

EFFEKT VON KALKUNGSMAßNAHMEN AUF DIE STRUKTURSTABILISIERUNG UND MIKROBIOLOGIE VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN BÖDEN

Evi Deltedesco¹, Lisa-Maria Bauer², Hans Unterfrauner³, Robert Peticzka², Franz Zehetner¹, Katharina M. Keiblinger¹

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Institut für Bodenforschung

² Universität Wien, Department für Geographie und Regionalforschung

³ Technisches Büro für Landschaftsökologie, Landschaftsplanung und Landschaftspflege, Wien

Zusammenfassung

Hohe mechanische Belastung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kann sich negativ auf die Bodenstruktur auswirken. Ein vielversprechender Ansatz zur Stabilisierung der Struktur und zur Verbesserung der Wasser- und Luftdurchlässigkeit ist der Zusatz von mehrwertigen Ionen wie Ca^{2+} , die beispielsweise in Form von Branntkalk (CaO) und fein vermahlenem Kalksteinmehl (CaCO_3) zugesetzt werden können. Allerdings kann die Branntkalk-Zugabe zu einem stark alkalischen pH-Wert im Boden führen, was die Bodenmikrobiologie beeinträchtigen könnte.

In dieser Studie wurde ein Glashausversuch angesetzt, um die Auswirkung der beiden oben genannten Kalkarten auf die Aggregatstabilität, sowie bodenchemische und mikrobielle Parameter im Zeitverlauf zu testen. Es wurden schluffig-tonige Böden aus drei verschiedenen Standorten Österreichs mit und ohne Kalk für 3 Monate inkubiert (Applikationsrate von 2000 kg ha^{-1}). Die Bodenproben im Glashaus wurden 2, 30 und 86 Tage nach der Aufbringung genommen, um kurzfristige und mittelfristige Auswirkungen von Branntkalk und Kalkstein zu ermitteln.

Die Aufbringung von Branntkalk bewirkte einen sofortigen starken Anstieg der Aggregatstabilität, welcher über den Versuchszeitraum von drei Monaten bestehen blieb. Im Gegensatz dazu führte die Kalkstein-Applikation zu keinen signifikanten Veränderungen der Aggregatstabilität. Die Aufbringung von Branntkalk bewirkte einen unmittelbaren starken Anstieg des pH-Werts (um etwa 3 Einheiten) sowie des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC). Bereits nach der zweiten Probenahme (1 Monat) zeigten die Böden mit Branntkalk-Applikation ähnliche pH-Werte wie die Böden die mit Kalksteinmehl versetzt wurden. Die DOC-Werte reduzierten sich kontinuierlich während der Inkubationszeit. Die mikrobielle Biomasse nahm unmittelbar nach der Branntkalk-Aufbringung ab, stieg jedoch im Laufe des Versuches wieder auf das Niveau der Referenzprobe an. Kalksteinmehl hatte kaum Auswirkungen auf die mikrobielle Biomasse. Zusammenfassend zeigen unsere Ergebnisse, dass die Anwendung von Branntkalk eine effektive Maßnahme für die sofortige Strukturstabilisierung ist, und nur kurzfristige Auswirkungen auf bodenchemische und mikrobielle Parameter hat.

Abstract

The high input of mechanical energy in common agricultural practice can negatively affect soil structure. A promising approach to stabilize the structure and improve the water- and air permeability, is the addition of polyvalent ions like Ca^{2+} which can be added for example in the form of quicklime (CaO) and limestone (CaCO_3). However, the application of quicklime may raise soil pH into the strongly alkaline range, which may, in turn, affect soil microbiology.

In this study, we conducted a greenhouse pot experiment using the two above-mentioned sources of calcium ions in order to examine the effects of these amendments on soil aggregate stability as well as soil chemical and microbial parameters over time. Silty and clayey soils from three different locations in Austria were sampled and incubated with and without the liming materials (application rate 2000 kg ha⁻¹) for 3 months. Soil samples were taken 2, 30 and 86 days after the application of quicklime and limestone to assess short-term and medium-term effects.

