

# Rheinland-Pfalz



**Mitteilungen  
aus der Forstlichen Versuchsanstalt  
Rheinland-Pfalz**

**Nr. 32/95**

**Autorenkollektiv**

**Untersuchungen an  
Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen  
in Rheinland-Pfalz**



ISSN 0931 - 9662 Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 32/95

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung vorbehalten

**Herausgeber:** Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
**Verantwortlich:** Der Leiter der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
**Dokumentation:** Mitt. FVA, Trippstadt  
Nr. 32/95, 136 S.

Zu beziehen über die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Schloß, D-67705 Trippstadt

1. The first part of the document is a list of names and titles, including the names of the authors and the titles of their works.

2. The second part of the document is a list of names and titles, including the names of the authors and the titles of their works.

3. The third part of the document is a list of names and titles, including the names of the authors and the titles of their works.

4. The fourth part of the document is a list of names and titles, including the names of the authors and the titles of their works.

## Vorwort

Der weltweite Schutz und die langfristige Erhaltung der Wälder sind, nicht zuletzt nach dem Umweltgipfel in Rio, in der politischen Diskussion präsent. Während in anderen Regionen der Erde der Schutz des Waldes vor Raubbau und Nutzungsänderung im Vordergrund steht, geht die Gefährdung unserer Wälder in erster Linie von anthropogen verursachten Schadstoffen aus.

Voraussetzung für einen wirkungsvollen Schutz unserer Waldökosysteme ist ein umfangreiches Wissen über Reaktionen dieser Systeme auf natürliche und anthropogene Streßfaktoren. Hierbei müssen Untersuchungen zur Beurteilung der Gefährdung von Wäldern aufgrund des sehr komplexen Beziehungsgefüges sowohl die **vielfältigen** Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Faktoren, z.B. Boden, Vegetation, Witterung, etc. als auch deren **langfristige** Entwicklung beachten. Nur durch langfristig ausgerichtete Versuchskonzepte und einer interdisziplinären wissenschaftlichen Zusammenarbeit kann es gelingen, komplexe biologische Systeme, wie unsere Waldökosysteme, zu verstehen, Ursachen ihrer Gefährdung zu erkennen, und darauf aufbauend Maßnahmen zu ihrer Erhaltung zu treffen.

Aus diesem Grunde stehen in Rheinland-Pfalz die **Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen** allen interessierten wissenschaftlichen Institutionen für Spezialuntersuchungen offen, soweit dies ohne Störung des Untersuchungszweckes möglich erscheint. Darüber hinaus wird diese Zusammenarbeit gezielt über die Vergabe von Forschungsaufträgen gefördert.

Die vorliegende Arbeit faßt die Vorträge und Diskussionen eines Kolloquiums zusammen, das am 18. Mai 1994 an der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz stattfand. In Kurzbeiträgen referieren die an den Untersuchungen beteiligten Wissenschaftler über den jeweils verfolgten methodischen Ansatz und über aktuelle Ergebnisse ihrer Untersuchungen an den Dauerbeobachtungsflächen. Deutlich wurde, daß diese Art des unmittelbaren Austauschs und die Diskussion zwischen den verschiedenen Wissenschaftlern weiter gepflegt werden muß, um Detailergebnisse sowohl des eigenen Arbeitsbereiches, als auch der anderen Fachbereiche in den komplexen Gesamtzusammenhang einordnen zu können.

Allen, die mit ihrem Engagement diesen umfassenden Überblick über den Stand der Untersuchungen ermöglicht haben, sage ich für die gute Zusammenarbeit herzlichen Dank.

Axel ROEDER

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author details the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual and automated processes. The goal is to ensure that the data is as accurate and reliable as possible.

The third part of the document focuses on the results of the analysis. It shows that there is a clear trend in the data, which is consistent with the initial hypothesis. This finding is significant as it provides strong evidence for the proposed model.

Finally, the document concludes with a summary of the findings and a list of recommendations. It suggests that further research should be conducted to explore the underlying causes of the observed trends.

## Inhaltsverzeichnis

BLOCK J.	Konzept der Waldökosystem-Dauerbeobachtung in Rheinland-Pfalz.....	1
SCHRÖCK, H. W.	Untersuchungen auf Kronenzustands-Dauerbeobachtungsflächen.	12
ZOLDAN, J.-W.	Untersuchungen zur Bestandesstruktur und -dynamik der krautigen Waldbodenvegetation auf Dauerbeobachtungsflächen in Abhängigkeit von Zäunungs- und Kalkungsmaßnahmen .....	25
ARENDHOLZ, W.-R.	Zusammenhang zwischen Nadelpilzen und Streufall an Kiefern- und Fichten-Dauerbeobachtungsflächen .....	39
BLOCK, J.	Stoffbilanzen ungekalkter und gekalkter Teilareale der Waldökosysteme an den Umweltkontrollstationen Merzalben und Idar-Oberstein.....	54
SCHMITT, V und WILD, A.	Auswirkungen einer Düngemaßnahme auf morphologische und biochemische Parameter von Eichen an der Umweltkontrollstation Merzalben .....	66
SCHMITT, V.; SCHEUERMANN, R; und WILD, A.	Auswirkungen einer Kalkungsmaßnahme auf physiologische und biochemische Parameter unterschiedlich geschädigter Fichten an der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein .....	90
WERNER, W.	Auswirkungen von Dolomit-Kalkung und Kalium-Düngung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität der Krautschicht des Waldökosystems an der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein.....	106
Berichte und Veröffentlichungen zu Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz .....		131

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

# Konzept der Waldökosystem-Dauerbeobachtung in Rheinland-Pfalz

von Joachim Block

Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

Waldökosysteme unterliegen in Mitteleuropa bereits seit mehr als einem Jahrtausend gravierenden anthropogenen Einwirkungen. Während in früheren Jahrhunderten unmittelbare Eingriffe in den Waldbestand und den Waldboden durch Rodung, Übernutzung, Streurechen und Plaggenhiebe im Vordergrund standen, gewannen mit zunehmender Industrialisierung indirekte Wirkungen durch den Eintrag von Luftverunreinigungen in den Waldboden an Bedeutung. Letztere lassen allmähliche Veränderungen vor allem des chemischen Bodenmilieus und damit eine schleichende Standortdrift befürchten. Die Erkennung derartiger Veränderungen in den Standortbedingungen der Waldökosysteme ist eine grundlegende Voraussetzung, um rechtzeitig gegensteuern zu können bzw. den bereits vorhandenen Schaden in Grenzen zu halten. Eine dauerhafte Kontrolle der Auswirkungen anthropogener Einflüsse auf die Funktionsfähigkeit der Waldökosysteme ist daher eine vordringliche Aufgabe aller für den Wald und die Umwelt verantwortlichen Institutionen.

Diese fortlaufende Überwachung des Zustandes der Waldökosysteme erfolgt in Rheinland-Pfalz seit 1983 mit Hilfe von landesweiten Übersichtserhebungen und anhand von Intensivuntersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen.

Die jährliche terrestrische und luftbildgestützte Waldschadenserhebung und die periodisch durchzuführende Bodenzustandserhebung erfolgen auf einem systematischen, permanenten Stichprobenraster und erlauben daher jeweils flächenrepräsentative Aussagen über den aktuellen Zustand der Waldökosysteme des jeweiligen Bezugsgebietes. Das Grundraster ist ein 4x4-km-Netz, das je nach Fragestellung erweitert (z.B. 4x12-km-Raster der Bodenzustandserhebung) oder verdichtet (z.B. 0,3x1,0-km-Raster der Luftbild-Waldschadenserhebung) werden kann. Je nach Rasterdichte sind repräsentative Aussagen nur für das gesamte Land oder bis hin zu Schadstrukturen innerhalb eines Wuchsgebietes möglich.

Diese großräumigen Stichprobenverfahren sind im Rahmen einer komplexen Umweltüberwachung im Wald unverzichtbar, da Schadensschwerpunkte lokalisiert und aktuelle Entwicklungstendenzen des Waldzustandes aufgezeigt werden können. Zur Klärung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Waldschadensgeschehen sind sie aber nur bedingt geeignet, da für den einzelnen Rasterpunkt nur sehr begrenzte Informationen vorliegen.

Diese reichen bei der Vielzahl und hohen Vernetzung von Einflußfaktoren auf den Vitalitätszustand des einzelnen Baumes oder die Funktionsfähigkeit des gesamten Ökosystems in der Regel nicht aus, um Wirkungen konkreten Ursachen zuordnen und Verknüpfungen zwischen natürlichen und anthropogenen Stressoren erkennen zu können. Daher wurden bereits 1983 in ausgewählten Waldbeständen Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Diese Fallstudien sollen dazu beitragen,

- die Kenntnisse über die Dynamik in Waldökosystemen und die Reaktion dieser Systeme auf veränderte Umweltbedingungen zu erweitern,
- Kausalzusammenhänge zwischen Veränderungen im Waldökosystem und den auf dieses System einwirkenden Faktoren zu erkennen,
- Prognosen der zukünftigen Entwicklung der Waldökosysteme bei unterschiedlichen Belastungsszenarien zu ermöglichen und
- Hinweise zur Ableitung von Vorsorge- und Restaurationsmaßnahmen zu erhalten.

Bei den beiden ersten Fragestellungen muß versucht werden, die natürliche Dynamik wesentlicher Ökosystemkenngrößen, wie zum Beispiel der Belaubungsdichte, der Nährstoffversorgung und des chemischen und biologischen Bodenzustandes, von gerichteten Veränderungen durch unmittelbare oder mittelbare anthropogene Einwirkungen zu trennen und vor allem die komplexen Wechselbeziehungen zwischen natürlichen und anthropogenen Streßeinflüssen soweit als möglich aufzudecken. Hierzu muß eine kontinuierliche Langzeitbeobachtung der wesentlichsten ökosystemaren Prozesse auf unterschiedlichen Hierarchieebenen (biochemische Reaktionen → Veränderungen der Bestandesstruktur) erfolgen (vgl. ULRICH und PUHE 1993, 23-35). Darüber hinaus müssen die bedeutsamen natürlichen und anthropogenen Umwelteinflüsse kontinuierlich erfaßt werden.

