

## DIE VERÄNDERUNG VON WALDBÖDEN DURCH FORSTWIRTSCHAFTLICHE MASSNAHMEN

Karl E. Rehfuess

### 1. Einleitung

Die Wirkung von forstwirtschaftlichen Maßnahmen in Wäldern allgemein und auf Waldböden im besonderen beschäftigt die Forstleute seit den Anfängen einer forstlichen Standortforschung am Ende des vorigen Jahrhunderts. Dies beweist etwa die Geschichte der Auseinandersetzungen um die Effekte von Streunutzung und Coniferenreinanbau. Die Diskussion um diese Fragen ist in den letzten beiden Jahrzehnten erneut aufgelebt aus mehreren Gründen:

Zum einen berücksichtigen Forstleute stärker als früher, daß der Waldbau nicht nur auf die Sicherstellung aller Waldfunktionen für die jetzige und künftige Gesellschaft ausgerichtet sein darf. Vielmehr gilt es, die Wälder als die wohl letzten, einigermaßen naturnah gestalteten Landschaftsbereiche um ihrer selbst willen zu pflegen und diese einzigartigen Gefüge vielgestaltiger Lebensgemeinschaften möglichst mit ihrem ganzen Artenspektrum und ihren breiten Genresourcen zu erhalten.

Zweitens ist den Forstleuten erst in den letzten Jahrzehnten klar geworden, wie eng die vorkommenden Waldformen und ihre Reaktionen auf menschliche Eingriffe vom Standort abhängen, und worauf diese Abhängigkeit im einzelnen beruht. Diese Einsichten verdanken wir der modernen Standortserkundung.

Weiters gelingt es der forstökologischen Forschung immer besser, die natürlichen Vorgänge in Waldökosystemen und die Wirkungen waldbaulicher Maßnahmen zu bewerten. Zwar bleibt noch viel zu tun, um dieses Wissen zu vermehren. Dennoch sind genügend Informationen vorhanden, um die Effekte vieler Eingriffe, über die man früher nur spekulieren konnte, nunmehr präzise abzuschätzen.

Viertens hat sich auch die Einstellung der Öffentlichkeit gewandelt. Die Wälder werden von mehr Menschen immer intensiver beansprucht und begangen. Die Forstleute in allen Ländern sehen sich einer kritischen öffentlichen Meinung gegenüber. Dies mag

unbequem sein. Weil die neue Situation jedoch zwingt, forstwirtschaftliches Handeln immer wieder neu zu überdenken, sehe ich darin grundsätzlich einen Fortschritt, so lange die Partner zu sachlicher, kritischer Diskussion bereit und in der Lage sind.

Ist eine solche Prüfung jedoch überhaupt erforderlich? Das moderne Forst- und Landesplanungsrecht in der Bundesrepublik und in den einzelnen Ländern nennt als Ziele der Forstwirtschaft die Erhaltung und Pflege standortgemäßer, naturnaher stabiler Wälder. Sie sind nachhaltig zu bewirtschaften so, daß sie alle Funktionen im Landschaftshaushalt und für die menschliche Gesellschaft dauerhaft und optimal erfüllen. Die Belange von Naturschutz, Landschaftspflege und Wasserwirtschaft sind insbesondere in den öffentlichen Waldungen zu berücksichtigen.

Die ökologische Grundforderung nach pfeglichem Umgang mit den natürlichen Lebensgrundlagen ist demnach im Gesetzesauftrag für die Forstwirtschaft verankert. Dennoch ist die Frage berechtigt, wie weit die Waldbesitzer diesem Anspruch gerecht werden. Die Bindung an lange Produktionszeiträume, eine dadurch begründete geringe Flexibilität, Abwanderung von Arbeitskräften, nicht kostendeckende Erlöse für viele Erzeugnisse und Dienstleistungen erzwingen Rationalisierung und Mechanisierung in einem Umfang, der die ökologischen Ziele gefährdet. Vollerorts wird die Situation noch verschärft durch überhöhte Schalenwildpopulationen.

Daher ist es unumgänglich, daß wir die Effekte von forstlichen Maßnahmen in den sehr verschiedenartigen Wäldern unserer Heimat immer klarer zu erkennen versuchen, um die Bewirtschaftung danach auszurichten und so sowohl die betriebswirtschaftlichen Ziele als auch den umfassenden Gesetzesauftrag optimal zu erfüllen. Neben der forstwirtschaftlichen Manipulation der Waldökosysteme sind darüber hinaus auch die mittelbaren Wirkungen anthropogener Aktivitäten wichtig, wie z. B. die steigende Belastung durch Schadstoffe aus der Atmosphäre. Den Standortskundler interessieren dabei vor allem die Wirkungen auf die Böden.

Ich will versuchen, zu ausgewählten Fragenkomplexen den gegenwärtigen Wissensstand zu umreißen!

## 2. Wirkungen von Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf der Kahlfäche

Aus vielen alten und neueren Untersuchungen ist bekannt, daß Vollumbruch auf 40 – 50 cm Tiefe und vollflächiges Fräsen das Bodengefüge nur geringfügig verbessern, jedenfalls gemessen an dem hohen Energie- und Kosteneinsatz. Eine anhaltende Lockerung wird nur für jene Horizonte erzielt, in die humoser Oberboden oder Vegetationsrückstände eingearbeitet werden, und wo im Anschluß daran die Durchwurzelung zunimmt.

Die intensive Bearbeitung durch Pflug und Fräse löst jedoch auf den meisten meliorationsbedürftigen Standorten beträchtliche Humusverluste vor allem aus der organischen Auflage aus, weil die Mineralisation durch das günstigere Freiflächenklima, durch Lockerung und Durchmischung beschleunigt abläuft.