Quicklime strongly increased aggregate stability already 2 days after application with effects persisting over the entire 3-months study period. Conversely, limestone did not cause any significant changes in aggregate stability. Initially, soil pH and DOC were strongly increased by quicklime; however, after the second sampling (30 days), the pH values of the soils amended with quicklime returned to levels comparable to the soils treated with limestone; the DOC values decreased continuously during incubation time. Microbial biomass showed an initial decrease after quicklime application, but returned to control values after 1 to 3 months. Limestone hardly affected microbial biomass. In summary, our results indicate that the application of quicklime is an effective measure for immediate stabilization of soil structure, showing only short-term impact on soil chemical and microbial parameters.

Einleitung

Böden werden durch gesteigerte Mechanisierung in der Land- und Forstwirtschaft zunehmend verdichtet. Dies wirkt sich negativ auf das Pflanzenwachstum aus und bewirkt eine Reduktion der Aggregatstabilität und der Grobporen. In der Folge kommt es zu einer Verringerung der Wasser- und Luftdurchlässigkeit, verringertem Wurzelraum für Pflanzen, reduziertem Nährstofftransport und zu einer drastischen Einschränkung des Lebensraums von Bodenorganismen (Frey et al., 2009). Die verringerte Wasserdurchlässigkeit des Oberbodens führt zu erhöhtem Oberflächenabfluss, Bodenerosion, Nährstoffauswaschung und kann damit zu langfristigen und anhaltenden Schäden führen, die Ertragseinbußen und reduzierte Ökosystemleistungen zur Folge haben.

Bodenmikroorganismen sind maßgeblich an Umsetzungsprozessen (z.B. Mineralisation, Nitrifikation, Nährstoffkreisläufe) beteiligt. Die Nährstoffverfügbarkeit und Produktivität hängt stark von der mikrobiellen Biomasse und deren Aktivität ab, da der mikrobielle Kohlenstoff etwa 10-mal so schnell umgesetzt wird als jener von Pflanzen. Deshalb dient der mikrobielle Kohlenstoff oft als Indikator für chemische und physikalische Änderungen im Boden (Ekenler and Tabatabai 2003).

Ein Ansatz, um die Struktur des Bodens zu stabilisieren und die Durchlässigkeit der Böden zu verbessern ist die Zugabe von mehrwertigen Ionen wie z.B. Ca²⁺ in Form von Bodenadditiven, wie Branntkalk (CaO) und fein vermahlenem Kalksteinmehl (CaCO₃) (Becher, 2001). Allerdings könnten starke pH-Änderungen durch die CaO Zugabe negative Effekte auf die Bodenmikrobiologie haben.

Um die kurz- und mittelfristigen Auswirkungen dieser Bodenadditive zu untersuchen wurde ein Glashausversuch angesetzt. Der gewählte Glashausansatz im Miniaturmaßstab gewährleistet konstante Bedingungen und ermöglicht die gleichzeitige Erforschung verschiedener Einflussfaktoren (3 Behandlungsvarianten an 3 versch. Böden).

Die Wirksamkeit von CaO und CaCO₃ als Stabilisierungsmaßnahme wurde anhand der Aggregatstabilität überprüft. Des Weiteren wurde in der hier beschriebenen Studie der Effekt auf den mikrobiellen Kohlenstoff untersucht. Üblicherweise reagieren Bodenmikroorganismen unmittelbar auf Veränderungen in ihrem Habitat und dienen daher oft als Qualitätsindex.

Material und Methoden

Böden und Probenahme

Die Bodenproben für den Topfversuch wurden von Ackerflächen in Strengberg (Niederösterreich), Pollham (Oberösterreich) und Kemeten (Burgenland) genommen. Die vor Ort stark verdichteten Böden wurden mit einer Bodenhacke gelockert und noch direkt am Feld durch ein Wurfgitter mit einer Maschenweite von ca. 15 mm gesiebt.

Der Boden von Strengberg ist ein Pseudogley mit schluffig-lehmiger Textur und einem organischen Kohlenstoffgehalt von 1,77 %. Auch der Boden von Pollham ist ein Pseudogley mit ebenfalls schluffig-lehmiger Textur und einem organischen Kohlenstoffgehalt von 1,69 %. Im Gegensatz dazu hat der Boden von Kemeten (ebenfalls ein Pseudogley) lehmige Textur und einen geringeren organischen Kohlenstoffgehalt von 1,31 %.