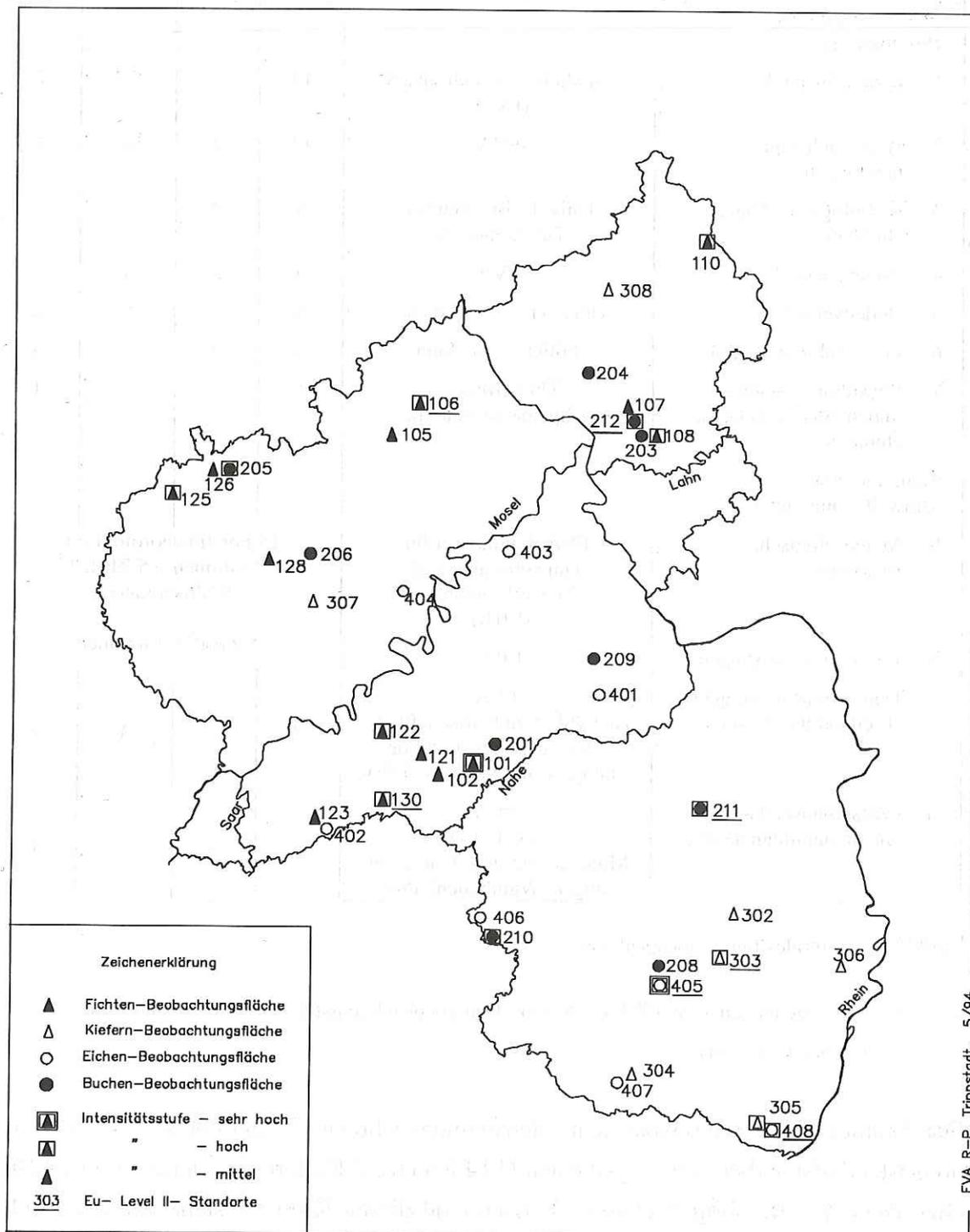
Eine an dieser Zielsetzung ausgerichtete Waldökosystem-Dauerbeobachtung erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit einer Verknüpfung der sektoralen Untersuchungen auf unterschiedlichen Integrationsebenen. Dementsprechend kooperiert die Forstliche Versuchsanstalt sehr eng mit verschiedenen Dienststellen und Instituten innerhalb und außerhalb des Landes (siehe Tab. 1).

Teilprojekt	durchführendes Institut	Flächenanzahl			
		Fichte	Kiefer	Buche	Eiche
- Dauerbeobachtung Waldökosysteme-					
1 Kronenzustand	Forstliche Versuchsanstalt (FVA)	14	7	10	8
2 Waldwachstums- messungen	FVA	14	7	10	8
3 Mykologische Untersu- chungen	Univ. Kaiserslautern, Dr. Arendholz	3	2	-	-
4 Bodenzustand	FVA	5	2	4	2
5 Bodenvegetation	Univ. Trier, Geobotanik	4	2	4	2
6 Flechtenbioindikation	Polichia, Dr. John	8	2	7	3
7 Physiologische und biochemische Untersu- chungen	Univ. Mainz, Allgemeine Botanik	1	-	-	1
- Dauermessung Umweltbedingungen					
8 Meteorologische Messungen	FVA, Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht (LfUG)	15 Forstmeteorologische Meßstationen + 5 ZIMEN <sup>1)</sup> - Waldstationen			
9 Immissionsmessungen	LfUG	5 ZIMEN-Stationen			
10 Depositionsmessungen (Freiland und Bestand)	FVA Analytik: Landwirtschaftliche Untersuchungs- und For- schungsanstalt Speyer (LUFA)	7	2	3	2
11 Wasserhaushalts- und Bioelementbilanzierung	FVA Analytik: LUFA Modellanpassung: Univ. Göt- tingen, Waldbodenkunde	1	-	-	1

<sup>1)</sup> ZIMEN = Zentrales Immissionsmeßnetz

**Tab. 1:** Untersuchungen an Waldökosystemen - Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz  
(Stand: Juni 1994)

Der Rahmen dieser Waldökosystem-Intensivuntersuchungen besteht derzeit aus 39 Kronenzustands-Dauerbeobachtungsflächen (14 Fichten-, 7 Kiefern-, 8 Eichen- und 10 Buchenflächen). Alle übrigen Untersuchungen sind diesen Kronenzustandsdauerbeobachtungsflächen räumlich zugeordnet, wobei die Gesamtausstattung mit Beobachtungs- und Meßeinrichtungen von Fläche zu Fläche erheblich variiert (Abb.1 und Tab.2).



FVA R-P, Trippstadt, 5/94

**Abb. 1:** Lage und Untersuchungsintensität der Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

FLNR.	Forstamt	Baumart	Alter (1994)	Krone	Boden	Vegetation	Dauerbeobachtung				Mykologie	Meteo	Meßstation	
							Flechten	Zuwachs	Physiologie	ZIMEN <sup>1)</sup>			Deposition	Bilanzierung
101	Idar-Oberstein	Fichte	117	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
102	Idar-Oberstein	Fichte	97	x							(x)		(x)	
105	Adenau	Fichte	95	x							(x)			
106	Adenau	Fichte	87	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
107	Neuhäusel	Fichte	97	x							(x)		x	
108	Montabaur	Fichte	86	x							x			
110	Kirchen	Fichte	82	x							x		x	
121	Morbach	Fichte	94	x		x					(x)			
122	Morbach	Fichte	111	x	x						x			x
123	Irrwald	Fichte	93	x							(x)			
125	Schneifel	Fichte	88	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
126	Schneifel	Fichte	68	x							x			
128	Salmwald	Fichte	75	x							x		(x)	
130	Herneskeil	Fichte	70	x	x	x					x			x
201	Idar-Oberstein	Buche	136	x										
203	Montabaur	Buche	152	x							x			
204	Dierdorf	Buche	149	x							(x)			
205	Schneifel	Buche	135	x	x	x	x	x	x	x	x			
206	Salmwald	Buche	123	x							(x)			
208	Johanniskreuz	Buche	134	x							(x)			
209	Entenpfuhl	Buche	129	x							x			
210	Waldmohr	Buche	112	x	x	x	x	x	x	x	(x)		(x)	
211	Kirchheimbolanden	Buche	73	x	x						x			x
212	Neuhäusel	Buche	102	x	x	x							x	x

Tab . 2: Ausstattung der Waldökosystem - Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

FLNR.	Forstamt	Baumart	Alter (1994)	Krone				Dauerbeobachtung				Meßstation			
				Boden	Vegetation	Flechten	Zuwachs	Physiologie	Mykologie	Meteo	ZIMEN <sup>1)</sup>	Deposition	Bilanzierung		
302	Hardenburg	Kiefer	131	x		x	x				(x)				
303	Johanniskreuz	Kiefer	119	x	x	x					(x)			x	
304	Dahn	Kiefer	107	x			x				(x)				
305	Schaidt	Kiefer	116	x			x				(x)				
306	Speyer	Kiefer	108	x							(x)				
307	Manderscheid	Kiefer	108	x							-				
308	Altenkirchen	Kiefer	113	x							-				
401	Entenpfuhl	Eiche	106	x											
402	Irrwald	Eiche	134	x			x				(x)				
403	Treis-Brodembach	Eiche	136	x			x				x				
404	Wittlich	Eiche	99	x							(x)				
405	Merzalben	Eiche	189	x							(x)				
406	Waldmohr	Eiche	107	x			x				x			x	x
407	Fischbach	Eiche	161	x							(x)			(x)	
408	Schaidt	Eiche	96	x			x				(x)				
											x				x

( ) = Daten aus in der Nähe gelegener Meßstation verfügbar

1) ZIMEN = Zentrales Immissionsmeßnetz (kontinuierliche Luftschadstoffmessungen + meteorologische Messungen)

Tab. 2 (Fortsetzung): Ausstattung der Waldökosystem - Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz

Die Flächenauswahl wurde gezielt so vorgenommen, daß die Dauerbeobachtungsflächen hinsichtlich der Standorts- und Bestockungsverhältnisse sowie hinsichtlich der Immissionsbelastungen für möglichst große Waldareale charakteristisch sind<sup>1</sup>.

Die Flächen liegen in der Regel inmitten ausgedehnter Waldgebiete in regionaltypischen Beständen der vier Hauptbaumarten in Rheinland-Pfalz. Standorte, die durch Nahemissionen betroffen sind, wurden ebenso ausgeschlossen wie Bestände mit atypisch hohen Fällungs-, Rücke- und Befahrungsschäden. Bevorzugt wurden Waldflächen mit möglichst homogenen Standorts- und Bestockungsverhältnissen. Um eine einzelbaumweise Kronenansprache zu ermöglichen und gleichzeitig den Einfluß innerartlicher Konkurrenz zu reduzieren, wurden nur Bestände in der zweiten Hälfte der jeweiligen planmäßigen Umtriebszeit ausgewählt.