Eine Literaturübersicht zeigt, daß auf der Kahlfäche je nach Substrat, Humusform und -menge, Meliorationsverfahren und je nach der Dauer der Wiederbegrünung Humusverlusten zwischen etwa 15 und 40 % auftreten (REHFUESS 1981). Solcher Humuschwund ist zwangsläufig gekoppelt mit Stickstoffverlusten. Nach Studien in den verschiedensten Waldgebieten ist nach Kahlschlag während der Kulturphase in der Regel mit einem Stickstoffschwund aus dem Boden zwischen 250 – 900 kg/ha zu rechnen (REHFUESS 1981). In einem Oberpfälzer Experiment waren die Stickstoffvorräte der Böden auf der unbearbeiteten Kahlfäche um 440 kg/ha, auf der gefrästen Freifläche um 930 kg/ha und auf der Vollumbruchparzelle um 660 kg/ha niedriger als die mutmaßlichen Ausgangswerte (*Übersicht 1*). Das sind relative Verluste von 14, 31 und 22 %. Dabei war in diesen Abweichungen ein Eintrag von 115 kg/ha Düngerstickstoff noch gar nicht berücksichtigt. Ein Teil des freigesetzten Mineralstickstoffs wurde zwar von der Vegetation wieder aufgenommen und inkorporiert, wodurch die Ökosystemverluste sich auf 370 – 860 kg/ha verringerten. Da das in der Phytomasse der jungen Kiefernbestände gebundene Stickstoffkapital jedoch kaum variierte, blieb die Abstufung der Stickstoffverluste nach Bearbeitungsverfahren erhalten. Stickstoffschwund in dieser

Größenordnung setzt auf stickstoffarmen Substraten zweifellos die Standortsfruchtbarkeit herab. So ist damit zu rechnen, daß die künftigen Stangenhölzer auf den gefrästen und gepflügten Flächen trotz erheblicher Einnahmen mit den Niederschlägen unter Stickstoffmangel kommen werden, wenn der Bestand in die Phase des höchsten Nährstoffbedarfs eintritt und gleichzeitig ein beachtlicher Teil des Stickstoffkapitals in der sich neu bildenden organischen Auflage immobilisiert wird (MILLER 1969).

Weiter ist zu berücksichtigen, daß in vielen gut drainierten und durchlüfteten Böden in der Regel ein Teil des aus organischer Bindung freigesetzten Ammoniumstickstoffs mikrobiell zu Nitraten oxidiert wird. Nitrat-Anionen sind im Boden leicht beweglich und können, sofern sie nicht von der Vegetation oder den Mikroorganismen aufgenommen werden, vom Sickerwasser zusammen mit einer äquivalenten Menge von Begleitkationen ausgespült werden. So gelangen sie ins Grundwasser und in die Quellen. Werden dabei bestimmte Grenzkonzentrationen überschritten, so wirken die Nitrate nach bisherigem Kenntnisstand eutrophierend oder können die Brauchbarkeit dieser Wässer für Trinkwasserzwecke beeinträchtigen.

Diese hohen Humus- und Stickstoffverluste bei intensiver Bodenbearbeitung auf der Freifläche lassen sich nur vermeiden, wenn die organischen Massen tief in den Unterboden eingepflügt werden, wo die Mineralisation bei gebremster Sauerstoffzufuhr verzögert abläuft (HETSCH, KRAMER u. WESSELS 1981). Abgesehen von den hohen Kosten und der schwierigen technischen Durchführung einer solchen Melioration kommt es dabei zwangsläufig zum "Heraufpflügen" von humusarmen, wenig belebtem Unterboden. Dies macht weitere Ausgleichsmaßnahmen erforderlich, z. B. Düngung und Leguminosen- oder Erlenanbau.

Somit ist für die Bestandesverjüngung allgemein und für Meliorationseingriffe im besonderen unter mitteleuropäischen Verhältnissen zu empfehlen:

Die Natur- oder Kunstverjüngung ist unter Altholzschirm unter Verzicht auf Freilage, Bodenbearbeitung und Beseitigen der Bodenvegetation auszunutzen, wo immer Standort, Altholzzustand und Verjüngungsziele dies zulassen.

Sofern Kahlfächen unvermeidlich sind, ist ihre Größe zu begrenzen, um die damit verbundenen Kohlenstoff-, Stickstoff- und Ba-

Kompartiment	org. Kohlenstoff (t/ha)				Stickstoff (kg/ha)			
	Versuchsglied				Versuchsglied			
	A	U	F	V	A	U	F	V
Kiefernspresse Kiefernwurzeln 4 mm Bodenflora-Sprosse Feinwurzeln 4 mm <u>Phytomasse insges.</u>	n. b.				-	48	69	72
	n. b.				-	2	3	3
	n. b.				41	49	47	23
	n. b.				48	56	34	29
Organische Auflage Mineralboden 0 – 50 cm <u>Solum insges.</u> Abweichung vom Altholz- vergleichswert	31,7	9,7	3,1	3,0	897	268	78	67
	37,0	39,4	44,3	35,2	2138	2328	2029	2307
	68,7	49,1	47,4	38,2	3035	2596	2107	2374
	-	19,8	21,3	30,5	-	- 439	- 928	- 661
<u>Ökosystem insges.</u> Abweichung vom Altholz- vergleichswert Düngungsinput	n. b.				3124	2751	2260	2501
	n. b.				-	- 373	- 864	- 623
	n. b.				-	115	115	115
	n. b.				-	115	115	115

∞ Übersicht 1 : Vorräte an organischem Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff in den Ökosystemen 8 Jahre nach Versuchsbeginn  
Einflüsse der Steingehaltsunterschiede covarianzanalytisch ausgeschaltet, Lockerung berücksichtigt  
(Aus REHFUESS 1981)

senverluste sowie mögliche Belastungen des Stoffhaushalts ganzer Landschaften zu minimieren.

Auf der Freifläche selbst sind Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die Beseitigung der Bodenvegetation auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Auf Herbizide sollte man schon deshalb weitgehend verzichten, damit die Funktion der Schlagflora für die Speicherung von Nährstoffen nicht gefährdet wird. Allenfalls ist ein gezielter, punktueller Einsatz zulässig.

Kalkung und Phosphatdüngung müssen kurz vor dem Abtrieb des Altholzes oder auf der Kahlfäche unterbleiben, um die bei Freilage ohnehin beschleunigten Stoffumsetzungen und v. a. die Nitrifikation nicht noch weiter anzuregen. Sofern eine Phosphor- und Basenzufuhr erforderlich wird, ist sie in die Baumholzphase zu legen. Sollte in den Kulturen später Stickstoff-, Phosphor- oder Magnesiummangel auftreten, kann er durch eine vorsichtig bemessene Düngung beseitigt werden.

Längs der Bachläufe sind Waldstreifen möglichst als Dauerbestockung zu erhalten. Sie sollen als Filter gegen eine laterale Stoffzufuhr in die Vorfluter mit dem Hangzugwasser und als Fallen für erodiertes Material wirken. Gleichzeitig verhindern sie Besonnung und Erwärmung der Bäche.

