©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tuexenia 10: 487–496. Göttingen 1990.

Einfluß kalkhaltiger Dünger auf C/N-Verhältnis, Urease- und Saccharaseaktivität von Vermoderungslagen in Fichtenforsten des Deisters nach ein- bis zweijähriger Einwirkung

– Hans Möller –

Zusammenfassung

Untersucht wurde der Einfluß oberflächlich ausgebrachter magnesiumhaltiger Kalke auf das C/N-Verhältnis, die Urease- und die Saccharaseaktivität von Vermoderungslagen (Of-Lagen) in Fichtenforsten des Deisters (Waldgebirge südlich von Hannover) ein bis zwei Jahre nach der Düngung. Als Vergleichsflächen dienten ungedüngte Parzellen mit gleichaltrigen Fichtenbeständen unter gleichen geologisch-pedologischen Verhältnissen (Wealden-Sandstein, Podsol-Braunerden, Humusform Moder bis Rohhumus).

Die gekalkten Of-Lagen zeigten gegenüber den ungekalkten eine Verminderung des C/N-Verhältnis und eine Erhöhung der Ureaseaktivität. Diese Veränderungen werden als Indizien für eine durch die Kalkung bewirkte Verstärkung der biologischen Aktivität im Of-Horizont interpretiert. Die Saccharaseaktivität des Of-Horizonts war durch die Kalkung nicht beeinflußt worden. Im Oh und im Aeh hatten sich das C/N-Verhältnis und die Ureaseaktivität zur Zeit der Untersuchung (noch) nicht verändert.

Abstract

The influence of superficially applied magnesic lime on the C/N ratio, urease and saccharase activity of fermentation layers was examined in Norway spruce (*Picea abies*) forests of the Deister (wooded hills south of Hanover, F.R.G.) one and two years after application of lime. Untreated stands of Norway spruce of the same age and under comparable geological and pedological conditions (Wealden sandstone, podzol-brown earth, moder to raw humus as humus forms) were used as control areas.

The limed fermentation layers showed a decrease in C/N ratio and an increase in urease activity, as compared to the untreated areas. These changes are interpreted as indications of an increase in biological activity resulting from the application of lime. The saccharase activity of the fermentation layer was not influenced by the lime. The C/N ratio and urease activity in the Oh as well as the Ah horizon had not changed at the time of investigation.

1. Einleitung

Seit etwa zwei Jahrzehnten werden in Reaktion auf den „Sauren Regen" zahlreiche mitteleuropäische Waldböden mit magnesiumhaltigen Kalken gedüngt. Wesentliche Ziele dieser Maßnahme sind:

1. Neutralisierung saurer Depositionen („Kompensationskalkung"), um einer im Wurzelbereich auftretenden Säurebelastung der Bäume entgegenzuwirken;
2. Sicherung der Versorgung der Bäume mit Magnesium, das infolge immissionsbedingter Säure- und Salzbelastungen des Bodens verstärkt ausgewaschen wird;
3. Vermeidung einer Verschlechterung der Humusform bzw. Verbesserung der Humusform in Richtung Mull über eine Erhöhung der biologischen Bodenaktivität.

Näheres zu den Zielen forstlicher Kalkungsmaßnahmen s.z.B. BEESE (1985).

Eine Stimulierung der biotischen Tätigkeit des Bodens bzw. organischer Auflagen unter dem Einfluß kalkhaltiger Dünger ist von verschiedenen Autoren festgestellt worden. So registrierten ZELLES et al. (1987) im Boden eines Fichtenforsts nach Düngung mit magnesiumhaltigen Kalken folgende Veränderungen von Indikatoren der biologischen Bodenaktivität: Zunahme des ATP-Gehalts, verstärkte Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+} im Eisenreduktionstest, Erhöhung der Wärmeproduktion sowie der CO_2-Abgabe. LANG & BEESE (1985) ermittelten

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

in der organischen Auflage eines Buchenwaldes auf einer gekalkten Teilfläche eine stärkere Bakteriendichte sowie eine höhere Atmungsrate als auf einer unbehandelten Kontrollfläche. WILHELMI & KRIETER (1988) berichten, daß unter dem Einfluß von Kalkungen der Böden von Buchen- und Fichtenbeständen u.a. die „potentielle Humusaktivität" anstieg.

Im folgenden soll am Beispiel von 1986 erfolgten Untersuchungen in Fichtenforsten des Deisters die Auswirkung magnesiumhaltiger Kalke (z.T. mit Phosphor-Beimengung) auf das C/N-Verhältnis, die Ureaseaktivität sowie die Saccharaseaktivität von Vermoderungslagen (Of-Lagen) ein bis zwei Jahre nach der Düngung ermittelt werden. Im einzelnen ist zu klären:

1. Verminderte sich (schon) ein bzw. zwei Jahre nach der Kalkung das C/N-Verhältnis der Of-Lage?
2. Erhöhte sich die Ureaseaktivität der Of-Lage bereits nach der relativ kurzen Einwirkungsdauer des Kalkes?
3. Für den Fall, daß die Kalkung im Of sowohl das C/N-Verhältnis verringert als auch die Ureaseaktivität erhöht hatte: Welche der beiden Größen war im Untersuchungszeitraum am deutlichsten verändert worden?