Auf den 50 x 50 m großen Kronenzustandsdauerbeobachtungsflächen erfolgt mindestens einmal jährlich eine einzelbaumweise Bonitierung der Belaubungs- bzw. Benadelungsdichte, des Vergilbungsanteils der noch vorhandenen Nadel-/Blattmasse sowie weiterer, den Belaubungszustand weiter differenzierender oder erklärender Parameter (z.B. Verzweigungsform, Dürreanteile, Insektenschäden, Fruktifikation etc.).

Neben dieser terrestrischen Erhebung werden zur Kronenzustandsansprache und -dokumentation periodisch auch Infrarot-Color-Luftbilder eingesetzt. Zur Unterstützung der Interpretation der Kronenzustandsansprache wird an fünf Fichten- und Kiefernbeobachtungsflächen der Streufall aufgefangen und bei höheren Streufallmengen auf Pilzbefall untersucht. Hierdurch soll überprüft werden, in welchem Umfang Nadelpilze an der Kronenverlichtung beteiligt sind.

An allen Flächen wird periodisch der Ernährungszustand mittels Nadel-/Blattanalysen sowie der chemische Bodenzustand erfaßt.

Desweiteren erfolgen auf allen Flächen waldwachstumskundliche Untersuchungen durch periodische Aufnahmen von Durchmesser, Höhe, sozialer Stellung und Kronenausbildung sowie Dauermessungen mit Umfangmeßbändern (jährliche Ablesung).

An 13 Standorten wurden in unmittelbarer Nachbarschaft zur Kronenzustandsdauerbeobachtungsfläche Bodendauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Hier erfolgen alle 5 bis 10 Jahre intensive, flächenrepräsentative Untersuchungen zur Bodenfestphase (insbesondere Kationenaustauschkapazität, Austauschbelegung, Nährstoffvorräte im Humus- und Mineralboden) und kontinuierliche Sickerwasseruntersuchungen in min-

---

<sup>1</sup> Bei der ersten Flächenauswahl wurden bei der Fichte als damaliger Monitorbaumart auch Flächen außerhalb der Hauptanbaugebiete ausgewählt. Diese Dauerbeobachtungsflächen sind inzwischen aber ausnahmslos durch Sturm und Borkenkäferschäden ausgefallen.

destens zwei Tiefenbereichen zur chemischen Beschreibung der Bodenlösungsphase und zur Indikation von Säure- und Nährstoffstressituationen.

Auch die Waldbodenvegetation unterliegt einer eingehenden Dauerbeobachtung. An 12 Standorten wurden jeweils 20 x 20 m große gegatterte und ungegatterte Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Durch periodische Aufnahmen sollen hier mögliche Veränderungen in Vitalität und Zusammensetzung der Bodenvegetation unter dem Einfluß von Luftschadstoffeinträgen erfaßt werden.

An 20 Dauerbeobachtungsflächen wird die Flechtenvegetation im Stammbereich der Waldbäume periodisch kartiert. Hierbei wird das Artenspektrum aufgenommen und die Abundanz und Vitalität geschätzt. Diese Aufnahmen sollen die Reaktion der Flechten auf Veränderungen der Luftschadstoffbelastung aufzeigen und zur Unterstützung der Interpretation der physikalisch-chemischen Messungen herangezogen werden.

An einer Fichten-Dauerbeobachtungsfläche im Hunsrück und einer Traubeneichen-Dauerbeobachtungsfläche im Pfälzerwald werden eingehende physiologische, biochemische und anatomische Untersuchungen an Nadeln bzw. Blättern jeweils unterschiedlich geschädigter Bäume vorgenommen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Streßeinwirkungen und physiologischen und biochemischen Reaktionsabläufen beizutragen und, wenn möglich, biochemische Frühindikatoren für Streß und primäre Schädigungen aufzuzeigen.

An einem erheblichen Teil der Standorte erfolgt neben der kontinuierlichen Zustandskontrolle der Ökosysteme auch eine Dauermessung der wesentlichen Umwelteinflüsse.

An 20 Standorten werden in unmittelbarer Nähe zum Dauerbeobachtungsflächenbestand meteorologische Messungen durchgeführt. An der Mehrzahl der Dauerbeobachtungsflächen können entsprechende Daten von Meßstationen gleicher Exposition aus der näheren Umgebung herangezogen werden. Die Meßdaten (Niederschlagshöhe, Niederschlagsverteilung, Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung) werden mit Hilfe von zum Teil vollautomatisierten forstmeteorologischen Meßstationen oder über Waldstationen des Zentralen Immissionsmeßnetzes (ZIMEN) gewonnen.

An fünf ZIMEN-Waldstationen werden kontinuierlich die Konzentrationen der Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Stickoxide, Ozon und Schwebstaub in der bodennahen Atmosphäre der jeweiligen Waldgebiete gemessen. Alle ZIMEN-Waldstationen sind jeweils Dauerbeobachtungsflächen zugeordnet und lassen so eine Charakterisierung der Immissionsbelastung dieser Ökosysteme zu.

Der konkrete Eintrag von Luftverunreinigungen in die Waldökosysteme wird an 14 Standorten über Depositionsmessungen auf Freiflächen und unter dem jeweiligen Kronendach ermittelt. Erfasst werden die Eintragsraten aller wesentlichen anorganischen Bioelemente einschließlich einiger Schwermetalle.

An zwei Standorten erfolgt darüber hinaus eine eingehende Wasserhaushalts- und Bioelementbilanzierung. Hiermit lassen sich das konkrete Ausmaß der Säurebelastung ermitteln und langfristige Veränderungen im Stoffhaushalt dieser Systeme erkennen. Diese beiden Standorte, ein Fichtenökosystem auf decklehmüberlagertem Quarzit im Hunsrück (Forstamt Idar-Oberstein) und ein Traubeneichenökosystem mit Buchenunterstand auf Hauptbuntsandstein im Pfälzerwald (Forstamt Merzalben) weisen die höchste Untersuchungsichte aller Flächen auf. An ihnen erfolgen alle vorgenannten Beobachtungen und Messungen. Diese Ökosystem-Dauerbeobachtungsflächen werden daher als "Umweltkontrollstationen" bezeichnet.

Um die Versuchsinfrastruktur der Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen optimal zu nutzen und die Kenntnisse über diese Waldökosysteme ständig zu erweitern, wird bei jedem neu konzipierten Waldökosystem-Forschungsprojekt überprüft, ob die Untersuchungen nicht an bestehende Dauerbeobachtungsflächen gekoppelt werden können. So wurden Versuche zur Überprüfung der langfristigen Wirkung von Kalidüngungen bei Kalkung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität von Säurezeigern in der Krautschicht von Wäldern an der Umweltkontrollstation im Forstamt Idar-Oberstein durchgeführt. An der Umweltkontrollstation im Forstamt Merzalben wurde mit Untersuchungen zum Einfluß von Bodenversauerung und Kalkung auf den Kohlenhydrathaushalt und die Mykorrhizen von Buchen begonnen. An diesen beiden Standorten erfolgte auch ein umfangreiches Projekt zum Verhalten von Radiocäsium in Waldökosystemen. Die hierbei erfolgte Radiocäsiuminventur wurde mit einer eingehenden Inventur der herkömmlichen Bioelemente an beiden Standorten verbunden.

Eine Reihe der oben aufgeführten Teilprojekte an den Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen enthalten experimentelle Varianten. So werden im Rahmen der Bodenvegetations-Dauerbeobachtung, der physiologischen und biochemischen Untersuchungen und der Stoffbilanzierung die Effekte einer Bodenschutzkalkung überprüft. Diese Untersuchungen können daher nicht nur auf bereits vorhandene oder in Zukunft zu erwartende Gefährdungen der Waldökosysteme hinweisen, sondern auch bereits Möglichkeiten und gegebenenfalls Risiken von Gegenmaßnahmen aufzeigen.

Die bisherigen Ergebnisse der einzelnen Teiluntersuchungen wurden in umfangreichen Berichten und Veröffentlichungen der einzelnen Arbeitsgruppen dargestellt. Eine Auflistung dieser Arbeiten befindet sich am Schluß dieses Heftes. Zusammenfassende Darstellungen der wesentlichsten Projekte und ihrer bisherigen Ergebnisse enthalten die nachfolgenden Aufsätze in diesem Heft.

## Summary

### **Conception of continuous monitoring of forest ecosystems in Rheinland-Pfalz**

Since 1983 the condition of forest ecosystems is continuously monitored consisting of state-wide surveys on systematic sample grids and intensive investigations on permanent observation plots.

On a grid basis a terrestrial forest damage survey (crown condition assessment on a 4 x 4 km grid), an IRC aerial forest damage survey (crown condition assessment on a 0,3 x 1 km grid) and a forest soil condition survey (4 x 12 km grid) are performed. These surveys allow to get informations on the regional distribution and the temporal development of forest damage.

The permanent observation plots have been installed in forest ecosystems which are characteristic for large forest areas in Rheinland-Pfalz. The monitoring and investigation programme includes assessments on crown condition (at present: 39 plots), growth (39 plots), forest soil condition (13 plots), ground vegetation (12 plots), liken vegetation (20 plots), physiological and biochemical condition of trees (2 plots) and measurements of meteorological parameters (20 plots), concentrations of gaseous air pollutants (5 plots) and deposition of air pollutants in the open field and below the canopy (14 plots). Additionally, on two plots water and bioelement budgets are calculated. All these investigations shall allow a deeper insight into the dynamics of forest ecosystems, their reactions on changing environmental conditions and into cause-effect-relationship concerning air pollution impacts.

*Keywords: monitoring concept, forest damage, forest ecosystem, Rheinland-Pfalz*

*Schlagwörter: Überwachung, Waldschäden, Waldökosysteme, Rheinland-Pfalz*

## Literatur:

ULRICH, B.; PUHE, J., (1993): Auswirkungen der zukünftigen Klimaveränderung auf mitteleuropäische Waldökosysteme und deren Rückkopplungen auf den Treibhauseffekt. Studienbericht für die Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages, 202 S.