### 3. Einflüsse der Vollbaumernte auf den Nährstoffhaushalt mitteleuropäischer Wälder

Angesichts zunehmender Rohstoffverknappung drängen insbesondere die industriellen Holzverbraucher darauf, einen größeren Teil der Baumphytomasse zu nutzen. Zusätzlich zum Schaft- und Astholz will man auch Feinäste, Reisig, Rinde, Blätter, Stöcke und (bei der sog. Ganzbaumernte) auch die Wurzeln gewinnen.

Eine solche Vollbaumnutzung bedeutet im Vergleich zu konventioneller Ernte höhere Entzüge an organischen Stoffen und Nähr-elementen. Gewarnt durch die schlechten Erfahrungen, die die Forstleute in weiten Teilen Mitteleuropas mit jahrhundertelanger "Intensivnutzung" einschließlich Streurechen machten, ist zu prüfen, wie sehr diese neuen Nutzungsverfahren die Nährstoffbilanzen der Waldökosysteme belasten. Da hierzu kaum experimentelle Ergebnisse vorliegen, bleibt vorerst nur der Weg, die Effekte über Computersimulation (ULRICH 1975) oder durch Modellrechnungen für Ertragstafelbestände (KREUTZER 1979, KRAPFENBAUER 1981) grob abzuschätzen.

Tatsächlich steigen durch den Übergang zur Ganzbaumnutzung die Nährelemententzüge vor allem bei den Coniferen gegenüber der herkömmlichen Gewinnung des Drehholzes ohne Rinde auf das Mehrfache. Dies ist verständlich, denn Reisig, Rinde, Blätter, Feinwurzeln und Knospen sind besonders reich an Nährelementen. Die Entzüge pro Jahr sind deshalb auch um so größer, je kürzer die Umtriebszeit ist, je mehr also Reisig, Rinde und Blätter an der genutzten Phytomasse beteiligt sind.

Stellt man den durchschnittlichen jährlichen Ernteentzügen an Nährelementen die übrigen, jährlich regelmäßig anfallenden Ein- und Austragsgrößen des Bioelementhaushalts gegenüber, kommt man zu einer Jahresbilanz der Ökosysteme (*Übersicht 2*). Dabei haben wir auf der Einnahmenseite die Lösungsfracht der Niederschläge, die Staubeinwehung, die Ausfilterung und Bindung von Aerosolen und Gasen aus der Atmosphäre und eventuelle Düngung zu berücksichtigen. Auf der Ausgabenseite müssen neben den Ernteentzügen die Verluste durch Auswaschung, Abspülung, Auswehung und gasförmige Entbindung eingesetzt werden. Eine solche Jahresrechnung zeigt, daß die Stickstoffbilanzen unabhängig vom Nutzungsverfahren trotz hoher Entzüge in den meisten Fällen positiv sind. Die Waldökosysteme werden also offensichtlich mit Stickstoff angereichert, weil im stark industrialisierten, dichtbesiedelten Mitteleuropa jährlich zwischen 10 und 30 kg/ha Stickstoff mit den Niederschlägen eingetragen werden. Lediglich in wüchsigen Fichtenbeständen würden durch Vollbaumernte die Stickstoffvorräte des Standorts allmählich abgebaut. Für die übrigen Nährelemente gilt dagegen, daß die Bilanz auch bei konventioneller Nutzung in der Regel bereits negativ ist. Bei Vollbaumernte steigen diese Nettoverluste noch erheblich an, auch wenn man bedenkt, daß je nach Verfahren zwischen 5 und 30 % des sog. Abraums zwangsläufig auf der Schlagfläche verbleiben.

Der durch Vollbaumernte verstärkte Nettoexport von Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium geht zwangsläufig zu Lasten der Bodenvorräte. Ob und wie rasch unter solchen Bedingungen Nährstoffmangel auftritt, hängt von deren Höhe und Mobilisierbarkeit ab. Vermutlich werden lehmige, basen- und silikatreiche Substrate mit hohen Humusvorräten und guter Nährelement-Nachlieferung aus Verwitterung und Mineralisation diese erhöhten Nutzungsexporte zumindest für mehrere Generationen verkraften können,

ohne in ihrer Fruchtbarkeit erheblich beeinträchtigt zu werden. Auf steinigem, silikat- und basenarmen, schwach humosen Böden dagegen dürfte die Ganzbaumnutzung schon nach wenigen Rotationen die geringen Ausgangsvorräte an nachlieferbarem Phosphor, Calcium und Magnesium soweit erschöpfen, daß Ausgleichsdüngungen nötig werden. Diese sind ihrerseits nicht unproblematisch.

Bei dieser Betrachtung wurden die Effekte des verstärkten Entzuges an organischen Stoffen auf Humusvorräte und Humusform noch nicht berücksichtigt. Die auf der Schlagfläche verbleibenden Reisig- und Rindenmengen wirken darüber hinaus als Mulchdecke, mindern die Erosion, begünstigen das Bodentemperatur- und -wasserregime und fördern deshalb gewöhnlich das Wachstum

der nachfolgenden Baumgeneration. Auch darf die Vollbaumernte nicht isoliert betrachtet werden, geht sie doch vor allem bei der Endnutzung gewöhnlich mit größeren Hiebsflächen, dem Einsatz schwerer Maschinen, und Beschränkungen in der Baumartenwahl auf der Freifläche einher. Ein sicheres Urteil über die komplexen Wirkungen aller dieser Eingriffe in Abhängigkeit von den betroffenen Systemen und Standorten ist z. Zt. nicht möglich; hier bedarf es noch dringend neuer, langfristig konzipierter und möglichst vielfältig gestreuter Experimente. Immerhin mahnen jedoch die Ergebnisse der ersten Modellrechnungen zu größter Vorsicht vor allem auf den weniger leistungsfähigen Standorten, in hängigem Gelände sowie in Erholungs- und Wasserschutzwäldern.