Der C/N-Quotient und die Ureaseaktivität des Of sind mehr oder weniger eng mit der biologischen Tätigkeit dieser Lage korreliert.

4. Hatte die Düngung nach ein bzw. zwei Jahren die Saccharaseaktivität der Of-Lage beeinflußt?

Die Kalkungseffekte sollen durch Gegenüberstellung von gedüngten Parzellen mit vergleichbaren nicht gedüngten Flächen erfaßt werden.

2. Material und Methoden

2.1 Probenahme

Die Bodenproben wurden zu folgenden Zeitpunkten entnommen: 1.5., 13.6., 25. 7., 5.9., 16.10. und 28.11.1986.

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Untersucht wurde Material a) aus den oberen 2 cm des Of (hier mutmaßlich frühere Einwirkung der Kalkung als in tieferen Bereichen des Of), b) aus den unteren 2 cm des Oh (=Humusstofflage) (nach ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1980 bei Moder und Rohhumus Ansprache der Humusform nach dem C/N-Verhältnis des Oh), c) aus den oberen 2 cm des Aeh.

2.2 Horizontsymbole

Nach ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE (1982).

2.3 Bestimmung des Bodenvolumengewichts

Das ungefähre Bodenvolumengewicht wurde unter Füllen eines 100 ml-Stahlblechzylinders von Hand ermittelt (= „Volumengewicht des Bodens in gestörter Lagerung").

2.4 Bestimmung des pH-Werts

Elektrometrisch am naturfeuchten Boden am Tag nach der Probenahme unter Zusatz von aqu. dest. bzw. von 0,01 m $CaCl_2$-Lösung (Volumenverhältnis Boden: Flüssigkeit = 1 : 2,5) in überstehender Flüssigkeit (so bei A-Horizonten) bzw. in der Flüssigkeit unterhalb des schwimmenden organischen Materials (so beim Of und beim Oh).

2.5 Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs

Durch nasse Veraschung nach der Lichterfelder Methode und Bestimmung der entstandenen Cr^{3+}-Ionen kolorimetrisch nach RIEHM-ULRICH (vgl. SCHLICHTING & BLUME 1966).

2.6 Bestimmung des organisch gebundenen Stickstoffs

Nach KJELDAHL (vgl. SCHLICHTING & BLUME 1966).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

2.7 Bestimmung der Ureaseaktivität

Nach HOFFMANN & TEICHER (1961). Als Maß für die Ureaseaktivität dienen die im Brutschrank pro 3h Versuchsdauer freigesetzten Mengen an Ammoniak-Stickstoff (NH_3-N) (vgl. STEUBING 1965).

2.8 Bestimmung der Saccharaseaktivität

Nach E. HOFMANN (1952) (vgl. THUN et al. 1955) mit folgenden Abweichungen: Einwage von 0,5 g Of-Material; Filtration der Untersuchungslösung durch ein Faltenfilter 595 1/2 der Fa. SCHLEICHER & SCHÜLL.

Erfassung der Enzymaktivität über die Differenz Verbrauch an ml 0,1N $Na_2S_2O_3$-Lösung pro Blindansatz (Ansatz ohne Boden) minus Verbrauch pro Untersuchungslösung bei 24h Versuchsdauer und Umrechnung auf die jeweilige Bezugsbasis (s.u.). Die „Saccharasezahl" von E. HOFMANN (1952) ergibt sich aus: ml 0,1N $Na_2S_2O_3 \cdot 100$ g Boden $^{-1} \cdot 24\ h^{-1} \cdot 0{,}02$. Stichproben zufolge erhielt das Of-Material keine nachweisbaren Mengen an Glukose (Analysenweg ohne Zugabe von Saccharose).

Die Enzymaktivitäten werden im einzelnen auf Kohlenstoffbasis (gC), auf der Grundlage des Bodengewichts (exakt: der Bodenmasse) (100 g Boden) sowie des Bodenvolumens (100 ml Boden in gestörter Lagerung) angegeben.

Die unter 2.5 bis 2.8 aufgeführten Analysen wurden an lufttrockenem, mit einer elektrischen Kaffeemühle (so bei O-Material) bzw. mit einer Kugelmühle (so bei Aeh-Material) homogenisierten Material vorgenommen. – Pro Einzelprobe erfolgten jeweils zwei Parallelbestimmungen, deren Ergebnisse arithmetisch gemittelt wurden. (Bei pH-Werten: Entlogarithmieren der pH-Zahlen der Einzelmessungen, arithmetisches Mitteln der entlogarithmierten Werte, Umrechnung dieser Mittelwerte in pH-Zahlen). Die so gebildeten Mittelwerte dienten als Grundlage für die weiterführenden mathematischen Operationen.