Anschrift des Verfassers: Dr. Joachim BLOCK  
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Schloß  
67705 Trippstadt

# Untersuchungen auf Kronenzustands- Dauerbeobachtungsflächen

von Hans Werner Schröck

Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

## 1. Anlaß und Ziele

Zu Beginn der achtziger Jahre avancierten die "Neuartigen Waldschäden" (Waldsterben) in der Öffentlichkeit zu einem Umweltproblem ersten Ranges. Absterbende Wälder im Osten Europas (z.B. Erzgebirge) und auf großer Fläche deutlich sichtbare Kronenverlichtungen in den höheren Lagen der Mittelgebirge Westdeutschlands führten zu großer Besorgnis. Aus diesem Grunde wurden in Rheinland-Pfalz seit 1982 zur Untersuchung der langfristigen Entwicklung der Waldökosysteme Beobachtungsflächen eingerichtet und jährlich der Kronenzustand dieser Flächen charakterisiert (MÜHLHAUS 1985). Der Kronenzustand, beschrieben als Kronenverlichtung und Vergilbung, liefert Hinweise auf mögliche Waldgefährdungen, Bäume werden somit zu Bioindikatoren für Zustand und Veränderungen von Waldökosystemen.

Wesentliche Ziele dieser Untersuchung sind:

- Zusammenhänge zwischen Kronenzustand und Schadstoffbelastungen aufzudecken;
- den Kronenzustand des Indikators "Baum" zu beschreiben, das Verfahren der terrestrischen Kronenzustandsansprache weiterzuentwickeln und ggf. mit anderen Verfahren wie z.B. der Interpretation von CIR-Luftbildaufnahmen zu vergleichen;
- durch Beobachtung der Entwicklung des Kronenzustandes Prognosen über die künftige Waldentwicklung unter veränderten Umweltbedingungen zu erstellen, und
- Hinweise zur Vermeidung von Gefährdungen der Waldökosysteme zu geben.

Notwendig zur Beantwortung dieser Fragen sind:

- durch das Schätzverfahren bedingte methodische Probleme zu erkennen und, falls möglich, zu beseitigen;
- natürliche, biotisch oder abiotisch bedingte Einflußfaktoren auf die Kronenverlichtung zu quantifizieren, d.h. natürliche Schwankungsbereiche im Kronenzustand zu erkennen;
- umfassende Informationen über das Umfeld der Bäume wie Boden, Luftbelastung, Witterung usw. zu gewinnen;

- CIR-Luftbildflüge auf den Beobachtungsflächen durchzuführen, und
- die Einzelflächen auf evt. vorhandene strukturelle Unterschiede bezüglich des Kronenzustandes zu untersuchen.

Erfasst und bewertet wurden:

- Parameter, die den Kronenzustand beschreiben und auftretende Symptome quantifizieren und lokalisieren sollten, wie z.B. Ort und Intensität von Kronenverlichtung und Vergilbung
- Möglichst zahlreiche Parameter (screening), von denen ein Einfluß auf den Kronenzustand bekannt war oder evt. erwartet werden konnte, wie z.B. Fruktifikation und Stammverletzungen
- Die Erfassung von ertragskundlichen Kenndaten wie z.B. soziologische Stellung, Kronenkarten, etc. zum Erkennen von möglicherweise vorhandenen Beziehungen zwischen dem Kronenzustand und diesen Kennwerten
- Umfangreiche Untersuchungen über Bodenzustand, Luftbelastung, Witterung, Nähr- und Schadstoffgehalt in Nadeln und Blättern zum Erkennen von Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie
- CIR-Luftbildflüge und ein einzelbaumweiser Vergleich dieser Ergebnisse mit der terrestrischen Ansprache als Dokumentation und zur Überprüfung der Kontinuität des angewendeten Verfahrens.

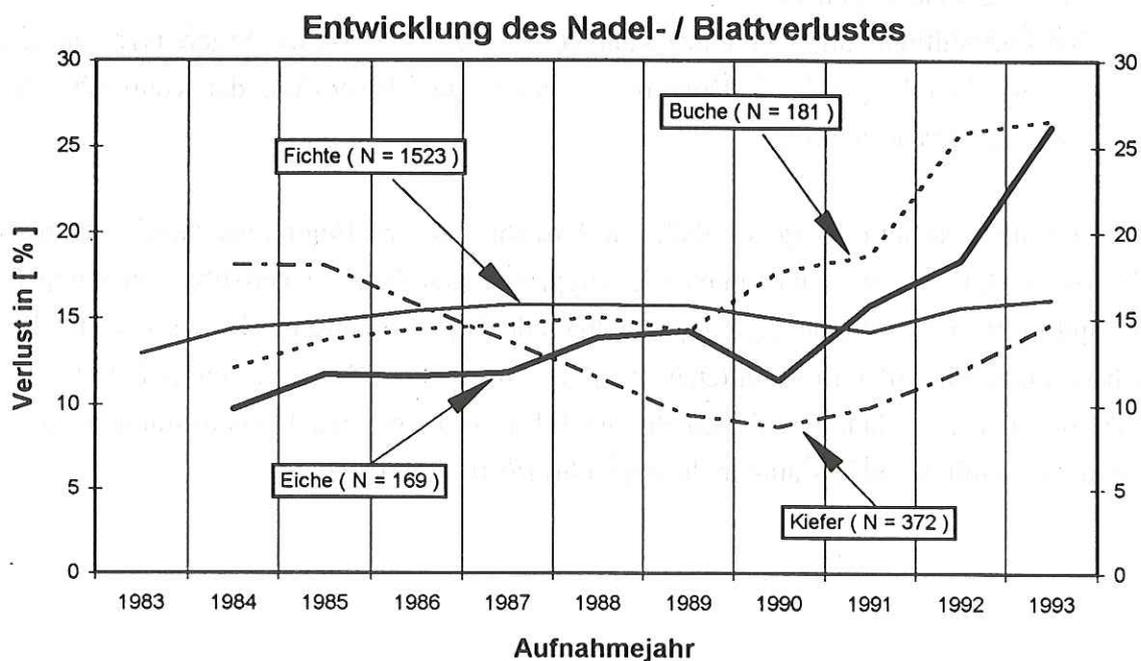
Die Flächenauswahl erfolgte so, daß, mit Ausnahme der zu Beginn als Monitorbaumart bevorzugten Fichte, in erster Linie regionaltypische, den Standortverhältnissen angepaßte und i.d.R. große Waldgebiete repräsentierende Standorte ausgewählt wurden. Im Beobachtungszeitraum wurden Untersuchungen an insgesamt 57 Standorten und etwa 5000 Bäumen der vier Hauptbaumarten durchgeführt. 1994 werden Untersuchungen an 39 Standorten mit ca. 3000 Bäumen durchgeführt (SCHRÖCK 1994).

## Entwicklung des Kronenzustandes der vier Baumarten im Vergleich

Das Hauptkriterium des Kronenzustandes, die Kronenverlichtung, hat sich über den Untersuchungszeitraum bei den Baumarten sehr unterschiedlich entwickelt (Abb.1). Während bei der Fichte im gesamten Beobachtungszeitraum nur relativ geringe Veränderungen auftreten, folgt bei der Kiefer nach einem kontinuierlicher Rückgang der Kronenverlichtung bis 1990 eine erneute Zunahme etwa auf das Niveau von 1986/1987.

Die Buchen zeigen bei tendenziell Anstieg von 1984 bis 1989 nur geringe Veränderungen. 1989 auf 1990 und v.a. 1991 auf 1992 ist jedoch eine drastische Zunahme der Kronenverlichtung zu beobachten.

Die Eichen zeigen von 1984 bis 1990 bei erheblichen jährlichen Schwankungen in der Belaubung nur eine leichte Zunahme in der Kronenverlichtung. 1990 bis 1992 und v.a. 1992 auf 1993 ist, wie bei der Buche im Jahr zuvor, eine drastische Zunahme in der Kronenverlichtung zu erkennen.



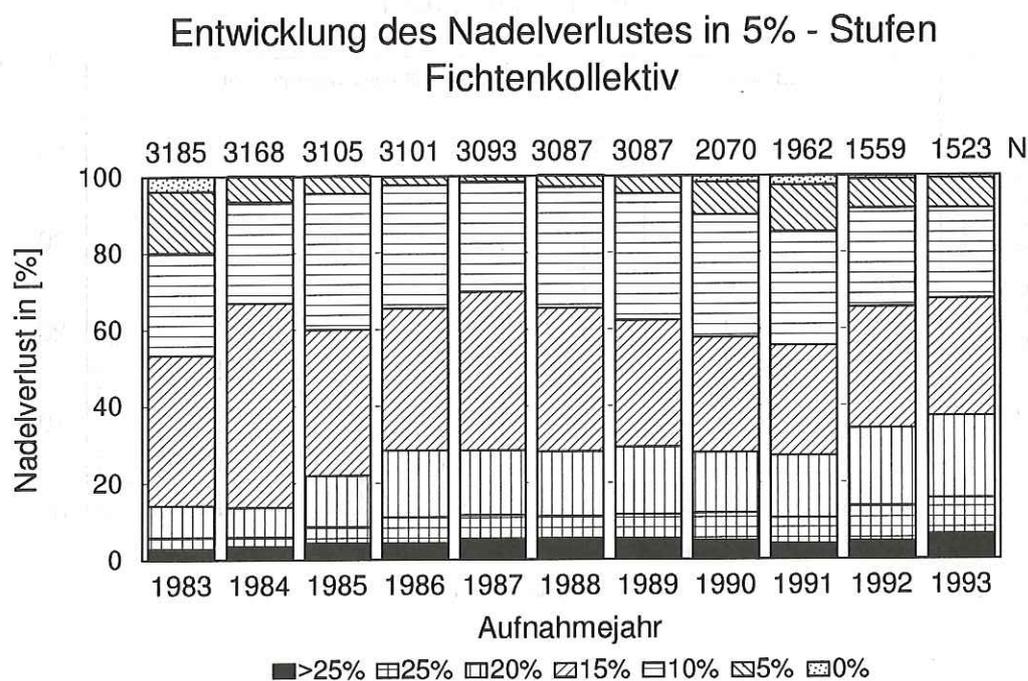
**Abb. 1:** Entwicklung des durchschnittlichen Nadel-/Blattverlustes der von 1983 bis 1993 durchgehend beobachteten Bäume der vier Hauptbaumarten in Prozent

Die Vergilbung, als das zweite im Rahmen der Waldzustandserhebung wichtige Kriterium des Kronenzustandes, ist in nennenswertem Umfang lediglich auf wenigen Fichten- und zwei Buchenflächen aufgetreten.

