Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990) Band 20
1991

Der Einfluß von Kalkungsmaßnahmen auf bodenchemische und bodenbiologische Prozesse in einem geschädigten Kiefern-Eichenforst in Berlin (Grunewald)

Werner Kratz, Andreas Brose und Martin Rose

Synopsis

Management practices of damaged forest ecosystems include today lime and/or fertilizer applications. After the application of 6.1 t/ha dolomitic lime and 34 kg K/ha some soil chemistry parameters were determined within a 40-yr pine ecosystem in the Grunewald forest of Berlin. The lime and fertilizer application showed effects in the soil chemistry and soil biology within a short time. Due to the higher biodegradation rate Pb, Cu, Zn and Cd were mobilized by organo-complexes or by antagonisms with the Ca- and Mg-Cations leading to the risk that Pb-concentrations in seepage water exceed current German regulations for drinking water. Litter decomposition rate increased after the liming measures and also the activity of soil microorganisms. Disbalances of the nutrient cycles and organic matter turnover of a naturally low dynamic ecosystem were visable.

damaged forest ecosystems, lime application, litter decomposition, soil chemistry, soil microorganisms

1. Einleitung

Seit Mitte der 70er Jahre werden in ganz Europa und in Nordamerika in zunehmendem Maße Waldschäden beobachtet, die nach anfänglicher starker Schädigung insbesondere von Koniferen inzwischen alle Forstbaumarten betreffen.

Die "Göttinger Schule" um ULRICH wies schon frühzeitig den anthropogenen Säureeinträgen und den daraus resultierenden Veränderungen des bodenchemischen Zustands eine entscheidende Rolle beim Zustandekommen der sog. "Neuartigen Waldschäden" zu (z. B. ULRICH & al. 1979).

Als Sanierungsmaßnahme wurde die oberflächliche Ausbringung von dolomitischen Kalken empfohlen, da dadurch eine weitere Bodenversauerung gebremst und die Gefahr von Wurzelschäden durch Aluminiumkationen bzw. Nährstoffauswaschungen verringert werden kann. Die hohe Akzeptanz dieser Maßnahme führte dazu, daß in der BRD seit 1983 ca. 10 % der Waldfläche (ca. 771.429 ha) mit durchschnittlich 3,5 t/ha gekalkt wurde (BELF 1989). Auch in der früheren DDR galt die sog. Meliorationskalkung mit einem jährlichen Plansoll von 40.000 ha als eine der wichtigsten Restabilisierungsmaßnahmen von geschädigten Waldbeständen (THOMASIUS 1989).

Die Wirksamkeit, aber auch die ökosystemaren Auswirkungen solcher Bestandeskalkungen waren allerdings nicht unumstritten und sind z. T. heute noch gar nicht bekannt.

Den sicherlich primären positiven Effekten wie Erhöhung der Pufferkapazität und Verringerung von Al-Toxizität standen die potentiellen Risiken infolge der Anregung der bodenbiologischen Aktivität wie erhöhte Nitratauswaschung, Humusabbau, Schwermetallmobilität und Übergang zu einer nicht autochtonen Bodenbiozönose gegenüber (ALDINGER 1986, KRATZ & al. 1990, SCHIERL & KREUTZER 1989, WENZEL & ULRICH 1988). Da die Kalkungseffekte sehr stark von den jeweiligen Standortbedingungen abhängen, bleibt es unumgänglich, daß vor großflächigen

Bestandeskalkungen das spezifische Reaktionsmuster der Zielökosysteme in Pilotstudien bestimmt wird. So wurde 1986 das interdisziplinäre Forschungsprojekt "Ballungsraumnahe Waldökosysteme" durch den Berliner Senat und das Umweltbundesamt vor dem Hintergrund starker Waldschäden (Kiefern zu 84 % geschädigt, Waldschadensbericht Landesforstamt 1989), hoher Luftschadstoffkonzentrationen (SO_2, NO_x, O_3) als auch starker Bodenversauerung (GRENZIUS 1984) initiiert.