2.9 Statistisches Verfahren

Nach WEBER (1980) (Varianzanalyse) bzw. nach SACHS (1984) (U-Test nach WILCOXON, MANN & WHITNEY). Die in den Tabellen genannten arithmetischen Mittelwerte sowie die in Tabelle 2 gebrachten pH-Daten beziehen sich auf die Gesamtheit der Einzelwerte von allen 6 Untersuchungszeitpunkten. Die benutzten statistischen Symbole bedeuten:

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel	r = einfacher Korrelationskoeffizient
s = Standardabweichung	n = Umfang der Stichprobe
Z = Zentralwert (= Median)	P = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Die Prüfung eines Befundes auf Signifikanz erfolgte auf dem 5 %-Niveau. Die angeführten Sternsymbole geben den Signifikanzgrad an. Es bedeuten:

***: P≤0,1%
** : P≤ 1%
* : P≤ 5%
n.s.: P> 5%.

3. Das Untersuchungsgebiet

3.1 Lage, geologisch-pedologische Verhältnisse, Vegetation

Das Untersuchungsgebiet gehört zum Staatlichen Forstamt Deister und liegt an der nach Nordosten abfallenden Flanke des Deisters zwischen ca. 115 m und 315 m über NN. Es wird durch die Linie Kirchdorf – Egestorf – Schleifbach – Kammweg – Spalterhals begrenzt.

Das Ausgangsgestein ist Wealden-Sandstein mit Lößauflagen unterschiedlicher Mächtigkeit. Die Bodentypen sind podsolige Braunerden bzw. Podsol-Braunerden, in höheren Lagen z.T. mit Übergängen zu Pseudogleyen. (Näheres zum Aufbau der Böden s. MÖLLER & PRÜSSMANN 1983). Der natürliche Waldtyp ist der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*). An seine Stelle sind im Deister teilweise Forsten mit Fichte (*Picea abies*) getreten.

3.2 Analysierte Flächen

3.2.1 Gedüngte Flächen

Die Lage der gedüngten Flächen, das Jahr der Ausbringung des Düngers, die Art und

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 1. Lage der gedüngten Flächen, Jahr der Ausbringung des Düngers, Art und Menge des Düngers sowie Bestandesalter

Forstabteilung	Ausbringung des Düngers	Dünger	Menge/ha	Bestandesalter
128	1985	Forstgranukal (70% $CaCO_3$ + 10% $MgCO_3$)	3,5 t	97 Jahre
132	1985	"	3,5 t	111 Jahre
143 (2 Teilflächen)	1984	Peiner Hüttenkalk (37% $CaCO_3$, 10% MgO, 3,5% P_2O_5)	3,4 t	87 Jahre

Menge des Düngers sowie das Bestandesalter sind Tabelle 1 zu entnehmen. Der Dünger wurde in Granulatform oberflächlich ausgebracht.

Nach den durch v. ZEZSCHWITZ (1980, Tab. 3) für westfälische Bergwälder dargelegten Beziehungen zwischen C/N-Verhältnis sowie C-Konzentration im Oh einerseits und Humusform andererseits zeigten die gekalkten Untersuchungsflächen (vgl. Tab. 2) Übergänge zwischen Rohhumusartigem Moder und Rohhumus. Bei Zugrundelegung der vom ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1980, Tab. 18) genannten morphologischen Kriterien tendierte die Humusform mehr in Richtung Typischer Moder: u.a. fließende Übergänge zwischen den Humushorizonten; humoser A-Horizont überwiegend als Aeh (schwach podsoliger humoser A-Horizont), allenfalls mit Übergängen zum Ahe (mäßig podsoliger humoser A-Horizont).

Als Kenngrößen der Humusform dienen in der vorliegenden Arbeit:

1. Die Mächtigkeit des von der Vermoderungslage (Of) und der Humusstofflage (Oh) gebildeten Auflagehumus.
2. C/N-Verhältnisse im Humuskörper, und zwar sowohl der C/N-Quotient des Oh (vgl. z.B. v. ZEZSCHWITZ 1980) als auch des humosen Oberbodens (vgl. z.B. MÖLLER 1981b, 1987a; ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE 1982, Tab. 23).
3. Die Kohlenstoffkonzentration im Oh (vgl. v. ZEZSCHWITZ 1980, Tab. 3).
4. pH-Werte in den Humushorizonten (Of, Oh, Aeh) (vgl. z.B. CZERNEY 1966, G. HOFMANN 1968, KOPP et al. 1969, ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1980).
5. Ureaseaktivitäten im Humuskörper, und zwar sowohl im humosen Oberboden (vgl. MÖLLER 1981a, b; 1987a,b) als auch im Oh und Of (vgl. MÖLLER 1987a).