Glashausversuch

Die Töpfe für den Versuch (Durchmesser: 27,5 cm, Höhe: 21,5 cm) wurden zuerst mit gewaschenem Kies bis zu einer Höhe von ca. 2 cm befüllt und mit einem Filterflies bedeckt, danach mit ca. 11-12 kg Boden befüllt und von unten durchfeuchtet. Der Wassergehalt wurde während des gesamten Versuchs auf ca. 50 % der Wasserhaltekapazität durch bewässern von oben eingestellt / gehalten. Die Töpfe wurden für einen Monat vorinkubiert bzw. äquilibriert. Die obere Bodenschicht aller Varianten wurde mechanisch aufgelockert bevor die Applikation mit Hilfe einer Gartenkralle erfolgte; auch die Kontrollen wurden in der gleichen Weise mechanisch bearbeitet. Die Einarbeitung von Branntkalk bzw. fein vermahlenem Kalksteinmehl erfolgte in den oberen 0-7 cm (Applikationsrate: 2000 kg ha⁻¹). Für den gesamten Versuch waren jeweils 3 Böden mit 3 Varianten vorgesehen; sowohl für die bodenphysikalischen als auch für die mikrobiologischen Analysen wurden jeweils insgesamt 36 Töpfe angelegt. Während für die bodenmikrobiologischen Analysen zu allen Beprobungszeitpunkten jeweils 4 Töpfe pro Variante beprobt wurden (4-fache Wiederholung), erfolgte die Probenahme für die bodenphysikalischen Analysen aufgrund der großen Probenmenge jeweils nur aus einem Topf pro Variante (destruktive Probenahme mit 3 Replikaten pro Topf).

Die Töpfe wurden im Glashaus in einem randomisierten Block-Design aufgestellt, um beeinflussende Faktoren, wie inhomogene Beschattung und in weiterer Folge unterschiedliche Temperaturverläufe als auch Unterschiede in der Luftzufuhr, möglichst homogen auf alle Varianten zu verteilen.

Um kurz- und mittelfristige Auswirkungen zu untersuchen erfolgten drei Probenahmen: 2 Tage (19.09.2013), 30 Tage (17.10.2013) und 86 Tage (12.12.2013) nach der Applikation.

Für die bodenphysikalischen Analysen mit dreimaliger Beprobung ergab sich für die Bestimmung der Aggregatstabilität nur die Möglichkeit einer Mischprobe über die gesamte applizierte Tiefe von 7 cm. Durch das gewählte Testdesign (Topfdurchmesser 27,5 cm) konnte die Beprobung nicht wie in der bodenphysikalischen Analytik üblich und gefordert als Parallelbeprobung durchgeführt werden.

Die Probenahmen für die Bodenmikrobiologie erfolgten mit einem Kunststoffbohrer. An jedem der 3 Beprobungszeitpunkte wurden aus jedem Topf an 4 Stellen Minibohrkerne gezogen. Die entnommenen Minibohrkerne wurden mit einem Stempel herausgedrückt und in obere behandelte Schicht (0-7 cm) sowie unbehandelte Schicht (7-14 cm) unterteilt, wobei der

Übergangsbereich (ca. 20% der Länge des gesamten Bohrkerns) verworfen wurde, um die Schichten klar zu trennen. Die Proben der 4 Einstiche wurden für die weiteren Analysen vereint und auf < 2 mm gesiebt. In dieser Veröffentlichung wird nur auf die Ergebnisse für die obere Bodenschicht (0-7 cm) eingegangen, in welcher die Effekte am deutlichsten ausgeprägt waren.