## Entwicklung und Bewertung des Kronenzustandes bei den einzelnen Baumarten

Im folgenden werden die Entwicklung von Kronenverlichtung und Kollektivumfang der bereits seit einigen Jahren in Beobachtung stehenden Bäume dargestellt und anhand von Fallbeispielen sowohl wesentliche Einflußfaktoren, als auch einige methodische Ansätze der Untersuchungen erläutert.

Bei der Fichte verdeutlicht die Verteilung der in Fünf-Prozent-Werten erfaßten Nadelverluste, daß der Anteil von Bäumen mit deutlicher Kronenverlichtung (>25% Nadelverlust) im Untersuchungszeitraum von 2 auf 5% ansteigt (Abb.2). Bei einem überwiegenden Anteil von Bäumen mit 10-15(20)% Nadelverlust weisen die Untersuchungsbestände eine vergleichsweise geringe Kronenverlichtung auf. Die von Jahr zu Jahr am Einzelbaum auftretenden Verlustprozentdifferenzen zeigen, daß sich etwa 90% der Fichten in einem Schwankungsbereich von  $\pm 5\%$ -Punkten bewegen. Die zur Überprüfung von innerhalb eines Jahres stattfindenden Veränderungen durchgeführte zweite Aufnahme zeigte sich im Untersuchungszeitraum als nicht zwingend notwendig.

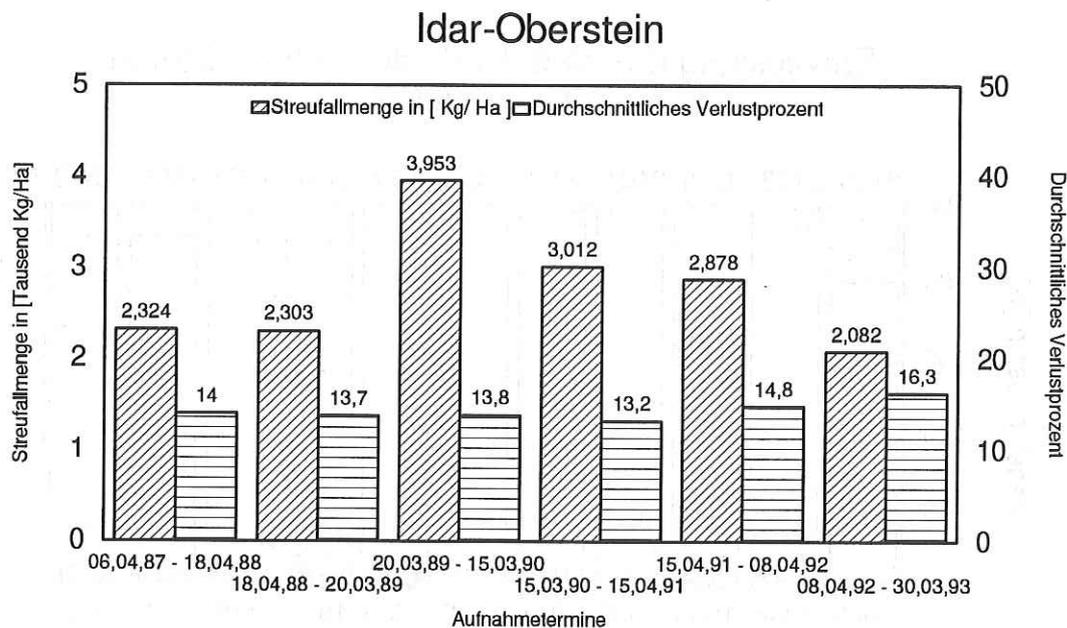


**Abb. 2:** Verteilung der in Fünf-Prozent-Stufen erfaßten Nadelverluste der Fichten; Frühjahrsaufnahme 1983 bis 1993 (Kollektiv der im jeweiligen Jahr lebenden bzw. aktuell abgestorbenen Bäume)

Eine Prüfung auf Unterschiede in der Kronenverlichtung zwischen den einzelnen Flächen zeigte zwar Unterschiede auf, jedoch konnten diese, von wenigen Ausnahmen abgesehen, weder mit unterschiedlichem Bodenzustand (chemische Analyse der Bodenfestphase), noch mit unterschiedlichen Nähr- und Schadstoffgehalten in den Nadeln in Zusammenhang gebracht werden. Die Analyse der räumlichen Verteilung der Kronenverlichtung auf den Einzelflächen ergab, daß auf der überwiegenden Mehrzahl der Flächen unterschiedlich stark verlichtete Bäume nebeneinander stehen.

Ein Zusammenhang zwischen Sturmwurfgefährdung und Kronenverlichtung konnte nicht bestätigt (ZOTH und BLOCK 1992), Nadelpilzbefall auf drei Flächen als wesentliche Ursache für das Abfallen von Nadeln ausgeschlossen werden (ARENHOLZ, siehe S.37-50). Die im Rahmen dieser Untersuchung erfaßten Nadelstreufallmengen verdeutlichen am Fallbeispiel Idar-Oberstein, daß sich auch größere Schwankungen in der Nadelstreufallmenge zwischen zwei Aufnahmetermine nicht unbedingt auf die Ansprache des durchschnittlichen Nadelverlustprozentes auswirken müssen (Abb.3).

## Fichtendauerbeobachtungsfläche 101

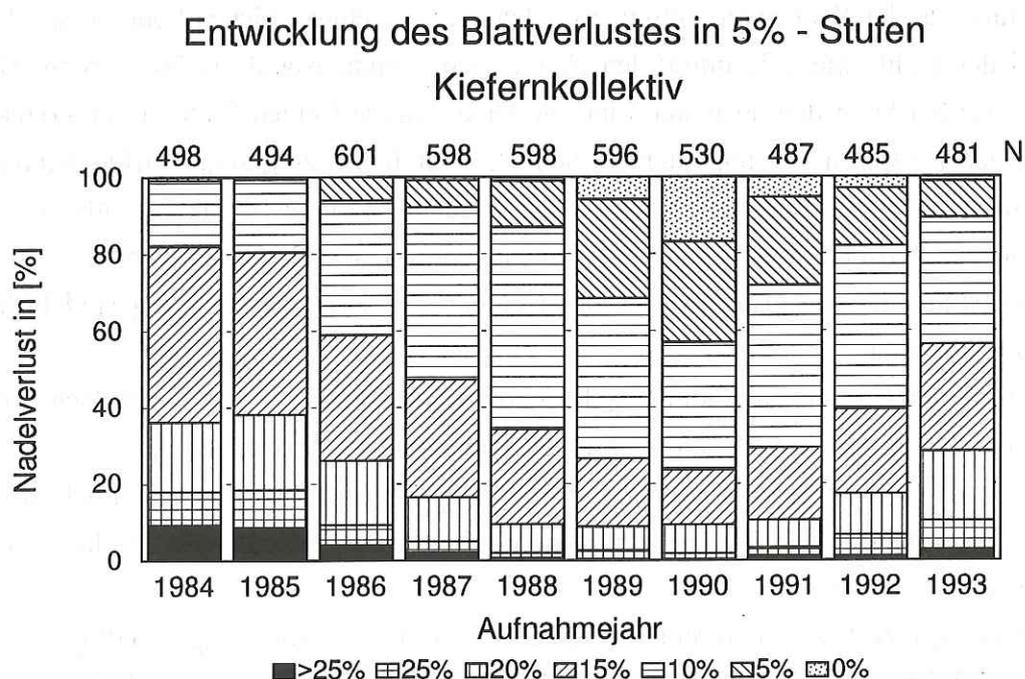


**Abb. 3:** Durchschnittliches Verlustprozent und Nadelstreufallmenge in kg/ha Trockengewicht zwischen den jeweiligen Aufnahmetermine der Jahre 1987 bis 1993 auf einer Fichtenfläche im Forstamt Idar-Oberstein

Die Auswertung der ertragskundlichen Daten zeigte deutliche Tendenzen zu höheren Nadelverlusten bei starken, großkronigen Fichten. Denkbar wäre, daß über das allgemeine Kronendach hinausragende Bäume Luftschadstoffen, aber auch anderen Belastungen

wie Stürmen etc. stärker ausgesetzt sind, und als Folge mit einer Reduktion ihrer Nadelmasse reagieren. Beobachtet wurde, daß bei nahezu allen Fichten eine Kronenverlichtung aus dem Schattkronenbereich heraus stattfand. Die Fichten verlieren hierdurch - neben einer Verringerung der Assimilatproduktion - vor allem einen Puffer zur Lagerung von Reservestoffen.

Bei der Kiefer verdeutlicht die Verteilung der in 5%-Werten erfaßten Nadelverluste, daß der Anteil deutlich verlichteter Bäume mit Ausnahme der Jahre 1984 und 1985 z.T. deutlich unter 5% lag (Abb.4). Wie bei der Fichte weisen etwa 90% des Kollektives jährliche Veränderungen von  $\pm 5\%$  Nadelverlust auf.



**Abb. 4:** Verteilung der in Fünf-Prozent-Stufen erfaßten Nadelverluste der Kiefern; 1984 bis 1993 (Kollektiv der im jeweiligen Jahr lebenden bzw. aktuell abgestorbenen Bäume)

Die zu Beginn der Untersuchungen bei der Einwertung der Baumart Kiefer vorhandenen Schwierigkeiten der Einwertung nach "Transparenz" führten zu der Entwicklung eines eigenen Bewertungsschlüssels (FRAUDE 1987). Dieser orientierte sich vor allem an Anzahl und Vollständigkeit der Nadeljahrgänge sowie an dem Anteil des auftretenden Dürreisigs. In den ersten zwei (drei) Jahren wurde der im Schattkronenbereich vorhandene, oft durch das Einwachsen der unterständigen Buchen hervorgerufene Dürreanteil überbewertet. Mit Beginn des Jahres 1987 wurde dieses Vorgehen revidiert. Die zur Doku-

mentation und zum Vergleich der verschiedenen Verfahren gewonnenen CIR-Luftbildaufnahmen belegen dieses Vorgehen (Tab.1).