Auf dem Wege von Mull über Moder zu Rohhumus verstärken sich die organischen Auflagen, nimmt das C/N-Verhältnis im Oh bzw. im humosen Oberboden zu, erhöht sich die C-Konzentration im Oh und vermindern sich pH-Zahl und Ureaseaktivität im Of, im Oh sowie im humosen A-Horizont. In derselben Richtung verringert sich die Humusqualität bzw. die biologische Aktivität des (Gesamt-)Bodens bzw. des entsprechenden Humushorizontes (vgl. z.B. WITTICH 1963, v. ZEZSCHWITZ 1968, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1982).

Die untersuchten Flächen waren ohne Strauch- und Bodenvegetation.

Nach den 1986 registrierten pH-Werten zu urteilen, unterlag der Of der gedüngten Flächen bereits ein bzw. zwei Jahre nach der Kalkung dem Einfluß der Düngung: Die hier gemessenen pH-Werte lagen erheblich über denen der Of-Lagen der Vergleichsflächen (vgl. Tab. 2). Andererseits dürften der Oh und der Aeh 1986 (noch) nicht oder nur geringfügig von der Kalkung beeinflußt worden sein, da die pH-Zahlen dieser Horizonte sehr niedrig waren und sich auch nicht signifikant von denen der Vergleichsflächen unterschieden (vgl. Tab. 2).

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

3.2.2 Ungedüngte Vergleichsflächen

Als Vergleichsflächen zu den vier gekalkten Parzellen dienten drei unbehandelte Bereiche aus demselben Gebiet des Deisters (Forstabteilungen 115, 171, 177) mit etwa gleichaltrigen Fichtenbeständen, die ebenfalls ohne Strauch- und Bodenvegetation waren, sowie mit gleichartigen geologisch-pedologischen Verhältnissen. Die Oh- und Aeh-Horizonte gedüngter und ungedüngter Flächen zeigten keine signifikanten Unterschiede bezüglich folgender Kenngrößen der Humusform: pH-Wert, C/N-Quotient und Ureaseaktivität. Gleiches gilt für die C-Konzentrationen im Oh sowie für die Mächtigkeiten der organischen Auflagehorizonte (vgl. Tab. 2). Da der Humuskörper eine Einheit darstellt, ist davon auszugehen, daß unter ungestörten Verhältnissen (bzw. bei gleichartigen Einwirkungen von außen) gleiche Oh- und Aeh-Horizonte mit gleichen Of-Horizonten verbunden sind. Dementsprechend ist anzunehmen, daß die untersuchten gekalkten und nicht gekalkten Of-Lagen vor der Düngung nicht signifikant differierten. Nach der Kalkung registrierte Unterschiede zwischen behandelten und nicht behandelten Beständen dürften auf die Einwirkung des Düngers zurückgehen.

4. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt, daß die Vermoderungslagen der behandelten Flächen niedrigere mittlere C/N-Quotienten aufwiesen als die unbehandelten Parzellen. In Anbetracht der geringen Streuung der Werte (vgl. die entsprechenden Standardabweichungen) ist auch die relativ geringe Differenz von 1,9 Einheiten auf dem 1%-Niveau gesichert.

Das C/N-Verhältnis des Of wird i.a. nicht zur Diagnose der Humusform bzw. zur Erfassung der biotischen Bodentätigkeit herangezogen. Doch auch dieser Quotient korreliert offensichtlich mit der biotischen Bodentätigkeit. So konnten im Of von Böden der Eilenriede (Stadtwald von Hannover) auf dem 1 %-Niveau gesicherte Beziehungen zwischen C/N-Verhältnis und Ureaseaktivität nachgewiesen werden (vgl. MÖLLER 1987a, Tab. 4). Demnach deutet die im Of der gekalkten Flächen festgestellte Verminderung des C/N-Quotienten auf eine erhöhte biologische Aktivität hin.
Von einer Verringerung des C/N-Quotienten in Of-Lagen unter dem Einfluß von Kalkungen berichten auch WILHELMI (1988) sowie WILHELMI & KRIETER (1988).

Die Düngung verminderte nicht nur die Relation von Kohlenstoff zu Stickstoff in der organischen Substanz der Of-Lage, sondern reduzierte auch die auf das Bodengewicht bezogenen C-Konzentrationen (=C %) signifikant (vgl. Tab. 2). Es wurde nicht untersucht, inwieweit dieser Befund auf einen verstärkten C-Abbau zurückzuführen war oder dadurch bedingt wurde, daß sich die mineralische Komponente im Of direkt durch die Düngergabe erhöhte. Ebenfalls die N-Konzentrationen (=N %) in der Vermoderungslage waren in den gekalkten Beständen geringer als in den ungekalkten (vgl. Tab. 2). Die entsprechende Differenz ist jedoch nicht statistisch gesichert.

Die Ureaseaktivitäten der kalkbeeinflußten Of-Lagen waren mehr als zweimal so hoch wie in den Of-Lagen der nicht gedüngten Flächen. Dies galt sowohl für die auf gC, auf das Bodengewicht (100 g) als auch für die auf das Bodenvolumen (100 ml) bezogenen Werte. Die jeweiligen Differenzen sind, ungeachtet der Bezugsgrundlage, auf dem 0,1 %-Niveau gesichert (vgl. Tab. 2).