Da trotz der Emissionsreduktionsmaßnahmen in Berlin (West) in Zukunft auch mit hohen Schadgaskonzentrationen zu rechnen ist, ergab sich die Frage nach der Möglichkeit von direkten Sanierungsmaßnahmen der geschädigten Bestände in Form von Kalkungen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einigen bodenchemischen und -biologischen Auswirkungen einer Bestandeskalkung in einem 1951 begründeten Kiefernforst (*P. sylvestris* L.) der von Eichen (*Q. robur* L.) und Traubenkirschen (*P. serotina* EHRH.) durchsetzt ist.

2. Standort, Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Berliner Grunewald (Jagen 63) durchgeführt. Im Grunewald sind die Leitböden mittelsandige, tiefgründig entkalkte, saure, schwach podsolige Braunerden, die aufgrund der Färbung des B_{sv}-Horizonts als Rostbraunerden bezeichnet werden (MARSCHNER 1990). Seit Beginn der Industrialisierung werden die Berliner Waldböden durch anthropogene Imissionen belastet. So gibt es Hinweise dafür, daß die Säureeinträge bereits zu einer deutlichen pH-Absenkung seit Anfang der 50er Jahre geführt haben (GRENZIUS 1984).

Die Strauchschicht des Bestandes besteht fast ausschließlich aus der Traubenkirsche (*Prunus serotina* EHRH.), in der Krautschicht tritt vereinzelt Grasbewuchs (*Deschampsia flexuosa* (L.) TRIN.) auf. Da die Fläche bei Bestandesbegrünung gepflügt wurde, weist die Bodenoberfläche ein typisches Mikrorelief von sich abwechselnden Gräben und Dämmen auf, das die Untersuchungsarbeiten erheblich erschwert. Die Streuschicht, in erster Linie aus Nadel-, Eichen- und Traubenkirschenblattstreu gebildet, ist zwischen 1-3 cm dick. Der org. Auflagehorizont von 1-10 cm Mächtigkeit ist als ein rohhumusartiger Moder anzusprechen. Aufgrund der sehr geringen Tongehalte (1-2 %) des Mineralbodens findet die Speicherung der verfügbaren Nährstoffe praktisch nur an der organischen Substanz statt und somit muß den Streuzersetzungsprozessen auf und in den Waldböden für die Nährstoffversorgung der Bäume höchste Bedeutung zugemessen werden.

2.1 Düngungsmaßnahme

Im April 1986 und im Mai 1988 (nur mikrobiologische Untersuchungsfläche) wurde eine Kalkung und Düngung von Hand durchgeführt. Der Kalkbedarf des Standorts wurde über die Basenneutralisierungskapazität der oberen 30 cm ermittelt (MEIWES & al. 1984), wobei ein Ziel-pH-Wert von 5,0 zugrundegelegt wurde. Um einem möglichen Ca/K-Antagonismus entgegenzuwirken, erfolgte gleichzeitig eine K-Düngung. Bei dem Kalk handelte es sich um pelletiertes Material aus Dolomit- und Kreidekalk mit einem Anteil von 7,7 % $MgCO_3$. Die Aufwandmenge betrug 6,1 t/ha. Die Patentkaligabe war 145 kg/ha.

2.2 Streuabbauversuch

Auf dem Waldboden wurden Streuabbaubehälter (KRATZ 1990) ausgelegt, die mit Gaze von 1 mm Maschenweite verschlossen waren. In den Behältern befanden sich definierte Mengen von Traubenkirschenblattstreu und Kiefernnadelstreu, deren Gewichtsverluste über einen Zeitraum von 28 und 44 bis 60 Monaten nach der Kalkung ermittelt wurden. Ebenso wurden Streubeutel ("litter bags") mit standörtlicher Feinwurzelstreu (< 2 mm) von Traubenkirsche und Kiefer in den organischen Auflage- und den A_h-Horizont zwei Jahre nach der Kalkungsmaßnahme eingebracht und deren Abbauverhalten untersucht.

2.3 Entnahme von Bodenproben

Auf den Waldflächen wurden an je zehn Punkten Bodenproben mittels eines Bohrstocks gezogen. Nach der Unterteilung in die einzelnen Horizonte wurde jede Probe getrocknet und für den Gesamtaufschluß in einer Wolframcarbidkugelmühle gemahlen.