Jahr	1984				1992			
	Nadelverlust in %				Nadelverlust in %			
Einwertung	0-10	11-25	26-40	41-60	0-10	11-25	26-40	41-60
terrestrisch	7	102	21	6	86	41	2	0
aerial	72	59	5	0	72	52	4	1

**Tab. 1:** Anzahl Kiefern in verschiedenen Verlichtungsstufen auf zwei Dauerbeobachtungsflächen; terrestrische und aerielle Bonitierung der Jahre 1984 und 1992 im Vergleich

Unterschiede in der Kronenverlichtung zwischen den einzelnen Flächen konnten wie bereits bei der Fichte nur z.T. durch den chemischen Bodenzustand erklärt werden. Begründet werden kann dies in erster Linie durch die bis auf einen Standort ökologisch gesehen geringe Basensättigung aller Flächen. D.h. durch eine zu geringe Differenzierung der Standorte wird die Interpretierbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt. Deutliche Zusammenhänge zwischen der Versorgung der Nadeln mit den Hauptnährelementen bzw. einer Belastung mit Schadstoffen und unterschiedlicher Kronenverlichtung sind bisher nicht zu beobachten.

Die Prüfung der räumlichen Verteilung der Kronenverlichtung auf den Einzelflächen ergab, daß i.d.R. unterschiedlich stark verlichtete Bäume nebeneinander stehen.

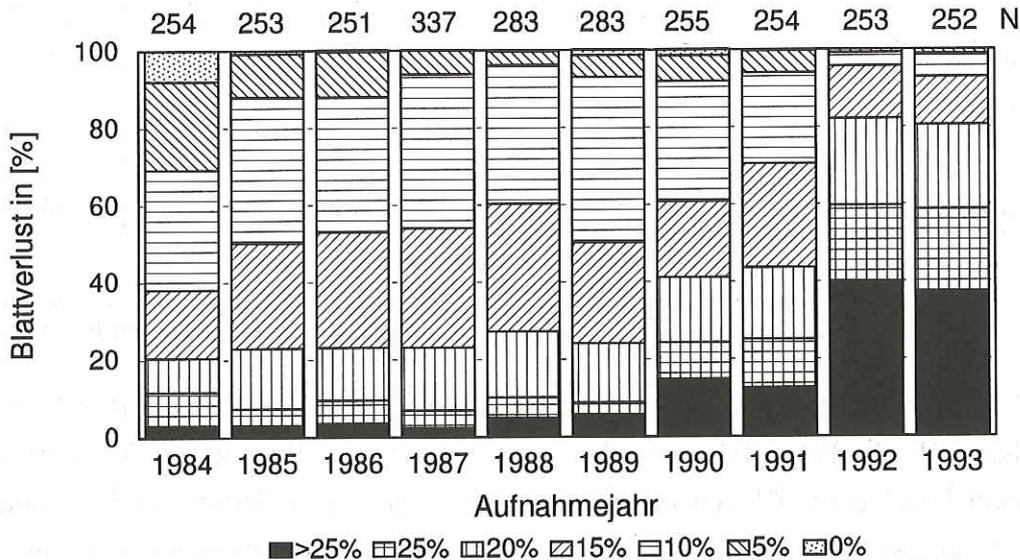
Der 1991 und 1993 erkennbare Anstieg im Nadelverlustprozent wurde wesentlich durch den in diesen Jahren im Vergleich zu den Vorjahren deutlich erhöhten Befall durch Waldgärtner bestimmt.

Die Erfassung von Anzahl und Vollständigkeit der Nadeljahrgänge zeigte, daß mit Ausnahme von Triebverlusten durch Waldgärtnerfraß der erste und zweite Nadeljahrgang im Untersuchungszeitraum vollständig, der dritte nur in Teilen und der vierte Nadeljahrgang, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht vorhanden war.

Zusammenhänge zwischen ertragskundlichen Kennwerten und der Kronenverlichtung waren nicht zu erkennen.

Die Entwicklung der Kronenverlichtung bei der Buche zeigt eine deutliche Dynamik auf. Während zu Beginn der Untersuchungen der Anteil deutlich verlichteter Bäume bei 3% lag, ist dieser bis 1993 auf ca. 40% angestiegen (Abb. 5).

## Entwicklung des Blattverlustes in 5% - Stufen Buchenkollektiv



**Abb. 5:** Verteilung der in Fünf-Prozent-Stufen erfaßten Blattverluste der Buchen; 1984 bis 1993 (Kollektiv der im jeweiligen Jahr lebenden bzw. aktuell abgestorbenen Bäume)

Die wesentlichsten Veränderungen in der Kronenverlichtung fanden schubweise in den Jahren 1990 und 1992 statt. Während die Schwankungsbereiche im Nadelverlustprozent bis 1989 bei 80-90% der Bäume in einem Bereich von  $\pm 5\%$  lagen, reduzierte sich der Anteil dieser Bäume von 1989 auf 1990 auf ca. 70% und 1991 auf 1992 auf ca. 40%.

In diesen beiden Jahren war ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Intensität der Fruchtbildung und der Höhe der Kronenverlichtung zu erkennen. Mit Zunahme der Fruktifikation steigt die Kronenverlichtung deutlich an, wobei mehrfache Fruktifikation zu einem weiteren Anstieg der Kronenverlichtung beiträgt (Tab.2, 3).

Fruchtifikationsstärke 1990	Anzahl Buchen	durchschnittliches Verlustprozent			
		1989	1990	1991	1992
ohne (0)	48	14,7	12,9	14,8	22,3
gering (1)	82	13,4	13,7	14,6	24,2
mittel (2)	77	14,8	20,3	20,3	29,2
stark (3)	46	14,5	25,2	25,4	28,0

**Tab. 2:** Entwicklung des durchschnittlichen Verlustprozentes von 1989 bis 1992, aufgegliedert in Gruppen unterschiedlicher Fruktifikationsintensität der Baumart Buche im Jahre 1990.

Fruchtifikationsintensität 1992	Gruppe 0/1 (1990)		Gruppe 2 (1990)		Gruppe 3 (1990)	
	Ø VLP 1992	Anzahl Bäume	Ø VLP 1992	Anzahl Bäume	Ø VLP 1992	Anzahl Bäume
ohne (0)	16,2	17	21,0	10	25,7	7
gering (1)	19,7	39	20,8	12	26,4	11
mittel (2)	26,1	54	27,1	28	27,5	12
stark (3)	30,0	20	38,2	27	30,6	16

**Tab. 3:** Durchschnittliches Verlustprozent (Ø VLP) für Buchen unterschiedlicher Fruchtifikationsintensität 1992, aufgliedert in drei Gruppen unterschiedlicher Fruchtifikation im Jahre 1990.

Diese Auswirkungen beruhen einerseits auf fehlenden Blättern als Folge der Bildung von weiblichen und männlichen Blütenständen anstelle vegetativer Knospen, andererseits auf einer deutlich sichtbaren Kleinblättrigkeit. Diese ist nicht verwunderlich, da die Produktion von Bucheckern für die Buche einen enormen Verbrauch an Reservestoffen bedeutet (BOSSHARD 1984; LÜSCHER und SIEBER 1988). Hinzu kommt eine vermutlich eingeschränkte Erholungsmöglichkeit der Buchen aufgrund der sehr trocknen Witterung 1991. Ein Zusammenhang zwischen Bodenzustand und Kronenverlichtung konnte trotz deutlich unterschiedlichem Bodenzustand der einzelnen Flächen nicht belegt werden (Tab.4).

Gruppierung der Flächen nach unterschiedlicher Kronenverlichtung	Flächen- nummer	Oberboden			Unterboden		
		Puffer- bereich	Basen- sättigung %	Magnesium- sättigung %	Puffer- bereich	Basen- sättigung %	Magnesium- sättigung %
indifferent	201	Fe-Al	8,6	1,3	Al	9,7	0,9
	203	Al	7,6	0,7	Al	9,5	0,7
	204	Aus	13,6	1,9	Si	82,4	9,1
	205	Fe-Al	6,6	1,2	Fe-Al	6,1	1,1
	206	Fe-Al	9,0	0,7	Fe-Al	7,9	0,8
	209	Fe-Al	7,2	0,7	Al	7,0	0,3
	210	Fe-Al	11,5	0,9	Fe-Al	12,1	1,7

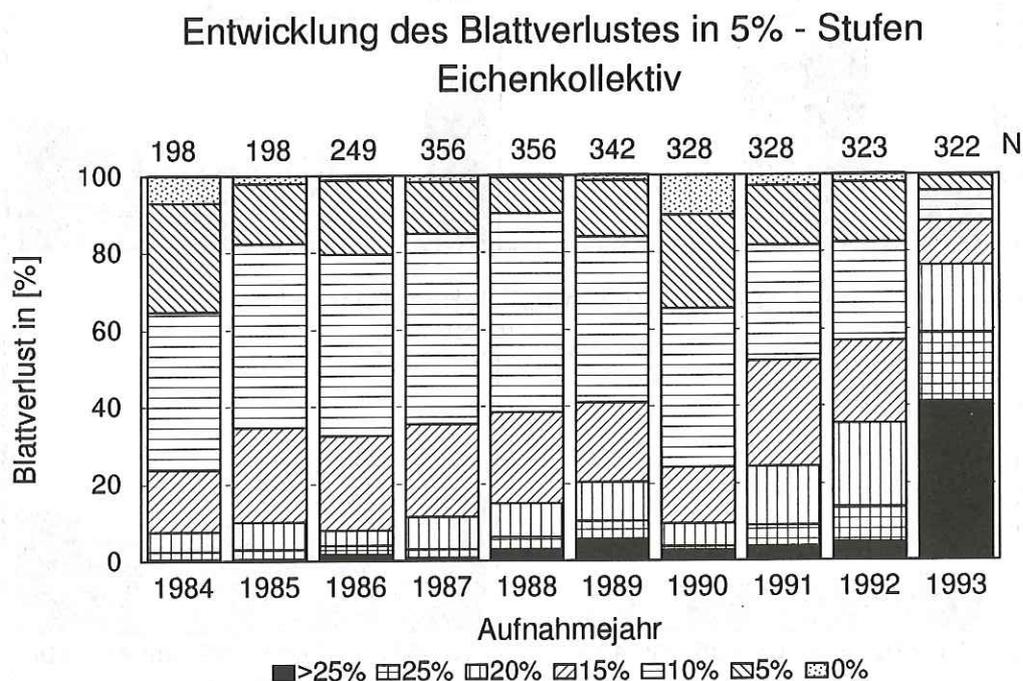
\*\*\* Bodenproben nach BZE-Verfahren (Profil + 8 Bohrungen) Tiefe: 5 - 10 bzw. 30 - 60 cm [56].