Da für die Höhere Pflanze der von ihr durchwurzelte Bodenraum und nicht das Bodengewicht maßgebend ist, erscheint es bei ökologischen Untersuchungen sinnvoll, das Bodenvolumen als Bezugsbasis für Enzymaktivitäten zu wählen. Bei vergleichbaren Bodenvolumengewichten, wie sie im vorliegenden Fall innerhalb der einzelnen Humushorizonte gegeben sind (vgl. Tab. 2), kann jedoch die Gegenüberstellung von Daten aus dem gleichen Horizont auch auf der Grundlage des Bodengewichts erfolgen. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn die Bodenvolumengewichte nicht exakt bestimmt worden sind. – Enzymaktivitäten auch auf gC zu beziehen, ist sinnvoll, da die meisten Mikroorganismen Saprophyten darstellen und als solche von der organischen Substanz des Bodens abhängig sind (vgl. auch BECK 1984).

Tab. 2. Meßdaten aus den Humushorizonten gedüngter Parzellen (Ca^+) sowie unbehandelter Vergleichsflächen (Ca^-)
UA = Ureaseaktivität (mg NH_3-N · $3h^{-1}$) SA = Saccharaseaktivität (ml 0,1N $N_2S_2O_3$ · $24h^{-1}$)
P_D = Signifikanzgrad der Differenz $Ca^+ - Ca^-$

	Of			Oh			Aeh		
	Ca^+	Ca^-	P_D	Ca^+	Ca^-	P_D	Ca^+	Ca^-	P_D
n der Untersuchungsflächen	4	3		4	3		4	3	
n der Untersuchungszeiten	6	6		6	6		6	6	
n der Einzelproben	24	18		24	18		24	18	
pH (H_2O): Zentralwert	5,82	4,04		3,95	3,86		3,91	3,92	
pH (H_2O): alle Werte			***			n.s.			n.s.
pH ($CaCl_2$): Zentralwert	5,20	2,92		2,85	2,73		2,90	2,82	
pH ($CaCl_2$): alle Werte			***			n.s.			n.s.
C/N ($\bar{x} \pm s$)	26,8 ± 1,6	28,7 ± 1,8	**	32,1 ± 3,2	30,2 ± 3,0	n.s.	34,0 ± 4,5	33,3 ± 4,9	n.s.
C(%) ($\bar{x} \pm s$)	37,8 ± 5,0	42,7 ± 3,1	**	34,9 ± 6,1	33,0 ± 7,4	n.s.	9,49 ± 2,50	9,76 ± 1,93	n.s.
N(%) ($\bar{x} \pm s$)	1,41 ± 0,18	1,49 ± 0,11	n.s.	1,10 ± 0,21	1,11 ± 0,26	n.s.	0,28 ± 0,08	0,30 ± 0,08	n.s.
UA/gC ($\bar{x} \pm s$)	0,41 ± 0,17	0,17 ± 0,07	***	0,16 ± 0,09	0,16 ± 0,15	n.s.	0,41 ± 0,29	0,31 ± 0,21	n.s.
UA/100g Boden ($\bar{x} \pm s$)	15,3 ± 6,8	7,3 ± 2,8	***	5,1 ± 2,6	4,7 ± 3,4	n.s.	3,5 ± 2,2	3,1 ± 1,5	n.s.
UA/100ml Boden ($\bar{x} \pm s$)	1,94 ± 0,92	0,95 ± 0,39	***	1,22 ± 0,73	1,16 ± 0,98	n.s.	2,34 ± 1,65	2,05 ± 1,14	n.s.
SA/gC ($\bar{x} \pm s$)	73 ± 21	67 ± 17	n.s.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	
SA/100g Boden ($\bar{x} \pm s$)	2810 ± 881	2851 ± 732	n.s.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	
SA/100ml Boden ($\bar{x} \pm s$)	370 ± 118	372 ± 101	n.s.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	
Volumengewicht (g/100ml B.) ($\bar{x} \pm s$)	12,7 ± 1,6	13,2 ± 2,2	n.s.	23,3 ± 3,9	24,2 ± 5,0	n.s.	65,6 ± 12,4	65,8 ± 16,4	n.s.
Horizontmächtigkeit (cm) ($\bar{x} \pm s$)	3,78 ± 0,96	3,52 ± 1,11	n.s.	3,44 ± 1,37	3,25 ± 0,93	n.s.	3,71 ± 1,69	3,47 ± 1,34	n.s.