	N	P	K	Ca	Mg
	- kg/ha -				
1. Gesamter Eintrag	18 (10-33)	0,4 (0,1-0,7)	4 (2-10)	16 (3-45)	3 (1-13)
2. Gesamter Austrag					
a) ohne Nutzung	6 (2-20)	0,03 (0,005-0,1)	6 (2-17)	18 (7-20)	4 (2-10)
b) einschließlich Nutzung des Derbholzes o.R.	8	0,2	8	22	5
c) einschließlich Nutzung der Vollbäume (100 %)	20	1,5	15	29	6
3. Bilanz					
bei Derbholznutzung o. R.	+ 10	+ 0,2	- 4	- 6	- 2
bei Vollbaumnutzung	- 2	- 1,1	- 11	- 13	- 3

Übersicht 2 : Jährliche Nährelementbilanzen für eine Fichtenbetriebsklasse I. Bonität auf nährstoffreichen Standorten bei verschiedenen Erntesystemen

(nach KREUTZER 1979)

#### 4. Wirkungen von Düngung und Lupinenunterbau in Kiefernbaumholzbeständen

Aus der Kenntnis der Vollumbruch- und Fräseffekte auf der Freifläche wurde die Empfehlung abgeleitet, Meliorationsmaßnahmen – soweit sie erforderlich sind – möglichst in die Baumholzphase zu legen, wenn der Bestand intakt und die Chance groß ist, daß die durch Düngung zugeführten oder vermehrt freigesetzten Nährstoffe im Ökosystem gehalten und genutzt werden. Wie dies geschehen kann, zeigen zwei vor kurzem ausgewertete Versuche in Kiefernbeständen der Oberpfalz (v. PREUSSLER u. REHFUESS 1982). Sie wurden angelegt, um die Auswirkungen wiederholter Stickstoffdüngung mit den Effekten des Lupinenunterbaus zu prüfen. Beide Formen der Stickstoffeinbringung in Wäldern werden auf der Basis gleicher Grunddüngung mit  $\text{CaCO}_3$ , Thomasphosphat und Patentkali verglichen.

Für den Versuch *BUL 235 Pustert* zeigte die erste dargestellte Beobachtungsperiode ausgeprägte Reaktionen auf die verschiedenartigen Meliorationsmaßnahmen (Abb. 1). In allen drei Perioden war die Volldüngung den anderen Versuchsgliedern weit überlegen. Die Mehrleistungen erreichten etwa 3,7 VfmD jährlich. Die Variante "CaPKMg mit Fräsen und Lupinenunterbau" reagierte träger mit 0,4 VfmD Mehrzuwachs in der ersten Periode und 1,5 VfmD im zweiten Abschnitt. Sie zeigte aber im dritten Zeitraum eine weiterhin steigende Tendenz mit einem Mehrzuwachs von inzwischen 3,1 VfmD gegenüber ungedüngt (0). – Der Parallelversuch *WAL 234* brachte prinzipiell die gleichen Ergebnisse.

Diese Zuwachsreaktionen lassen sich durch die meliorationsbedingten Änderungen im Ernährungszustand der Kiefernbestände gut erklären! In beiden Experimenten ließ die Grunddüngung mit CaPKMg, kombiniert mit dreifach wiederholter N-Düngung noch im ersten Versuchsjahr die Stickstoff- und Phosphorspiegel der Kiefern und ihre Nadelgewichte ansteigen (Abb. 2 u. 3). Von 1964 – 1980 lagen die Kiefern dieses Versuchsglieds bezüglich sämtlicher drei Kennwerte an der Spitze. Dies ist die Ursache für ihre bislang überlegene Wachstumsleistung.

Die für einen erfolgreichen Lupinenunterbau unerläßliche Bodenbearbeitung durch Fräsen beschädigte die Kiefernwurzeln beträchtlich und bewirkte vorzeitiges Schütten älterer Nadeln. Die so beeinträchtigten Bäume waren anfangs offenbar nicht in der Lage, das

vermehrte Angebot von Phosphor und Stickstoff aus Düngung und beschleunigter Mineralisation auszunutzen. Ihre N- und P-Spiegel verharrten deshalb zunächst trotz verringerter Nadelmasse auf dem Niveau der Kontrollkiefern. Die Nadelgewichte waren stark abgesenkt. Diese Beobachtungen erklären den Zuwachsverlust von etwa 5 – 10 %, mit dem in den ersten 3 – 4 Jahren nach dem Unterbau gerechnet werden muß.

Erst nach einer Verzögerung von 3 – 7 Jahren verbesserte sich allmählich die N- und P-Versorgung der unterbauten Kiefern. In den Jahren seit etwa 1975 übertrafen sie mehrfach das Versorgungsniveau ihrer vollgedüngten Nachbarn. Entsprechend beschleunigte sich auch der Zuwachs. Insgesamt ergibt sich das Bild einer weitgehend synchronen Entwicklung von Stickstoff- und Phosphorennährung sowie Zuwachsverhalten!

Abb. 1 : Durchschnittlicher jährlicher Volumenzuwachs von Kiefernbeständen in Oberpfälzer Meliorationsexperimenten (aus v. PREUSSLER u. REHFUESS 1982)

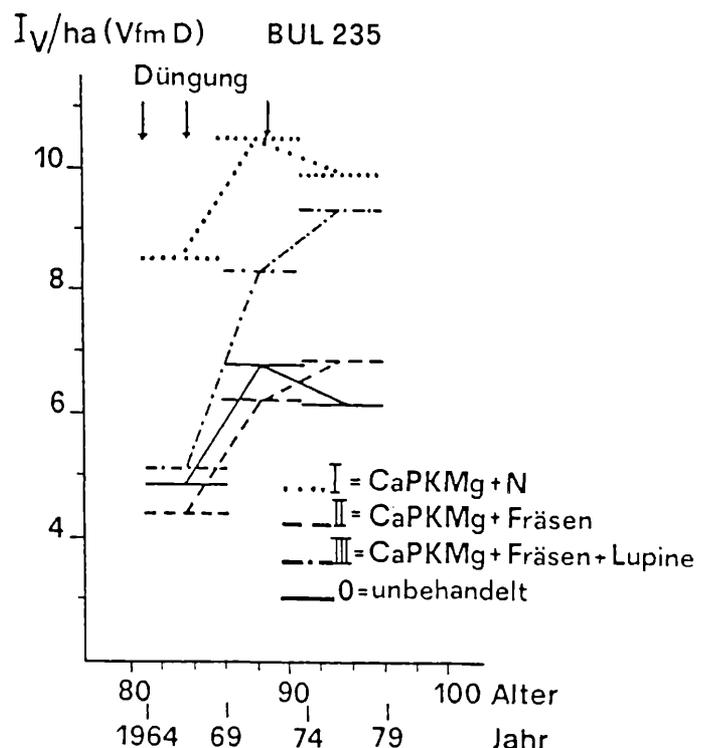
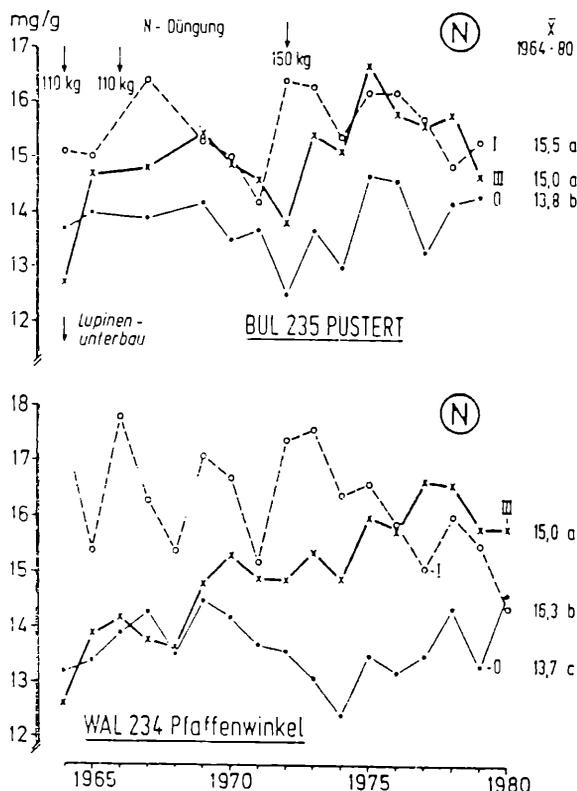