**Tab. 4:** Pufferbereich, Basen- und Magnesiumsättigung im Ober- und Unterboden auf Buchenflächen und Prüfung auf unterschiedliche Kronenverlichtung in den Jahren 1987 bis 1992.

Zusammenhänge zwischen Kronenverlichtung und Nähr- bzw. Schadstoffgehalte in Blättern war ebenfalls nicht zu erkennen. Flächen mit einem nennenswerten Anteil vergilbter Bäume wiesen eine nur geringe Magnesiumversorgung auf.

Zusammenhänge zwischen ertragskundlichen Kennwerten und der Kronenverlichtung waren nicht zu erkennen; das Auftreten von Insektenschädlingen im Untersuchungszeitraum war gering.

Der Anteil von Eichen mit deutlich sichtbarer Kronenverlichtung war - mit einem Anteil von maximal 6% im Jahre 1989 - bis 1992 vergleichsweise gering. Im Jahre 1993 stieg der Anteil deutlich verlichteter Eichen auf in den vorhergehenden neun Jahren nicht für möglich gehaltenen Anteil von 43 Prozent an (Abb. 6).



**Abb. 6:** Verteilung der in Fünf-Prozent-Stufen erfaßten Blattverluste der Eichen; 1984 bis 1993 (Kollektiv der im jeweiligen Jahr lebenden bzw. aktuell abgestorbenen Bäume)

Die jährlichen Blattverlustprozentdifferenzen am Einzelbaum zeigen auch in Jahren geringerer Kronenverlichtung größere Schwankungen auf. Der Anteil der Eichen mit Veränderungen von  $\pm 5\%$  Blattverlust liegt bis 1992 zwischen 70 und 90, 1992 auf 1993 jedoch lediglich bei etwa 40%.

Als wesentliche Ursache für die Schwankungen im Blattverlustprozent kommt die jährlich und regional unterschiedliche Insektenfraßbelastung in Kombination mit unterschiedlichen Witterungssituationen in Frage. In und nach klimatisch günstigen Jahren (1988) werden insektenfraßbedingte Blattverluste (i.d.R. hervorgerufen durch den Raupenfraß von Spanner- und Wicklerarten) durch Ersatztrieb Bildung ausgeglichen; in und nach klimatisch ungünstigen Jahren (1993) findet eine Regeneration nur unvollständig statt (Abb.7).

Hinzu kommen, als weitere wichtige, den Kronenzustand beeinflussende Faktoren: Frühfrostschäden im Juni 1991 (Tab.5) und vermutlich infolge der sehr trocknen Vege-

tationsperiode des Jahres 1991 (von April bis September fielen nur 62% des langjährigen Flächenmittels von Rheinland-Pfalz/Saarland) eine in den Folgejahren reduzierte Feinreißbildung bei den Eichen.

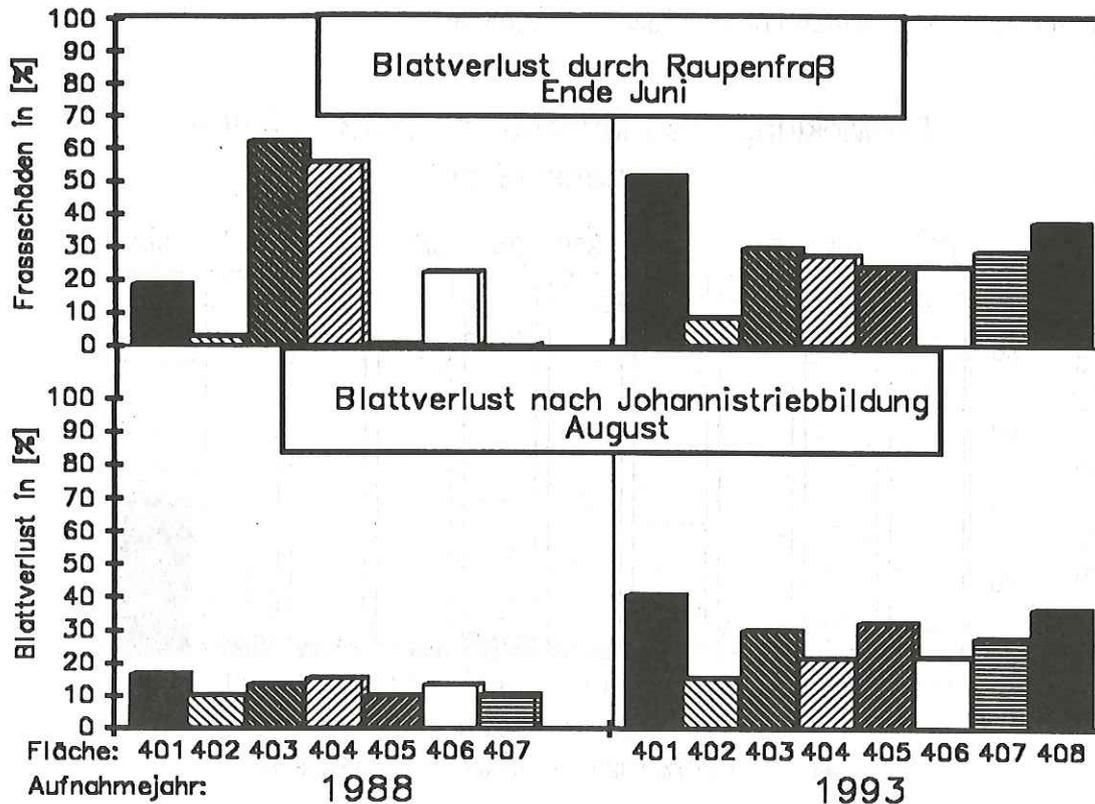


Abb. 7: Durchschnittliches Blattverlustprozent durch Raupenfraß Mitte Juni und Blattverlustprozent im August der Jahre 1988 und 1993 auf den Eichenflächen

Frostschäden im Juni 1991 (Gruppe)	Anzahl Bäume	Ø Blattverlustprozent (Sommeraufnahme)			
		1990	1991	1992	1993
nicht erkennbar (0)	116	9,5	11,7	12,9	23,2
gering (1)	107	10,7	15,0	16,4	26,5
mittel (2)	40	10,6	19,4	21,1	36,0
stark (3)	9	16,7	21,1	22,2	27,8

Tab. 5: Auswirkungen von Frostschäden 1991 auf das durchschnittliche (Ø) Blattverlustprozent (1990 bis 1993) der Eichen

Deutliche Zusammenhänge zwischen Kronenzustand und dem Bodenzustand oder der Versorgung der Blätter mit Nährelementen bzw. der Belastung mit Schadstoffen sind trotz unterschiedlichem Kronenzustand nicht zu erkennen.

Ebenfalls nicht zu erkennen sind, im Gegensatz zur Fichte, Zusammenhänge zwischen ertragskundlichen Kennwerten und der Kronenverlichtung. Als mögliche Begründung wäre die im Vergleich zur Fichte relativ große Homogenität denkbar.

Stärkere Fruktifikation führt in der Tendenz zu einer Zunahme der Kronenverlichtung, deutliche Zusammenhänge wie bei der Buche sind jedoch nicht zu erkennen.

Allen vier Baumarten gemeinsam war, daß eine aufgrund der Luftschadstoffbelastung verstärkt auftretende Fruktifikation ausgeschlossen werden kann und daß von Stammverletzungen normalerweise kein Einfluß auf die Höhe der Kronenverlichtung ausgeht.

Deutlich wurde jedoch auch, daß die Flächengröße zur Untersuchung struktureller Unterschiede i.d.R. zu klein ist. Dies wird künftig dadurch aufgefangen, daß größere Bereiche um die eigentliche Kernfläche über CIR-Luftbildinterpretation bewertet werden.

Die Kronenzustandsbeobachtungsflächen liefern somit einen wichtigen Beitrag zur Interpretation der Ergebnisse der Waldschadenserhebung und über lange Zeitreihen einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der in unseren Waldökosystemen ablaufenden Dynamik. Obwohl zahlreiche Erkenntnisse gewonnen wurden wird jedoch deutlich, daß ein Untersuchungszeitraum von 11 Jahren keinesfalls ausreicht, aufgrund chronischer Belastungen zu erwartende Veränderungen im Kronenzustand der Bäume aufzuzeigen, d.h. Prognosen über die weitere Entwicklung des Kronenzustandes zu machen.

Nicht bekannt ist vor allem, inwieweit die Immissionsbelastung in natürliche Abläufe eingreift, z.B. durch Verschlechterung der Nährstoffversorgung das Reaktionsvermögen der Bäume auf natürliche Belastungsfaktoren einschränkt.

## **Summary**

### **Assessments of crown condition on permanent plots**

Since 1983 on more than 50 permanent observation plots the crown condition of almost 4.500 trees of the four tree species pine, beech, spruce and oak has been assessed once or twice a year on the basis of various criteria. The assessments are the basic elements of an extensive environmental forest monitoring system.

During the assessment period there were only slight changes concerning defoliation as the main criterium for the crown condition, as far as pine and spruce are concerned, however drastic changes occurred in the defoliation of beech and oak. Some examples are given how to observe and analyse the results of these crown condition monitoring plots. Therefore, it becomes more and more obvious that interactions of biotic and abi-

otic factors are decisive for the significantly increased defoliation of broadleaved trees as long as basic stress due to air pollutants remains as high as it is at the present time. As far as the further development is concerned, no prognosis can be made at this particular point of time.

*Keywords: forest decline, defoliation, permanent observation plots*

*Schlagwörter: Waldschäden, Kronenverlichtung, Dauerbeobachtungsflächen*

## **Literatur:**

BOSSHARD, H. H., (1984): Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Holzkunde Band 2: Birkhäuser Verlag, Basel.

FRAUDE, H. J., (1987): Zur Anzahl der Nadeljahrgänge der Waldkiefer-Untersuchungen im Rahmen der Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz. *Der Forst- und Holzwirt*, 42. Jg., 415-417.

LÜSCHER, D.; SIEBER, M., (1988): Die Blütenbildung bei Bäumen und ihre Auswirkungen auf die Struktur der Krone: 1. Allgemeines über die Blütenbildung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 139. Jg., Nr. 12, 1055-1061.