Bodenanalysen

Aggregatstabilität

Die Bestimmung der Aggregatstabilität wurde weitestgehend nach ÖNORM L 1072 und Murer et al. (1993) durchgeführt. Abweichend von diesen wurden jedoch 10 g lufttrockener Boden (1-2 mm) eingewogen, und der ebenfalls abweichende Siebdurchmesser betrug 10 cm, wodurch eine größere Grundgesamtheit in der Analyse erreicht werden konnte.

pH-Wert, mikrobieller Kohlenstoff (C_{mic}), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)

Der pH-Wert wurde in einer Suspension von 2 g Boden in 25 ml 0,01 M $CaCl_2$ Lösung gemessen (Schinner et al., 1996). Der mikrobielle Kohlenstoff wurde mittels Chloroform Fumigations-Extraktionsmethode (Schinner et al., 1996) ermittelt. Sowohl für mikrobiellen C als auch DOC wurden 1 M KCl Extrakte im Verhältnis 1:10 w/v hergestellt.

Statistische Auswertung

Für die ermittelten Analysewerte wurde jeweils eine 2-faktorielle ANOVA (Konfidenzintervall: 95 %) durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren „Kalk“ (Art der Kalk-Applikation: Kontrolle, $CaCO_3$, CaO), „Zeit“ (Zeit nach der Ausbringung: 2, 30, 86 Tage) und deren Interaktion „Kalk x Zeit“ zu ermitteln. Die Mittelwerte wurden mittels Tukey HSD-Test über alle Varianten und Zeiten hinweg verglichen, wobei signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet wurden.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Aggregatstabilitätsanalyse (Abbildung 1) zeigen, dass die Applikation von CaO zur Bildung von stabilen Aggregaten beitrug. Verglichen mit der Referenzprobe war bereits innerhalb von zwei Tagen eine signifikante Erhöhung der Aggregatstabilität erkennbar. Dieser Effekt hielt auch nach drei Monaten noch an. Im Gegensatz dazu führte die Applikation von $CaCO_3$ zu keinem signifikanten Anstieg der Aggregatstabilität. Mittels zweifaktorieller ANOVA wurde belegt, dass sowohl der Faktor „Kalk“ (Kontrolle, $CaCO_3$, CaO) als auch der Faktor „Zeit“ signifikanten Einfluss ($p < 0,05$) auf das Ergebnis der Aggregatstabilitätsanalyse hatten. Vergleichbare Aussagen zur Erhöhung der Aggregatstabilität durch Kalkgaben finden sich auch in den Mitteilungen der VDLUFA (2000:3).

Die Applikation von CaO bewirkte unmittelbar nach der Aufbringung (2 Tage) einen signifikanten Anstieg des pH-Wertes (Tabelle 1). Mit fortschreitender Inkubationsdauer nahm der pH-Wert wieder ab und erreicht ähnliche Niveaus wie bei der Aufbringung von $CaCO_3$, wo von Anfang an geringere Effekte festzustellen waren. Die einzelnen Faktoren „Kalk“ und „Zeit“ sowie auch die Interaktion „Kalk x Zeit“ waren bei allen drei Standorten hoch signifikant.

Auch bei der DOC-Konzentration war ein sofortiger signifikanter Anstieg durch die CaO-Applikation zu beobachten (Tabelle 1), welcher durch den starken pH-Anstieg bedingt sein dürfte. Dieser Effekt reduzierte sich während der Inkubationsdauer: nach 30 Tagen waren noch signifikante Unterschiede zu erkennen, während die DOC-Konzentrationen der CaO-Varianten nach 86 Tagen keine signifikanten Unterschiede zu den Kontrollvarianten mehr aufwiesen. Die einzelnen Faktoren „Kalk“ und „Zeit“ sowie auch die Interaktion „Kalk x Zeit“ waren bei allen drei Standorten hoch signifikant.

Kalkung und ein daraus resultierender pH-Anstieg in die Nähe des Neutralbereichs waren in anderen Studien positiv mit dem mikrobiellen Kohlenstoff (C_{mic}) korreliert (Ekenler and Tabatabai, 2003). In unserer Studie zeigte der C_{mic} (Abbildung 1) bei allen Standorten 2 Tage nach der CaO-Applikation eine Reduktion gegenüber der Kontrolle, die jedoch nicht signifikant war. Dies kann durch den starken pH-Anstieg in Bereiche jenseits des pH-Optimums von Bodenmikroorganismen erklärt werden (Blume et al., 2010). Die beobachtete Reduktion des C_{mic} verschwand jedoch mit Fortdauer des Versuchs wieder, und nach 3 Monaten fanden sich in den CaO-Varianten tendenziell sogar höhere C_{mic} -Gehalte verglichen mit den Kontrollen. Dies könnte in Zusammenhang mit der verbesserten Bodenstruktur stehen (vgl. An et al., 2009).