2.4 Laboranalysen

Die pH-Bestimmung erfolgte an feldfrischen Proben in 0,01 N $CaCl_2$ (Boden:Lösung, 1:2,5). Die Proben der organischen Auflage wurden unter Druck in konz. HNO_3 s. p. in geschlossenen Teflonbomben aufgeschlossen. Die Elementanalytik erfolgte mit der Flammen-AAS für die Makronährelemente und mit Graphitrohr-AAS für die Schwermetalle. Wegen des geringen Tonanteils und der vernachlässigbaren Sorptionsfähigkeit der in der organischen Auflage befindlichen Sandkörner kann davon ausgegangen werden, daß alle von uns gemessenen Elemente für die organische Auflage hauptsächlich an die organische Substanz gebunden sind. Aus diesem Grund werden alle Analyseangaben in Konzentration pro organische Trockensubstanz angegeben. Zur Qualitätskontrolle der Analysen wurden die erforderlichen DIN-Normen beachtet und Standardreferenzmaterialien (NBS, BCR) mitanlysiert.

2.5 Mikrobiologische Methoden

Die mikrobiologische Aktivität der heterotrophen Organismen in den verschiedenen Bodenhorizonten wurde anhand der O_2-Aufnahme (SAPROMAT) der Proben im Labor bei 20°C bestimmt. Für die qualitative Differenzierung der Mikroorganismengruppen kam die Plattengußtechnik mit einer vorgeschalteten Suspensionsmethode zum Einsatz. Gezählt wurden die koloniebildenden Einheiten (KBE) und auf 1 g Trockengewicht Boden bezogen. Für die Bodenpilze und die Hefen wurde ein Malzagar, pH 5,5 mit Penicillin/Streptomyconzusatz zur Unterdrückung der Bakterienentwicklung, benutzt. Für das Spektrum der heterotrophen Bakterien wurde ein Nährboullion-Agar, pH 7,2 mit Actidionezusatz, welches das Wachstum von Bodenpilzen hemmt, eingesetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Bodenchemischer Zustand im Auflagehumus

Bereits fünf Monate nach der Kalkung zeigte sich im Auflagehorizont (O_f/O_h) ein starker Anstieg um bis zu 2,5 pH-Einheiten. Die Konzentration der "Kalkungselemente" Ca und Mg sind signifikant in der L/O_f-Schicht gegenüber der Kontrolle erhöht (Tab. 1). Auch die Al- und Na-Konzentrationen sind erhöht, was auf pH-bedingte verringerte Löslichkeiten, aber auch Applikation mit der Kalkung zurückzuführen ist. Nach MARSCHNER (1990) wurden mit der Kalkung auch 9,2 kg/ha Al und 4,9 kg/ha Na verabreicht. Kalium liegt aufgrund seiner hohen Mobilität in beiden Böden in gleichen Konzentrationsbereichen vor. Die Elementkonzentrationen der Schwermetalle in der L/O_f-Schicht sind in der Kontrollparzelle signifikant höher als in der Kalkungsparzelle (Tab. 1). Diese Ergebnisse zeigen eine starke Mobilität der Schwermetalle in der L/O_f-Schicht für die Kalkparzelle an.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der organischen Auflagehorizonte (L, O_f) auf der Kontrollfläche (Pk) und Düngefläche (Pd) vor und nach der Kalkung
(* = signifikanter Unterschied, $p < 0,05$)

		3/1986		9/1986		8/1987	
		Pk	Pd	Pk	Pd	Pk	Pd
pH	($CaCl_2$)	3.3	3.2	3.2	5.8	3.2	6.4
Ca	(g/kg org. TS)	3.5	3.1	3.7	43.7*	4.9	27.5*
Na	(g/kg org. TS)	80.0	72.0	57.0	72.0*	53.0	79.0*
Al	(g/kg org. TS)	4.4	4.1	3.9	5.0	3.1	4.7*
Mg	(mg/kg org. TS)	240.0	212.0	221.0	2880.0*	210.0	1530.0*
K	(mg/kg org. TS)	836.0	758.0	778.0	718.0	645.0	686.0
Zn	(mg/kg org. TS)	80.0	76.0	68.0	72.0	90.0*	67.0
Cd	(mg/kg org. TS)	0.7	0.6	0.7*	0.4	0.7*	0.5
Cu	(mg/kg org. TS)	34.0	44.0	31.0*	15.0	42.0*	19.0
Pb	(mg/kg org. TS)	122.0	104.0	137.0*	96.0	126.0*	53.0

