. Agrarwiss. Fak., Univ. Kiel.

Schnug E, Haneklaus S (2002) Landwirtschaftliche Produktionstechniken und Infiltration von Böden: Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. Landbauforsch Völkenrode 52, 4: 197-203

Schnug E, Rogasik J, Panten K, Paulsen HM, Haneklaus S (2004) Vorbeugender Hochwasserschutz – Ökologischer Landbau erhöht die Versickerungsleistung von Böden. Ökologie & Landbau 132, 4: 53-55

Schonbeck M (2002) Soil cation nutrient balancing in sustainable agriculture.

<http://www.vabf.org/soilre1.php>

Schonbeck M (2002) Does my soil need cation nutrient balancing?

<http://www.vabf.org/soilre2.php>

Sumner ME, Yamada T (2002) Farming with acidity. Commun Soil Sci Plant Anal 33: 2467-2496