	Ca^+	Ca^-	P_D
(Of + Oh)(cm) ($\bar{x} \pm s$)	7,22 ± 1,92	6,77 ± 1,24	n.s.

n.b. = nicht bestimmt

Prüfverfahren: Mittelwertedifferenzen: Zweifache Varianzanalyse (A-Gruppen = a) gedüngte, b) ungedüngte Flächen; B-Gruppen = Untersuchungszeitpunkte)
Differenzen der pH-Werte: U-Test v. WILCOXON, MANN & WHITNEY

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 3. Mittlere Ureaseaktivitäten (UA)(mg NH_3-N • 3 h^{-1}) (mit Standardabweichungen) im Of der gedüngten Flächen in Abhängigkeit vom Jahr der Ausbringung des Düngers bzw. der Düngerform

Anzahl der Einzelproben: 12 pro Flächenpaar

Flächen-paar	Forst-abtlg.	Ausbringung des Düngers	Dünger	UA/gC ($\bar{x} \pm s$)	UA/100g B. ($\bar{x} \pm s$)	UA/100ml B. ($\bar{x} \pm s$)
	128					
1		1985	Forstgranukal	0,437 ± 0,187	17,58 ± 7,57	2,20 ± 1,04
	132					
	143, 1.Fläche					
2		1984	Peiner Hüttenkalk	0,374 ± 0,157	12,94 ± 5,35	1,69 ± 0,74
	143, 2. Fläche					
F-Wert für Differenz Flächenpaar 1 - 2				$0,91^{n.s.}$	$3,37^{n.s.}$	$2,26^{n.s.}$
Zufallshöchstwert F(0,05;1,17)				4,45	4,45	4,45

Prüfverfahren: Zweifache Varianzanalyse (A-Gruppen = Flächenpaare, B-Gruppen = Untersuchungszeitpunkte)

(„Enzymaktivität/gC" bedeutet exakt „Enzymaktivität in dem von 1gC eingenommenen Boden").

Ein differenzierender Einfluß der Einwirkungsdauer der Düngung bzw. der Düngerform auf die Ureaseaktivität im Of ist aufgrund der vorhandenen Daten nicht nachweisbar (vgl. Tab. 3).

Bezeichnet die Ureaseaktivität des Of dessen biologische Aktivität, dann bewirkte die Kalkung bereits nach ein bis zwei Jahren eine deutliche Erhöhung der biologischen Aktivität der Vermoderungslagen. Die in den kalkbeeinflußten Of-Lagen gemessenen Ureaseaktivitäten lagen auf dem Niveau, das im September 1979 im Of des Mullartigen Moders eines farnreichen Perlgras-Buchenwaldes (*Melico-Fagetum dryopteridetosum*) registriert worden war (vgl. MÖLLER 1981a). Es zeichnet sich somit die Tendenz ab, daß die Humusform im Untersuchungsgebiet unter dem Einfluß der Kalkung von Rohhumus bzw. Moder in Richtung Mull umgewandelt wird.

Offensichtlich hatte die Kalkung im Of der vorliegenden Böden zumindest im Untersuchungszeitraum die Ureaseaktivität stärker verändert als das C/N-Verhältnis. Dies dokumentieren die in Tabelle 4 zusammengestellten F-Werte für die entsprechenden Differenzen zwischen den gekalkten und den nicht gekalkten Of-Lagen.

Wahrscheinlich gibt die Ureaseaktivität in gestörten Böden allgemein ein besseres Maß für die biologische Aktivität ab als der C/N-Quotient. So war in der Eilenriede (Stadtwald von

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tab. 4. F-Werte für Differenzen zwischen den gekalkten Flächen (Ca^+) und den nicht gekalkten Flächen (Ca^-) bezüglich des C/N-Verhältnis und der Ureaseaktivität im Of

Differenz $Ca^+ - Ca^-$ bezüglich	F-Wert
C/N	$12,23^{**}$
Ureaseaktivität/gC	$33,33^{***}$
Ureaseaktivität/100g Boden	$23,08^{***}$
Ureaseaktivität/100ml Boden	$19,22^{***}$

Prüfverfahren: Zweifache Varianzanalyse (A-Gruppen = a) gedüngte, b) ungedüngte Flächen; B-Gruppen = Untersuchungszeitpunkte)

Näheres Datenmaterial s. Tab. 2.

Hannover) das C/N-Verhältnis im Ah-Horizont eines ehemaligen Gley-Podsols (mit Rohhumus als vermutlicher ursprünglicher Humusform), der um 1900 gemergelt worden war, 1983 erst auf ca. 23 gefallen. Ein solcher Wert würde, isoliert betrachtet, die Diagnose „Feinhumusarmer bis Feinhumusreicher Moder" ergeben (vgl. z.B. v. ZEZSCHWITZ 1980). Legt man die Morphe des Humuskörpers zugrunde, dann hatte sich jedoch schon ein Mull entwickelt. Relativ ungestörte Böden der Eilenriede mit gleicher Vegetation und gleicher Humusform (Mull) und daher mutmaßlich ähnlicher biologischer Aktivität wiesen im Ah ein C/N-Verhältnis um 16 auf. Andererseits befand sich die Ureaseaktivität im humosen Oberboden des gedüngten Gley-Podsols auf in etwa demselben Niveau wie in dem nicht gemergelten, relativ naturnahen Boden mit einer vergleichbaren Vegetation (Näheres s. MÖLLER 1987a).