3.2 Einfluß der Kalkung auf die Mikroorganismen

Eine eindeutige Reaktion auf die Kalkung (4/1986 u. 5/1988) war in der organischen Auflage der Waldböden aus der um etwa eine Zehnerpotenz angestiegenen Zahl der heterotrophen Bakterien zu entnehmen, die bereits jeweils einen Monat nach der Kalkapplikation auftrat (Abb. 1). Für die Gruppe der Streptomyceten, denen eine wichtige Rolle bei der Humussynthese, aber auch während des Humusabbaus zukommt, war ebenfalls ein entsprechender Anstieg der koloniebildenden Einheiten (KBE) zu dokumentieren (Abb. 2). Mikrobielle Reaktionen auf die Meliorationsmaßnahme im Mineralboden wurden erst nach erheblich längerer Einwirkzeit sichtbar und waren wahrscheinlich aufgrund geringerer Änderung im bodenchemischen Zustand weniger ausgeprägt. Deutlich quantitative Verschiebungen der KBE konnten bei den Bodenpilzen nicht belegt werden, obwohl Dominanzverschiebungen einzelner Pilzspezies dokumentiert werden konnten, auf die an anderer Stelle näher eingegangen wird. Die Basalatmung, in unserem Falle der O_2-Verbrauch, ist ein Summenparamter und damit ein Maß für die Assimilationsleistung der mikrobiellen Biomasse aus natürlich verfügbaren Substraten unter Standardbedingungen. Durch die Kalkung wurde die Basalatmung in der Streuauflage deutlich gesteigert und blieb für drei Jahre erhöht (Abb. 3). Für den oberen Mineralhorizont konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden.

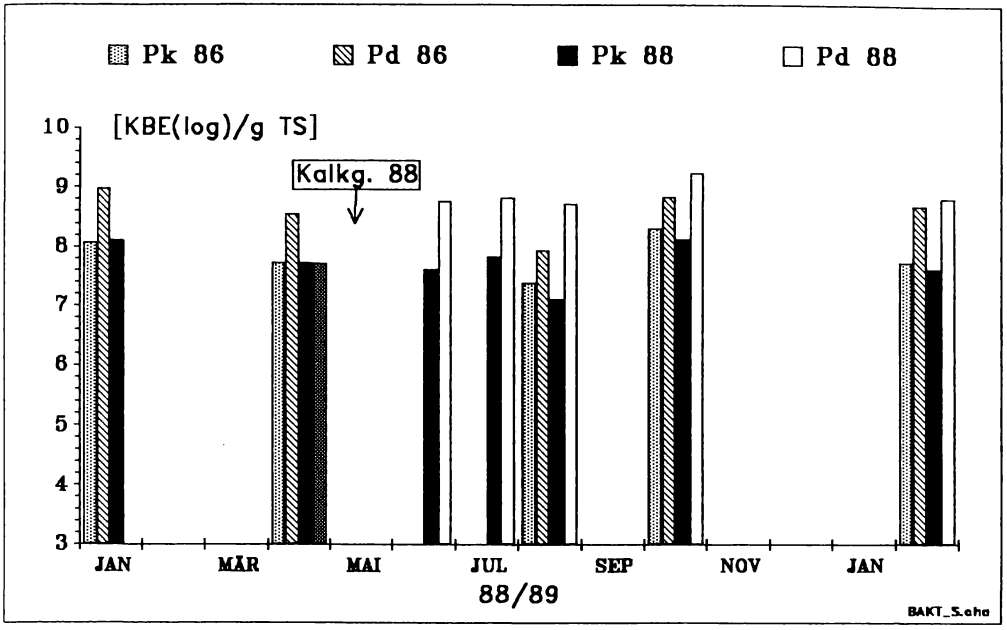

Abb. 1: Bakterienzahlen (KBE) in der organischen Auflage der gekalkten und ungekalkten Parzellen im Berliner Forst Grunewald