Beim Standort Strengberg waren bei beiden Faktoren „Kalk“ und „Zeit“ sowie deren Interaktion hoch signifikante Effekte festzustellen, während beim Standort Pollham nur der Faktor „Zeit“ und beim Standort Kemetten nur der Faktor „Kalk“ signifikant war. Diese Resultate zeigen, dass die Effekte der Kalkungsmaßnahmen bodenabhängig sind.

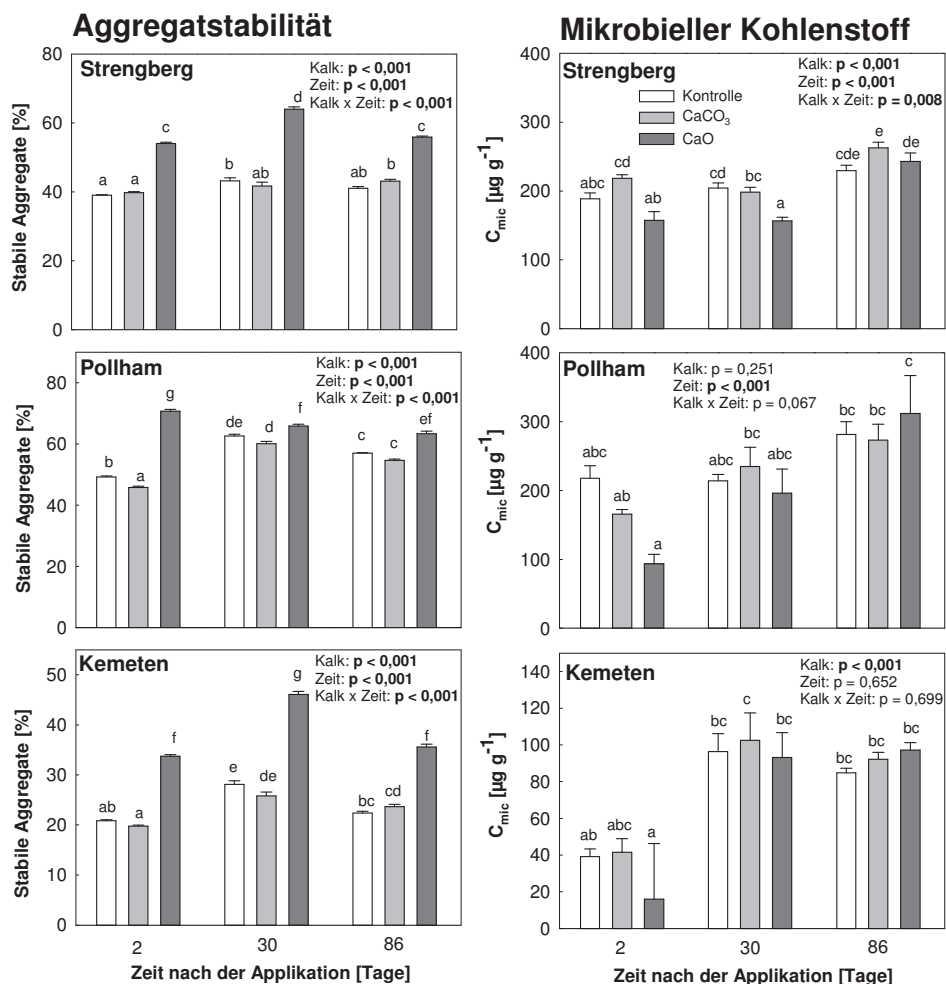


Abbildung 1. Aggregatstabilität ($n=3$) und mikrobieller Kohlenstoff ($n=4$) für die Standorte Strengberg, Pollham und Kemeten. Die Fehlerbalken zeigen \pm einen Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben in den Graphiken zeigen signifikante Unterschiede im mehrfachen Mittelwertvergleich nach Tukey HSD ($p < 0,05$). Die p -Werte für „Kalk“ (Form der Kalk-Applikation), „Zeit“ (Zeit nach Ausbringung) und „Kalk x Zeit“ stammen aus einer 2-faktoriellen ANOVA (Konfidenzintervall: 95 %) und zeigen, ob die einzelnen Faktoren oder deren Interaktion signifikant waren.