Es ist anzunehmen, daß die verminderten C/N-Quotienten und die erhöhten Ureaseaktivitäten in den gedüngten Of-Lagen des Untersuchungsgebietes eine Funktion der durch Kalk

Tab. 5. Abhängigkeiten des C/N-Verhältnis sowie der Ureaseaktivität (=UA) vom $pH(CaCl_2)$-Wert im Of von Böden der Eilenriede (Stadtwald von Hannover)

Anzahl der Wertepaare	Beziehung	r	Quelle
13	$pH(CaCl_2)$: C/N	$-0,610^{*}$	MÖLLER 1987 n.p.
13	$pH(CaCl_2)$: UA/gC	$+0,930^{***}$	MÖLLER 1987a
13	$pH(CaCl_2)$: log UA/100g Boden	$+0,902^{***}$	"
13	$pH(CaCl_2)$: UA/100ml Boden	$+0,905^{***}$	"

Den Berechnungen lagen Mittelwerte der Daten von 6 Untersuchungszeitpunkten in der Vegetationsperiode 1983 zugrunde.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

bewirkten Erhöhung des pH-Wertes darstellen. Für ungestörte Böden bzw. verhältnismäßig wenig gestörte Waldböden jedenfalls konnte eine enge Abhängigkeit des C/N-Quotienten und der Ureaseaktivität vom pH-Wert erkannt werden. Dies gilt nicht nur für humose A-Horizonte (vgl. u.a. MÖLLER 1981a, b; 1987a, b), sondern auch für organische Auflagen. So ergaben sich für Of-Lagen der Eilenriede die in Tabelle 5 zusammengestellten Korrelationskoeffizienten.

Bei erst kurzer Einwirkungsdauer der Kalkung von einer verringerten aktuellen Bodenazidität unmittelbar auf eine intensivere biotische Bodenaktivität schließen zu wollen, wäre problematisch: Die pH-Werte saurer Böden dürften sich nach Kalkung unvermittelt rein chemisch erhöhen, ohne daß die Mikroorganismentätigkeit schlagartig zugenommen haben muß.

Im Gegensatz zum C/N-Verhältnis und zur Ureaseaktivität unterschied sich die Saccharaseaktivität in den gekalkten Of-Lagen nicht bzw. nicht signifikant von der in den unbehandelten Vermoderungslagen. Die auf das Bodengewicht bzw. auf das Bodenvolumen bezogenen Saccharaseaktivitäten des Of der gedüngten und der nicht gedüngten Flächen waren sogar nahezu identisch (vgl. Tab. 2).

Für die Tatsache, daß die Saccharaseaktivität in den vorliegenden Of-Lagen ein bzw. zwei Jahre nach der Kalkung nicht signifikant verändert war, könnten folgende Erklärungen dienen:
1. Die Saccharaseaktivität ist generell ungeeignet, Aufschlüsse über die biologische Tätigkeit von Vermoderungslagen zu geben. (Für humose A-Horizonte allerdings konnte im *Melico-Fagetum* des Deisters eine signifikante positive Beziehung zwischen Saccharaseaktivität und Humusqualität nachgewiesen werden; vgl. MÖLLER 1981a.)
2. Die Saccharaseaktivität von gekalkten Of-Lagen verändert sich erst nach längerer Einwirkungsdauer der Düngung.

Die durch die Kalkung im Of induzierten niedrigeren C/N-Verhältnisse und erhöhten Ureaseaktivitäten waren (noch) nicht von einer Verminderung der Stärke der Of-Lage begleitet (vgl. Tab. 2). Auch WILHELMI (1988) konnte ein Jahr nach erfolgter Kalkung keine Veränderung der „Humusdicke" in Fichtenbeständen feststellen.

Es dürfte von Interesse sein, wie sich im Untersuchungsgebiet die einzelnen Humushorizonte (Of, Oh, Aeh) der gekalkten Böden bezüglich des C/N-Quotienten, der Urease- und der Saccharaseaktivität seit 1986 verändert haben bzw. sich künftig verändern werden.

Im vorliegenden Zusammenhang blieb die Frage unberührt, ob die vorgenommenen Düngungen eine Vitalisierung der Fichtenbestände bewirken bzw. ob sie Wachstumsschäden an den Bäumen verhindern bzw. vermindern.

Danksagung

Herrn Forstdirektor MEHLS, Staatliches Forstamt Deister, danke ich herzlich für die Genehmigung zur Entnahme von Bodenproben sowie für Informationen über die vorgenommenen Düngungen.

Literatur

ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE der geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. 3. verb. u. erw. Aufl. – Schweizerbart, Stuttgart.

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1980): Forstliche Standortsaufnahme. Begriffe, Definitionen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 4. Aufl. – Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.

BECK, TH. (1984): Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. II. Mitteilung: Beziehungen zum Humusgehalt. – Z. Pflern., Bodenk. 147 (4): 467–475. Weinheim.