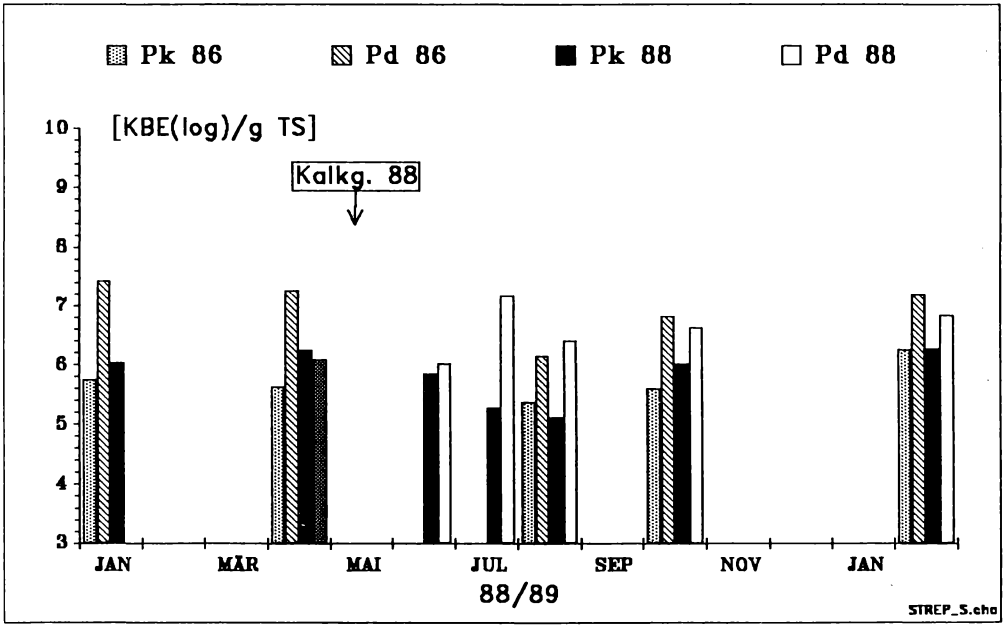

Abb. 2: Streptomycetenzahl (KBE) in der organischen Auflage der gekalkten und ungekalkten Parzellen im Berliner Forst Grunewald

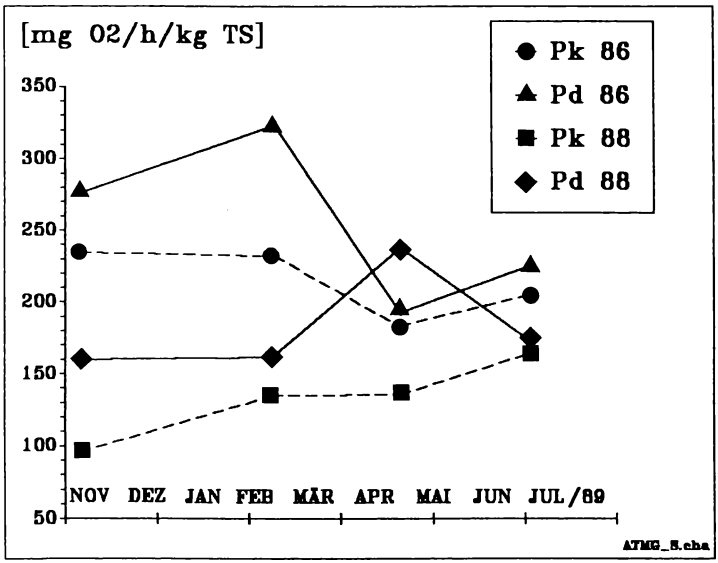

Abb. 3: Basalatmungsraten von Proben der organischen Auflage der gekalkten und ungekalkten Parzellen im Berliner Forst Grunewald

3.3 Einfluß der Kalkung auf die durch Bodenorganismen getragenen Streuabbauprozesse

Nach einem anfänglichen hemmenden Einfluß der Kalkung auf den Traubenkirschenstreuabbau (KRATZ & al. 1991) konnte nach nun dreijähriger Einwirkzeit der Kalkung ein größeres Dekompositionspotential für die Kalkungsfläche beschrieben werden (Abb. 4). Bei der Zersetzung der Wurzelstreu ließen sich aufgrund der hohen Standardabweichungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten ableiten (Abb. 5), eine Berechnung der biologischen Halbwertzeit mit Hilfe der OLSEN-Formel (1963) ergab aber klare Verkürzungen der Abbauzeiten von 15-28 % in den Kalkungsparzellen.