Abb. 2 :

Stickstoffgehalte halbjähriger Kiefernadeln von Kiefernbeständen in Oberpfälzer Meliorationsexperimenten

(aus v. PREUHLER u. REHFUESS 1982)

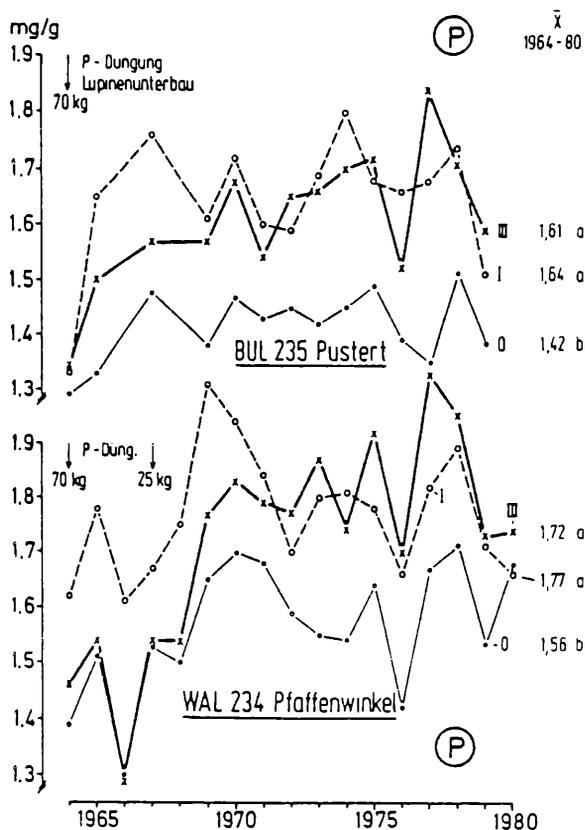


Im Versuch BUL 235 haben wir auch die Auswirkungen beider Meliorationseingriffe auf den Oberbodenzustand, den Streufall und die Bodenvegetation umfassend geprüft (Übersicht 3). Demnach ließen Kalkung und P-Düngung in beiden Meliorationsvarianten die pH-Werte sowie die Ca- und P-Vorräte in der organischen Auflage und im obersten Mineralbodenbereich ansteigen. Der inaktive Rohhumus der Kontrollparzellen war auf den vollgedüngten Feldern durch Moder, auf den mit Lupine unterbauten Flächen durch Mull abgelöst. Dieser Umschlag in der Humusform erfolgte bei Volldüngung schonlich und ohne Humusverlust. Der Humusschwund aus der organischen Auflage wurde hier durch Mehrung im Mineralboden nahezu aufgewogen. Auch das Stickstoffkapital im Oberboden und die Stickstoffmineralisation waren deutlich verbessert.

Abb. 3 :

Phosphorgehalte halbjähriger Kiefernadeln von Kiefernbeständen in Oberpfälzer Meliorationsexperimenten

(aus v. PREUHLER u. REHFUESS 1982)



Auf den mit Lupine unterbauten Parzellen stimulierten die durch das Fräsen bewirkte Lockerheit, das Vermischen von Auflagehumus und Mineralboden, die Zufuhr von Basen und Phosphor und die Produktion leicht zersetzlicher Lupinenstreu die Streuzersetzung so stark, daß insgesamt ein Humusverlust von 12 % eintrat. Er erfolgte vor allem aus der Auflage, während die Humusvorräte im oberen Mineralboden dank des Einmischens von Auflagehumus und Bodenvegetation und wegen der Produktion an Lupinenwurzelmasse zunahm. Der Stickstoffvorrat im Oberboden stieg um 15 %, die Stickstoffmineralisation war besonders gefördert. Wir müssen jedoch davon ausgehen, daß in den ersten Jahren, als die Lupinen noch nicht voll etabliert waren, viel Stickstoff aus dem Boden entweder durch Auswaschen oder in Gasform verloren ging.

Diese Verluste mußten durch die Luftstickstoffbindung der Lupinen erst kompensiert werden, ehe eine Stickstoffakkumulation im Boden einsetzte.

*Für die Praxis lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:*

Die Grunddüngung mit Kalk, Phosphat- und Magnesium (Kalium) -Dünger, kombiniert mit wiederholten Stickstoffgaben, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand das sicherste und wirtschaftlichste Meliorationsverfahren für degradierte Standorte unter Coniferen. Sofern die Düngerdosierung auf sorgfältiger Ernährungsdiagnose beruht, vermeidet diese Technik mehrere Risiken des Lupinenunterbaus: Die anfängliche Zuwachsdepression,

die erhöhte Gefährdung durch Sturmwurf und die Humusverluste. Unter diesen Voraussetzungen kann auch eine Einspeisung von Nitraten ins Grundwasser vermieden werden. Die biologische Aktivität im Oberboden und die Humusform werden nachhaltig verbessert. Die Hoffnung erscheint berechtigt, daß nach 3 - 5 Stickstoffgaben auf weitere Zufuhr dieses Elements verzichtet werden kann, da das Verfahren zu höheren Stickstoffvorräten im System führt und die Stickstoffmineralisation anregt. Die bisher anhaltende Zuwachsbeschleunigung geht auch einher mit größerer Artenvielfalt in der Bodenvegetation und - bei Zaunschutz - mit dem Einwandern von Fichten, Eichen und Edellaubbaumarten; dadurch wird eine völlige Umstimmung der Ökosysteme eingeleitet.