Tabelle 1. pH und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) für die Standorte Strengberg, Pollham und Kemeten (n=4). Unterschiedliche Buchstaben in den Tabellen zeigen signifikante Unterschiede im mehrfachen Mittelwertvergleich nach Tukey HSD ($p < 0,05$). Die p-Werte für „Kalk“ (Form der Kalk-Applikation), „Zeit“ (Zeit nach Ausbringung) und „Kalk x Zeit“ stammen aus einer 2-faktoriellen ANOVA (Konfidenzintervall: 95 %) und zeigen, ob die einzelnen Faktoren oder deren Interaktion signifikant waren.

		pH			DOC [$\mu\text{g g}^{-1}$]		
		Kontrolle	CaCO₃	CaO	Kontrolle	CaCO₃	CaO
Strengberg	2 Tage	6,8 ^{abc}	7,4 ^c	9,6 ^d	77 ^a	110 ^a	321 ^c
	30 Tage	6,5 ^a	6,8 ^{abc}	7,2 ^{bc}	74 ^a	102 ^a	158 ^b
	86 Tage	6,6 ^{ab}	6,5 ^a	6,8 ^{ab}	92 ^a	85 ^a	106 ^a
	p-Wert	<i>Kalk:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Kalk x Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
Pollham	2 Tage	7,3 ^{ab}	7,4 ^{ab}	10,5 ^c	81 ^a	97 ^{ab}	391 ^c
	30 Tage	7,2 ^{ab}	7,2 ^{ab}	7,7 ^b	81 ^a	77 ^a	132 ^b
	86 Tage	7,0 ^{ab}	7,0 ^a	7,0 ^{ab}	89 ^{ab}	99 ^{ab}	93 ^{ab}
	p-Wert	<i>Kalk:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Kalk x Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
Kemeten	2 Tage	5,4 ^a	7,0 ^d	8,3 ^c	84 ^{ab}	116 ^b	266 ^c
	30 Tage	5,4 ^a	6,5 ^{cd}	6,9 ^d	73 ^a	95 ^{ab}	117 ^b
	86 Tage	5,6 ^{ab}	6,1 ^{bc}	6,3 ^{bcd}	73 ^a	71 ^a	82 ^{ab}
	p-Wert	<i>Kalk:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		
		<i>Kalk x Zeit:</i>	p < 0,001		p < 0,001		

Literatur

- AN, S.-S., A. MENTLER, ET AL. (2009). Soil microbial parameters and stability of soil aggregate fractions under different grassland communities on the Loess Plateau, China. *Biologia* 64: 424-427.
- BECHER, H. H. (2001). Influence of long-term liming on aggregate stability of a loess-derived soil. *International Agrophysics* 15: 67-72.
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETSCHMAR, R., STAHR, K., und WILKE, B.-M. (2010). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- EKENLER, M. AND TABATABAI, M. A. (2003). Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. *Biology and Fertility of Soils* 39: 51-61.
- FREY, B., J. KREMER, ET AL. (2009). Compaction of forest soils with heavy logging machinery affects soil bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology* 45: 312-320.
- MURER, E.J., BAUMGARTEN, A., EDER, G., GERZABEK, M.H., KANDELER, E. und RAMPAZZO, N. (1993). An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS). *Geoderma* 56: 539-547.
- ÖNORM L 1072 (2004). Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Aggregatstabilität nach dem Siebtauchverfahren. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- SCHINNER et al. (Hrsg.) (1996). *Methods in Soil Biology*. Springer Verlag, Berlin.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.) (2000). *Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden*. Standpunkt, Darmstadt.