4. Diskussion

Es konnte gezeigt werden, daß die Kalkungs- und Düngungsmaßnahme diverse meßbare Effekte auf den bodenchemischen Zustand und auf Bodenmikroorganismen sowie die durch sie getragenen Prozesse hat. Positiv zu bewerten, jedoch hier nicht weiter ausgeführt, war die Erhöhung der Pufferkapazität sowie die damit stärkere Belegung am Austauscher mit Ca- und Mg-Ionen und die Verbesserung des Ca/Al-Verhältnisses (MARSCHNER 1990), wodurch sicherlich ein günstigeres bodenchemisches Milieu für die Baumwurzeln hergestellt wurde.

Die Schwermetalle zeigten in der Streuauflage unterschiedliche Lösungsverhalten und Mobilitäten. Blei reicherte sich sehr stark während der Zersetzung der Kiefernnadeln und der Traubenkirschenstreu an, während Zink und Cadmium zu größerer Mobilität neigten (KRATZ 1991). Das hohe Fixierungsverhalten der organischen Substanz für Blei ist auf die Bildung schwerlöslicher hochmolekularer Komplexe zurückzuführen (KÖNIG 1985). Da die Pb-Löslichkeit nur eine schwache Beziehung zum pH aufweist (BRÜMMER & HERMS 1983), müssen die geringeren Bleikonzentrationen in den Streuauflagen der gekalkten Fläche auf die verstärkte Bildung löslicher organischer Komlexe aus Mineralisationsprozessen zurückgeführt werden. KÖNIG & al. (1986) konnten ebenfalls eine deutliche Beziehung zwischen dem DOC (dissolved organic compound) und den Bleikonzentrationen nachweisen.

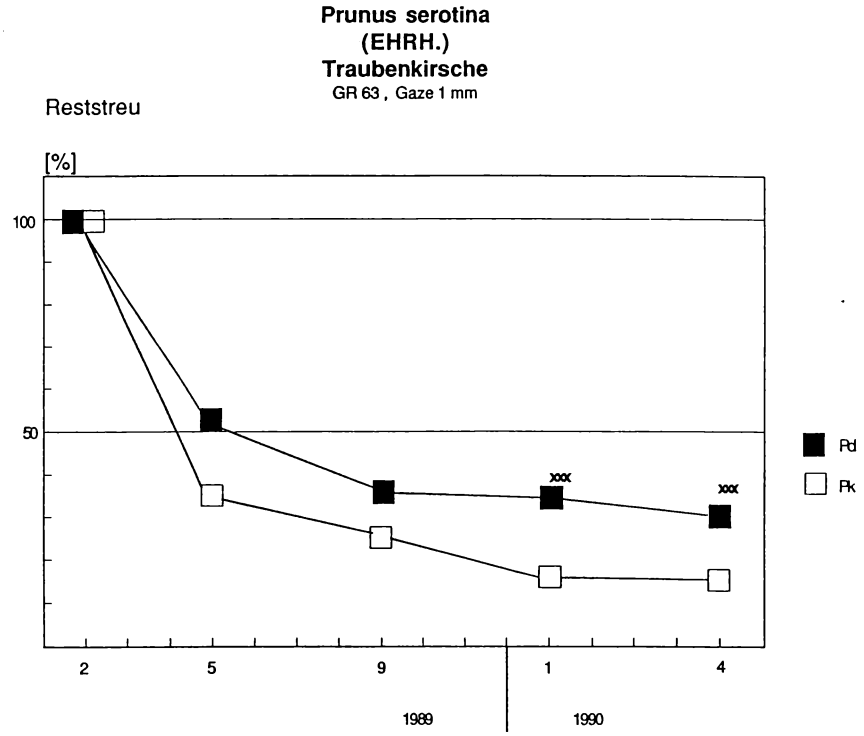

Abb. 4: Zersetzungsverlauf von Traubenkirschenstreu in gekalkten und ungekalkten Parzellen im Berliner Forst Grunewald