BEESE, F. (1985): Wirkungen von Meliorationskalkungen auf podsoliger Braunerde in einem Buchenwaldökosystem. – Allgem. Forstzeitschr. 43: 1161-1162. München.

CZERNEY, P. (1966): Bodenkundlich-chemische Eigenschaften verschiedener Waldhumusformen unter besonderer Berücksichtigung des Fichtenhumus. – Diss. TU Dresden (Tharandt).

HOFFMANN, G., TEICHER, K. (1961): Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität in Böden. – Z. Pflern., Düng., Bodenk. 56: 68–72. Weinheim.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

HOFMANN, E. (1952): Enzymreaktionen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit. – Z. Pflern., Düng., Bodenk. 56: 68-72.
HOFMANN, G. (1968): Über Beziehungen zwischen Vegetationseinheit, Humusform, C/N-Verhältnis und pH-Wert des Oberbodens in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes. – Arch. Forstwes. 17: 845–855. Berlin.
KOPP, D. u. Mitarb. (1969): Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der Deutschen Demokratischen Republik. – VEB Forstprojektierung Potsdam.
LANG, E., BEESE, F. (1985): Die Reaktion der mikrobiellen Bodenpopulation eines Buchenwaldes auf Kalkungsmaßnahmen. – Allg. Forstzeitschr. 43: 1166–1169. München.
MÖLLER, H. (1981a): Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen der Urease- und Saccharaseaktivität des Bodens und der Humusform, vorgenommen an drei Melico-Fagetum-Ökosystemen des Deisters. Ein Beitrag zur Indikatorfunktion von Enzymen für die biologische Aktivität des Bodens. – Flora 171: 367–386. Jena.
– (1981b): Beziehungen zwischen Enzymaktivität und Humusqualität in Böden des Luzulo-Fagetum und seiner Fichten-Ersatzgesellschaft im Deister. – Acta Oecol., Oecol. Gener. 2 (4): 313-325. Paris.
– (1987a): Die Ureaseaktivität organischer Auflagen als Indikator für die biologische Aktivität des Bodens in drei Ökosystemen der Eilenriede (Stadtwald von Hannover, BRD). – Flora 179: 381–398. Jena.
– (1987b): Beziehungen zwischen Vegetation und Humuskörper in der Eilenriede (Hannover), einem Stadtwald mit menschlich beeinflußten Böden. – Tuexenia 7: 427–446. Göttingen.
–, PRÜSSMANN, D. (1983): Zum Einfluß des Fichtenreinanbaus auf Morphologie, C/N-Verhältnis, C- und N-Mengen sowie pH-Wert des Humuskörpers ehemaliger Luzulo-Fagetum-Böden des Deisters. – Ber. Naturhist. Ges. Hannover 126: 153–172. Hannover.
SACHS, L. (1984): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 6. Aufl. – Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: 552 S.
SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. 11., neub. Aufl. – Enke, Stuttgart.
SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. – Parey, Hamburg u. Berlin: 209 S.
STEUBING, L. (1965): Pflanzenökologisches Praktikum. – Parey, Berlin u. Hamburg: 262 S.
THUN, R., HERRMANN, R., KNICKMANN, E. (1955): Die Untersuchung von Böden. 3. Aufl. – Neumann, Radebeul u. Berlin.
WEBER, E. (1980): Grundriß der biologischen Statistik. 8. überarb. Aufl. – Fischer; Stuttgart, New York: 652 S.
WILHELMI, V. (1988): Düngung und Durchforstung als kombinierte Waldsanierungsmaßnahme. – Allgem. Forstzeitschr. 30: 844–845. München.
–, KRIETER, M. (1988): Zur biologischen Umweltverträglichkeit von neuartigen Walddüngeverfahren. – Allgem. Forstzeitschr. 43: 1178–1180. München.
WITTICH, W. (1963): Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfauna unter Nadelwald für Streuzersetzung, Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. – Schr. reihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen 30: 3–60. Frankfurt/M.
ZELLES, L., SCHEUNERT, I., KREUTZER, K. (1987): Bioactivity in limed soil of a spruce forest. – Biol. Fertil. Soils 3: 211–216. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
ZEZSCHWITZ, E. von (1968): Beziehungen zwischen dem C/N-Verhältnis der Waldhumusformen und dem Basengehalt des Bodens. Ein Beitrag zur Kenntnis der Trophie. – Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 16: 143–174. Krefeld.
– (1980): Analytische Kennwerte typischer Humusformen westfälischer Bergwälder. – Z. Pflern., Bodenk. 143: 692-700. Weinheim.

Priv.-Doz. Dr. Hans Möller
Institut für Geobotanik der Universität
Nienburger Str. 17
D-3000 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Tuexenia - Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: NS_10

Autor(en)/Author(s): Möller Hans

Artikel/Article: Einfluß kalkhaltiger Dünger auf C/N-Verhältnis, Urease- und Saccharaseaktivität von Vermoderungslagen in Fichtenforsten des Deisters nach ein- bis zweijähriger Einwirkung 487-496