**Übersicht 3:** Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Behandlung für das Experiment PUSTERT 12 - 15 Jahre nach Versuchsbeginn. Nährelementmengen (kg/ha) in org. Aufl. u. Mineralboden 0 - 30 cm, Prüfeinheiten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Bodeneigenschaften	0	I	III
Humusform	Inaktiver Rohhumus	Mullartiger Moder	F-Mull
pH (CaCl <sub>2</sub> ) im Oberboden	3,2 - 4,1	3,7 - 5,0	3,9 - 5,0
Org. Kohlenstoff	55906 A	55764 A	48653 B
Gesamtcalcium	5173 A	6535 B	6349 B
Gesamtphosphor	925 A	942 A	1040 B
Gesamtstickstoff	1961 A	2171 B	2264 C
Netto-N-Mineralisation in Veg. Per. 1978 in org. Aufl. u. Mineralb. 0 - 20 cm; NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N-Anteil	7 A	28 B	44 C
	0	16	19

## 5. Wirkungen saurer Niederschläge in Wald- ökosystemen

In jüngster Zeit wird vor allem in der Tagespresse die Gefahr für die Stabilität der Wälder in Mitteleuropa diskutiert, welche letztlich aus anthropogenen Eingriffen in den Stoffhaushalt der Biosphäre resultiert: Das beschleunigte Versauern von Waldböden und daraus entstehende Schäden an der Bestockung.

Nach einer von B. ULRICH, Göttingen (1979) entwickelten Theorie sinken derzeit die pH-Werte in vielen Waldböden schneller als früher. Dieses rasche Versauern wird durch mehrere Vorgänge vorangetrieben:

- a) Durch den erhöhten Eintrag von Schwefel- und Salpetersäure sowie sauren Sulfaten und Nitraten in die Ökosysteme mit den Niederschlägen und über das Ausfiltern von Gasen, Aerosolen und Stäuben an Pflanzenoberflächen und im Boden. Dieser Säureeintrag beruht letztlich auf der starken Emission von  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  in die Atmosphäre.
- b) Durch die Bildung von Mineralsäuren wie  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  und organischen Säuren im Boden selbst, vor allem im Verlauf der Streuzersetzung.

Nach B. ULRICH bewirkt das Ineinandergreifen von erhöhtem atmosphärischen Säureeintrag und bodeninterner Säureproduktion vor allem nach Trockenjahren eine schnelle Verschiebung der Bodenreaktion in stark saure Bereiche. Diese Vorgänge tragen nach seiner Auffassung zu den derzeit auftretenden Absterbeerscheinungen in Tannen- und Fichtenbeständen bei.

### Potentielle Folgen der Bodenversauerung

Sofern die aus der Atmosphäre kommenden oder im Boden selbst entstehenden Säuren dort nicht abgepuffert werden, geht der pH-Wert zurück. Fällt er in stark saure Bereiche, dann treten folgenden Reaktionen ein, mit denen auch bei natürlicher Versauerung zu rechnen ist:

- a) Kalium, Calcium und Magnesium werden von den Oberflächen der Austausch- (Huminstoffe, Tonminerale, Oxide) durch Protonen verdrängt und mit dem Sickerwasser ausgespült. Dadurch könnte es über kurz oder lang auf armem Substrat zu Basenmangel der Vegetation kommen. Dieser wird möglicherweise verschärft durch den Umstand, daß mit den sauren Niederschlägen gleichzeitig viel Stickstoff

in die Ökosysteme gelangt, dort z. T. gespeichert wird, was die Wuchsleistung auf vielen Standorten fördert.

- b) Entbasung und pH-Rückgang hemmen die Aktivität der Bodenfauna, der Mikroorganismen und damit die Streuzersetzung. Vor allem werden effiziente Bodenwühler wie Regenwürmer behindert. Deshalb häufen sich unvollkommen zersetzte Streureste über dem Mineralboden an; ungünstiger Auflagehumus entsteht, Podsolierungsvorgänge werden verstärkt.
- c) Mit fallendem pH-Wert werden Mangan, Aluminium, Eisen und eine Reihe anderer Metalle mobil und treten in die Bodenlösung über. Diese höhere Löslichkeit führt u. U. zu Konzentrationen in der Lösung, die für Pflanzen toxisch sind. ULRICH erwartet davon Schäden zunächst an den Wurzeln, später im Sproßbereich der Bäume. Schließlich sollen Wälder auf großer Fläche absterben und durch Säureheiden ersetzt werden.

### Prüfung auf Auswirkungen des Säureeintrags

Prüfen wir diese Hypothese am gegenwärtigen Wissensstand, so ist festzuhalten:

- a) Der Eintrag von Schwefel- und Salpetersäure sowie von sauren Sulfaten und Nitraten aus der Atmosphäre wurde in der Bundesrepublik bislang nur an wenigen Stationen quantitativ bestimmt. Obwohl ganz Mitteleuropa als stark belastet gelten muß, ist mit nicht unerheblichen Variationen zwischen verschiedenen Waldregionen und auch innerhalb einer Landschaft zu rechnen, abhängig z. B. vom Relief und von der Entfernung zu den Emittenten. Diese regionale Differenzierung ist derzeit noch unzureichend bekannt.
- b) Eine Bodenversauerung während der beiden vergangenen Jahrzehnten ist bislang nur für bestimmte Waldgebiete in Ostwestfalen sicher nachgewiesen (BUTZKE 1981). In Bayern führt derzeit das Geologische Landesamt eine Studie an etwa 400 Waldbodenprofilen durch. Nach vorläufiger Auswertung ist hier ebenfalls in bestimmten Landschaften mit einer pH-Depression zu rechnen; andererseits gibt es aber auch Bereiche, wo eine Aufbasung festzustellen ist (WITTMANN, pers. Mitt.). Im Hochsolling, wo ULRICH die pH-Werte genau kontrolliert, gingen diese von 1968 - 1973 zurück, blieben bis 1978 weitgehend unverändert und steigen seither wieder an (ULRICH, pers. Mitt.).