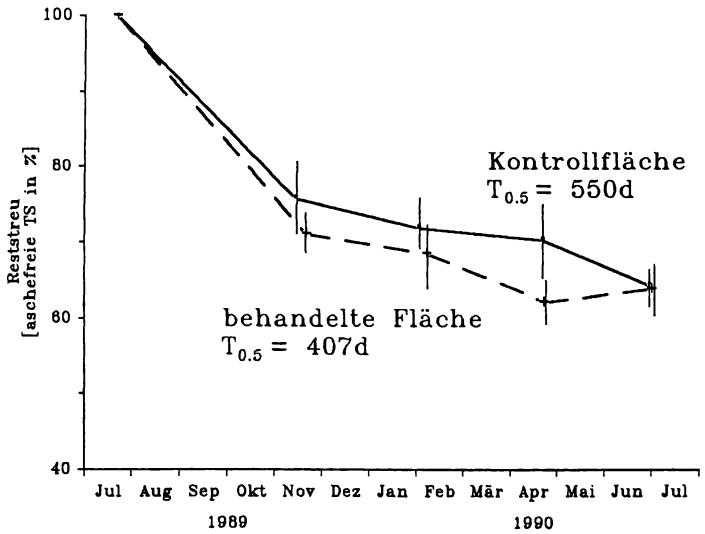

Abb. 5: Zersetzungsverlauf von Kiefernwurzelstreu im A_h-Horizont im Berliner Forst Grunewald (– Kontrollfläche, - - Kalkfläche, T 0,5 k = Biologische Halbwertzeit)

Dagegen wird die Löslichkeit von Zink und Cadmium in erster Linie durch den pH-Wert bestimmt (BRÜMMER & HERMS 1983). Die geringeren Konzentrationen in der Streuschicht der Kalkungsparzelle zeigten, daß hier andere Prozesse als beim Blei eine Rolle spielen müssen. Vorstellbar ist ein Antagonismus zwischen den applizierten Kalzium- und Magnesiumkationen mit den deponierten Schwermetallspezies um potentielle Bindungsplätze an der organischen Matrix. ZECH & al. (1987) wiesen auch schon auf diese Möglichkeit hin.

Die Kalkungsmaßnahme führte insgesamt zu einer erhöhten Streuzersetzungsrate und Schwermetallmobilität. Dies ist insofern problematisch, da die Senke "Streu" nun die in sie deponierten Schwermetalle schneller dem geogenen Kreislauf wieder zuführt und durch eine geringere Mächtigkeit ihre ökosystemare Senkenfunktion nicht in herkömmlicher Weise wahrnehmen kann.

Für die autochtone acidophile Bodenbiozönose fand durch die Kalkungsmaßnahme eine drastische Veränderung statt. Neben der starken Erhöhung der Regenwurmdiversität und Abundanzen (KRATZ & al. 1991) kam es insbesondere im Bereich der Bodenmikroflora, hier sind vor allem die saprophytischen Bakterien und Bodenpilze zu nennen, zu erheblichen quantitativen und qualitativen Veränderungen, die zu einer insgesamt höheren biologischen Aktivität führten. Dieses neue energetische und stoffliche Umsatzniveau bei gleichzeitiger hoher Stickstoffdeposition führt das normalerweise durch natürliche Säureproduktion und N-Mangel gekennzeichnete Kiefernforstökosystem in eine andere Stoffumsatzdynamik. Humuszehrung und Nitratauswaschung wie sie von MARSCHNER (1990) in Erwägung und für die Nitratauswaschung auch klar belegt werden konnte, zeigen eine neue Disbalance im Nährstoffhaushalt dieses Waldökosystems an. Ausgehend von den vorgestellten Ergebnissen dürfen Kalkungsmaßnahmen nicht nur anhand der Biomassenproduktion der Wirtschaftsbaumarten beurteilt werden, sondern alle Ökosystemkompartimente inklusive ihrer biotischen Glieder und Prozesse müssen in ihrer Reaktion auf diese Maßnahmen gesehen werden.