c) Bislang gibt es keinen sicheren Beleg, daß sich die Versorgung der Waldbestände mit basischen Nährionen wie Kalium, Calcium und Magnesium unter dem Einfluß des sauren Niederschlags verschlechtert hätte. Wohl aber ist es wahrscheinlich, daß in bestimmten Lagen des Schwarzwaldes, des inneren Bayerischen und des Oberpfälzer Waldes saurer Niederschlag zu dem verstärkt auftretenden Magnesiummangel beiträgt.

d) Schäden durch toxische Aluminium- oder Mangan-Konzentrationen in der Bodenlösung sind an Waldbäumen im Freiland in Mitteleuropa bisher nicht nachgewiesen. Für bestimmte Baumarten wie unsere Coniferen, Eichen und die Buche sind sie im Gegenteil eher unwahrscheinlich. Vieles deutet darauf hin, daß diese Arten relativ Al- und Mn-tolerant sind. Da Böden in dem nach ULRICHs Theorie kritischen pH-Bereich zwischen 4,2 und 3,0 (H<sub>2</sub>O), wo in der Tat viel Al und Mn in Lösung gehen, in unseren Wäldern schon seit Jahrhunderten vorkommen, ist zu fragen, weshalb die befürchteten Schäden durch toxische Metallkonzentrationen in der Bodenlösung nicht längst manifest wurden.

e) Trotz intensiver Forschung in Skandinavien ist es dort bisher nicht gelungen, eine auf sauren Niederschlägen beruhende Zuwachsdpression in Wäldern nachzuweisen. Norwegische und schwedische Versuche mit künstlicher Versauerung durch Beregnen mit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-haltigem Wasser steigerten in Coniferenbeständen im Gegenteil mehrfach zunächst den Zuwachs signifikant.

FRANZ (pers. Mitt.) beobachtete auf den bayerischen Fichten- und Kiefernversuchsfächen nach bisher vorläufiger Auswertung keine unerklärlichen Zuwachsdpressionen. Zwar trat im Jahrzehnt 1970 - 1980 offenbar verbreitet ein gewisser Rückgang ein; er wird jedoch gedeutet als ein Zurückfallen des Zuwachses auf ein normales, dem Ertragstafelgang entsprechendes Niveau nach einer Periode ungewöhnlich hoher Zuwächse. Sie fällt möglicherweise mit dem relativ niederschlagsreichen Zeitraum 1954 - 1966 zusammen.

f) Vegetationskundliche Beobachtungen, die auf rasches Versauern der Böden hindeuten, sind bislang nicht bekannt geworden. Sofern sich auf unseren Beobachtungsfächen in Bayern überhaupt langfristige Veränderungen der Bodenflora abzeich-

nen, sprechen sie eher für zunehmende Bodenfruchtbarkeit. Vermutlich dominieren hier (noch?) die günstigen Effekte der verstärkten Stickstoffzufuhr mit den Niederschlägen.

g) Derzeit grassiert in Mitteleuropa ein "Tannensterben" (*Abies alba* Mill). Seit 1980 tritt außerdem in Süddeutschland eine möglicherweise neuartige Nadelschütte der Fichte (*Picea abies* Karst) auf, mit Schwerpunkten auf den voralpinen Schotterplatten und in den angrenzenden Auen einerseits, in den Hochlagen des Bayerischen Waldes sowie im Raum Alpirsbach/Freudenstadt zum anderen. Es wird diskutiert, ob beide Ereignisse durch saure Niederschläge ausgelöst und frühe Indikatoren für eine sich abzeichnende ökologische Katastrophe sind. Wir überprüfen die Hypothese von einer Aluminium- oder Mangan-Vergiftung der Tannen u. a. durch vergleichende Analyse der Metall-Gehalte in den Nadeln, im Bast und in den Wurzeln gesunder und kranker Bäume.

Bislang lieferte keiner dieser Gewebetests Hinweise für eine Al- oder Mn-Vergiftung der erkrankten Tannen. ULRICH (1981) fand zwar in süddeutschen Probebeständen des Tannensterbens Al-Konzentrationen in der Gleichgewichtsbodenlösung von 2 - 5 mg/l. Die Intensität der Schäden war indessen auf den bislang untersuchten Flächen mit diesen Al-Kennwerten nicht korreliert. Unter einem völlig symptomfreien Tannenbestand wurden ebenfalls Al-Konzentrationen der GBL von 2 - 4 mg/l bestimmt. Da das Tannensterben auch auf Rendzinen auftritt (z. B. Muschelkalk-Steilhänge am oberen Neckar) - obschon mit verminderter Intensität -, ist es wenig wahrscheinlich, daß Al- oder Mn-Toxizität maßgeblich mitwirkt. Die Fichtenerkrankung ist besonders verbreitet auf Kalkauböden z. B. an Isar und Mangfall und tritt auch auf Rendzinen der Kalkalpen und der Schwäbischen Alb auf; in diesen Fällen sind die Böden praktisch frei von wasserlöslichem Aluminium und Mangan!

Im Einwirken saurer Niederschläge auf die Böden steckt gewiß eine ernstzunehmende, potentielle Gefahr für unsere Wälder, weil dadurch möglicherweise auf bestimmten Standorten Versauerungsvorgänge beschleunigt, u. U. auch qualitativ abgewandelt werden. Es ist wichtig, daß B. ULRICH durch seinen Hinweis auf diese Bedrohung zum Nachdenken und Beobachten zwingt. Zu

Sorglosigkeit besteht gewiß kein Anlaß! Andererseits gibt es jedoch nach meinem Kenntnisstand bisher keinen Beweis, daß die befürchteten Schadeffekte sich in Wäldern jetzt schon manifestieren. Dies gilt insbesondere für die Hypothese vom raschen Zusammenbrechen der Wälder durch Al- oder Mn-Vergiftung. Diese Einschätzung deckt sich weitgehend mit dem Ergebnis der letzten internationalen Konferenz über die Effekte saurer Niederschläge! Während kein Zweifel mehr besteht, daß sie Gewässer und aquatische Lebensgemeinschaften nachteilig verändern, sind Schäden an terrestrischen Ökosystemen noch nicht nachgewiesen, abgesehen von der unmittelbaren Nähe der Emittenten (vgl. LAST u. a. 1980).