Danksagung

Die dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Arbeiten sind Bestandteil des interdisziplinären Projektes "Ballungsraumnahe Waldökosysteme", das als gemeinsames FE-Vorhaben von Umweltbundesamt und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz finanziert und in deren Auftrag durchgeführt wird. Publikationsnummer 24 aus dem Forschungsprojekt: "Ballungsraumnahe Waldökosysteme".

Literatur

ALDINGER, E., 1986: Wirkungen älterer Kalkungen in Fichten-Tannen-Beständen des Buntsandstein-Schwarzwaldes. IMA-Querschnittseminar, KFA Karlsruhe: 64-72.

BELF (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN), 1989: Waldschadensbericht - Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1989.

BRÜMMER, G. & U. HERMS, 1983: Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils. In: B. ULRICH &. J. PANKRATH (eds.): Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel, Dordrecht: 233-243.

GRENZIUS, R., 1984: Starke Versauerung der Waldböden Berlins. Forstw. Cbl. 103: 131-139.

KÖNIG, N., 1985: Molekülgrößenverteilung, Komplexierungs- und Adsorptionsverhalten natürlicher organischer Substanzen eines sauren Waldbodens und ihr Einfluß auf die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung. Mitt. Deut. Bodenkdl. Ges. 43/I: 383-388.

KÖNIG, N., BACCINI, P. & B. ULRICH, 1986: Der Einfluß der natürlichen organischen Substanzen auf die Metallverteilung zwischen Boden und Bodenlösung in einem sauren Waldboden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 149, Weinheim: 68-82.

KRATZ, W., 1991: Dekompositionsprozesse in ballungsraumnahen Waldökosystemen unter Berücksichtigung der Elementflüsse in der Streuschicht. Verh. Ges. Ökol. 19: im Druck.

KRATZ, W., BROSE, A. & G. WEIGMANN, 1991: The influence of lime application in damaged pine forest ecosystems in Berlin (FRG): soil chemical and biological aspects. In: RAVERA, O. & A. RENZONI (eds.): Terrestrial and aquatic ecosystems, perturbation and recovery. E. Horwood Ltd., London: 464-471.

MARSCHNER, B., 1990: Elementumsätze in einem Kiefernforstökosystem auf Rostbraunerde unter dem Einfluß einer Kalkung/Düngung. Ber. Forschungz. Waldökosysteme, Reihe A: 60.

MEIWES, K. J., KÖNIG, N., KHANA, P. K., PRENZEL, J. & B. ULRICH, 1984: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme 7: 67.

OLSEN, J. S., 1963: Energy storage and balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44: 322-332.

SCHIERL, R. & K. KREUTZER, 1989: Dolomitische Kalkung eines Fichtenbestandes auf saurer Parabraunerde: Auswirkungen auf Bodenchemie und Vegetation. Kali-Briefe 19: 417-423.

THOMASIUS, H., 1989: Möglichkeiten und Grenzen waldbaulicher Maßnahmen: Erfahrungen in der DDR. Vortrag Int. Kongreß Waldschadensforschung: Wissenstand und Perspektive. Friedrichshafen 2.-6.10.89.

ULRICH B., MAYER, R. & P. KHANNA, 1979: Deposition von Luftverunreingiungen und ihre Auswirkungen im Solling. Schriften Forstl. Fak. Uni. Göttingen 58: 290.

Adressen

Martin Rose
Dr. Werner Kratz
Freie Universität Berlin
Inst. Zoologie
AG Bodenzoologie u. Ökologie
Tietzenweg 85-87

W - 1000 Berlin 45

Andreas Brose
Technische Universität Berlin
Inst. Biochemie und Molekularbiologie
AG Botanik und mikrobielle Chemie
Franklinstr. 29

W - 1000 Berlin 10

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 20_1_1991

Autor(en)/Author(s): Kratz Werner, Rose Martin, Brose Andreas

Artikel/Article: Der Einfluß von Kalkungsmaßnahmen auf bodenchemische und bodenbiologische Prozesse in einem geschädigten Kiefern-Eichenforst in Berlin (Grünewald) 441-449