Wie soll man sich in einer solchen Phase anhaltender Unsicherheit verhalten? Für mich ergeben sich folgende Konsequenzen:

- a) Alle Bemühungen müssen verstärkt werden, die Emission der beteiligten Schadstoffe in die Atmosphäre so weit als möglich zu begrenzen. Für diese Forderung genügen die bekannten direkten Schadeffekte z. B. des Schwefeldioxids auf Pflanzen und die nachgewiesenen Effekte der sauren Niederschläge in Gewässern. Sie wird durch den Hinweis auf mögliche langfristige Schäden an bestimmten Waldböden gestützt.
- b) Zugleich ist die Forschung zu dem ganzen Problemkreis zu intensivieren. Die Belastung durch Schadstoffe muß für die verschiedenartigen Waldökosysteme quantifiziert, die Auswirkungen müssen vielseitig überprüft werden. Die Kriterien für die Beurteilung der Schadstoffgehalte in Böden, Bodenlösung und in Pflanzengewebe sind zu definieren.
- c) Unter waldbaulichen Maßnahmen wird an Düngung, Kompensationskalkungen und Konsequenzen für die Baumartenwahl gedacht.

*Düngung* ist angebracht, wo Nährstoffmangel herrscht, z. B. Mg-Mangel auf ungenügend ausgestatteten Böden. Hier wäre es unvernünftig, auf den Nachweis zu warten, zu welchen Anteilen dieser Mangel auf primärer Mg-Armut des Gesteins, Podsolierung und sauren Niederschlägen beruht.

Vertretbar ist auch die Melioration größerer Flächen als bisher durch CaP(N)-Düngung überall dort, wo die bekannten Weiser - Bodenvegetation, Humusform und

chemischer Oberbodenzustand - dieses Vorgehen auch nach herkömmlichen Grundsätzen nahelegen (vgl. REHFUESS 1981).

*Großflächige biotechnische Melioration* durch Kahlschlag, Tiefpflügen, massive Kalkung und Lupinenanbau auf großen Flächen und auf Bodenformen, die nach bisherigen Kriterien nicht gekalkt würden, sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht angebracht. Solche radikalen Sanierungen setzen gesicherte Kenntnisse über die Wirkungen der sauren Niederschläge voraus und erfordern eine sorgfältige, nach Standorten differenzierte Planung; denn dieser Eingriff ist, wie wir sahen, problematisch, z. B. gerade auf den im Hinblick auf Al- und Mn-Toxizität möglicherweise kritischen Standorten, den oxidreichen sauren Braunerden und Parabraunerden mit Moder. Hier muß mit Reduktion der Humus- und Stickstoffvorräte, mit Nitratauswaschung und mit einer Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser durch Nitrate gerechnet werden (vgl. REHFUESS 1981). Auf stark podsolierten Substraten mit ungünstigem, biologisch inaktiven Rohhumus könnte diese Maßnahme andererseits Zuwachsdpression durch Stickstoffsperre und erhöhter Rotfäulegefahr auslösen. Die Gefahr besteht, daß durch undifferenziertes Vorgehen aus einer nicht gerechtfertigten Katastrophenstimmung heraus Lebensgemeinschaften vernichtet werden, die an saure Böden angepaßt und schützenswert sind.

Auch mögliche Folgerungen für die *Baumartenwahl* kann man erst ziehen, wenn die jetzt einzuleitenden Forschungsvorhaben die langfristigen Wirkungen der sauren Niederschläge sicherer zu beurteilen gestatten.

### Literatur

BUTZKE, H. (1981):  
Versauern unsere Wälder? Forst- u. Holzwirt  
21, 542-548

HETSCH, W., W. KRAMER u. W. WESSELS  
(1981):  
Bodenkundliche und waldbauliche Auswirkungen einer kombinierten Meliorationsmaßnahme im Forstamt Syke, Forst- u. Holzwirt  
36, 548-553

KRAPFENBAUER, A. (1981):  
Holzernte. Biomassen- und Nährstoffaus-  
trag. Selbstverl. Wien

KREUTZER, K. (1979):  
Ökologische Fragen zur Vollbaumernte.  
Forstwiss. Centralbl. 98, 298-308

LAST, F. F., G. E. LIKENS, B. ULRICH u.  
L. WALLE:  
Acid precipitation – progress and problems.  
Proc. Int. Conf. on "Ecological impact of acid  
precipitation." Sandefjord Norway, 10-12

MILLER, H. G. (1969):  
Nitrogen nutrition of pines on the sands of  
Culbin Forest, Morayshire. Journ. Sci. Fd.  
Agric. 20, 417-419

v. PREUHSLER, T., u. K. E. REHFUESS  
(1982):  
Über die Melioration degradiertener Kiefern-  
standorte (Pinus sylv. L.) in der Oberpfalz.  
Forstwiss. Centralbl. 101, i. Dr.

REHFUESS, K. E. (1981 a):  
Waldböden – Entwicklung, Eigenschaften  
und Nutzung. Pareys Studentexte 29,  
Verlag P. Parey, Hamburg/Berlin

REHFUESS, K. E. (1981 b):  
Über die Wirkungen saurer Niederschläge  
in Waldökosystemen. Forstwiss. Centralbl.  
100, 363-381

ULRICH, B., R. MAYER u. U. SOMMER  
(1975):  
Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über  
den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfä-  
higkeit der Standorte. Forstarchiv 46, 5-8

ULRICH, B., R. MAYER u. P. K. KHANNA  
(1979):  
Deposition von Luftverunreinigungen und  
ihre Auswirkungen im Solling. Frankfurt/M.,  
Sauerländers Verlag

ULRICH, B. (1981):  
Eine ökosystemare Hypothese über die Ur-  
sachen des Tannensterbens (Abies alba  
Mill.). Forstwiss. Centralbl. 100, 228-236

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Karl E. Rehfuss  
Lehrstuhl für Bodenkunde  
der Universität München  
Amalienstr. 52  
8000 München 40

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1982

Band/Volume: [3\\_1982](#)

Autor(en)/Author(s): Rehfuess Karl E.

Artikel/Article: [DIE VERÄNDERUNG VON WALDBÖDEN DURCH FORSTWIRTSCHAFTLICHE MASSNAHMEN 6-17](#)