MÜHLHAUS, B., (1985): Sondermeßprogramm Wald - Konzept, Kosten, Entwicklungstendenzen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 40. Jg., Nr. 25/26, 656-658.

SCHRÖCK, H.W. (1994): Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren -. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 28/94, 229 S.

ZOTH, R.; BLOCK J., (1992): Untersuchungen an Wurzelballen sturmgeworfener Bäume in Rheinland-Pfalz. *Forst und Holz*, 47. Jg., Nr.18, 566-571.

Anschrift des Verfassers: Hans Werner SCHRÖCK  
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Schloß  
67705 Trippstadt

# **Untersuchungen zur Bestandesstruktur und -Dynamik der krautigen Waldbodenvegetation auf Dauer- beobachtungsflächen in Abhängigkeit von Zäunungs- und Kalkungsmaßnahmen**

- Untersuchungskonzept und erste Ergebnisse -

von Jörg-W. Zoldan

Universität Trier, Fachbereich VI, Geobotanik

## **1. Zielsetzung**

Vegetationsveränderungen, entweder durch natürliche Sukzessionsabläufe oder durch natürliche oder anthropogen bedingte Veränderungen der Standortfaktoren verursacht, lassen sich am sichersten durch Dauerflächenbeobachtungen erfassen (SCHMIDT 1974). Dieses Verfahren eignet sich daher auch für qualitative und quantitative Untersuchungen von Populationsverschiebungen innerhalb der Krautschicht von Waldbeständen. Aus diesem Grund wurden im Jahr 1987 Dauerflächen entsprechend der unten angegebenen Darstellung eingerichtet. Die Zielsetzung für die Zukunft soll die Beobachtung, Dokumentation und Interpretation möglicher Veränderungen in der Krautvegetation sowohl in qualitativer wie auch in quantitativer Hinsicht sein. Das Konzept sieht einen mittel- bis langfristigen Untersuchungszeitraum vor.

Folgende Ursachen können für mögliche Veränderungen im Artenspektrum oder im Ausbreitungsverhalten einzelner Pflanzenarten unter den gewählten Versuchsbedingungen in Betracht gezogen werden:

1. Natürliche Dynamik und/oder Sukzession
2. Jahresgang des Witterungsverlaufs
3. Einfluß des Wildes (Verbiß)

4. Direkte und indirekte Auswirkungen von Kalkungen
5. Einträge von Nährstoffen durch nasse und trockene Deposition
6. Einträge von Schadstoffen durch nasse u. trockene Deposition
7. Änderung der Lichtverhältnisse am Waldboden durch Änderungen des  
Belaubungszustandes im Kronenraum

## 2. Durchführung

Um eventuelle zukünftige Veränderungen statistisch verrechnen zu können, sind eine größere Zahl von parallelen Einzelerhebungen notwendig. Zu diesem Zweck mußte jede Dauerbeobachtungsfläche in Teilflächen untergliedert werden. Diese werden im folgenden als Dauerquadrate bezeichnet. Die Seitenlänge dieser Quadrate beträgt jeweils 200 cm. Um bei der Vegetationskartierung keine Trittschäden zu verursachen, wurden zwischen den einzelnen Quadraten Wege von 100 cm Breite ausgespart.

In einem ersten Schritt wurden 1987 jeweils 25 dieser Dauerquadrate zu einer Teildauerbeobachtungsfläche zusammengefaßt. Die Dauerbeobachtungsflächen bestanden zunächst jeweils aus 2 Teilflächen, wobei eine, um einen Einfluß durch eventuellen Wildverbiß oder durch die Wühltätigkeit von Schwarzwild auf die Vegetation auszuschalten, eine Wildschutzzäunung erhielt. 1988 wurden zusätzlich in jedem Untersuchungsgebiet zwei weitere Teilflächen eingemessen, die als weitere Varianten eine Kalkung mit umgerechnet 3000 kg/ha gemahlenem Dolomitkalk erhielten.

Um die Untersuchungsergebnisse innerhalb der Versuchsvarianten miteinander vergleichen zu können, sollten die ausgewählten Waldparzellen zu Versuchsbeginn eine möglichst ähnliche Bodenvegetation aufweisen. Da die Ausdehnung homogener Pflanzenbestände in den meisten Fällen sehr begrenzt ist, konnten hier für die gezäunte und die ungezäunte Variante jeweils nur 15 weitere Dauerquadrate pro Teilfläche eingemessen werden.

Die Dauerquadrate wurden, um reproduzierbare Ergebnisse erhalten und jederzeit Vergleichskartierungen durchführen zu können, dauerhaft mittels ca. 75 cm langen Hart-PVC-Rohren markiert. Diese wurden mit Hilfe eines Bohrstockes ca. 50 cm tief an den Ecken der Dauerquadrate in den Boden versenkt. Über die räumliche Verteilung der Dauerquadrate über die Untersuchungsflächen wurde jeweils eine maßstabsgerechte

Skizze angefertigt, die auch die genaue Position etwa vorhandener Bäume enthält. Diese ermöglicht ein jederzeit sicheres Auffinden und Zuordnen jedes Quadrates vor Ort (siehe Beispiel in Abb. 1).

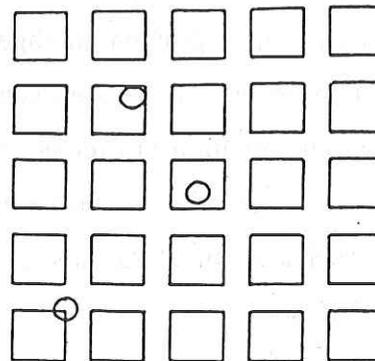
Dauerbeobachtungsfläche: Buche - 205

Forstamt: Prüm-Nord

Revier: Schneifel

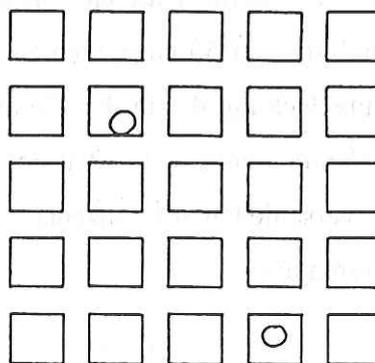
ungegattert

ungekalkt



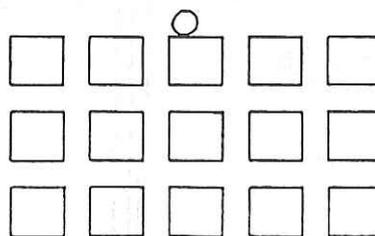
gegattert

ungekalkt



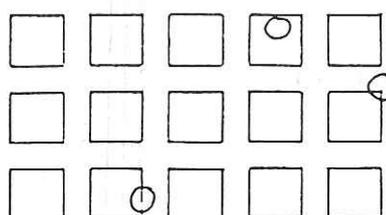
ungegattert

gekalkt



gegattert

gekalkt

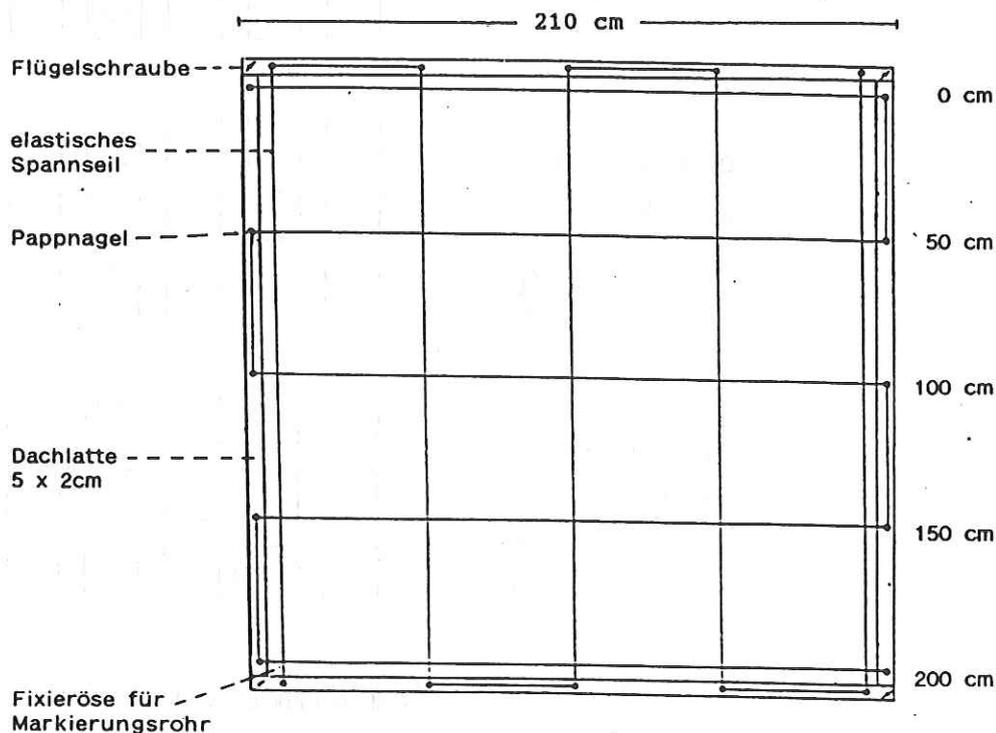


○ Stammfüße der vorhandenen Buchen

**Abb. 1:** Räumliche Verteilung der Dauerquadrate auf einer Dauerbeobachtungsfläche mit Angabe der Baumverteilung und Exposition der Teilflächen.

Entgegen den von anderen Autoren gewählten Methoden zur Erfassung der Bodenvegetation, wobei entweder unterschiedlich feinabgestufte Schätzverfahren der prozentualen Deckung der Einzelarten gewählt (SCHMIDT 1988; FISCHER 1993; WOLF 1988) oder bei der Bearbeitung populationsbiologischer Fragestellungen Zählungen von fertilen und sterilen Einzelsprossen durchgeführt wurden (SCHMIDT 1988), wurde für unsere Untersuchungen ein anderer, aufwendigerer Ansatz vorgezogen. Da eine exakte Zählung der pro Dauerquadrat auftretenden Einzelindividuen wegen der bei vielen krautigen Waldpflanzen verbreiteten unterirdischen Ausläuferbildung ausschied, wurde versucht, die möglichst zentimetergenaue Bodenbedeckung jeder Einzelpflanze bzw. -art im Gelände zu erfassen.

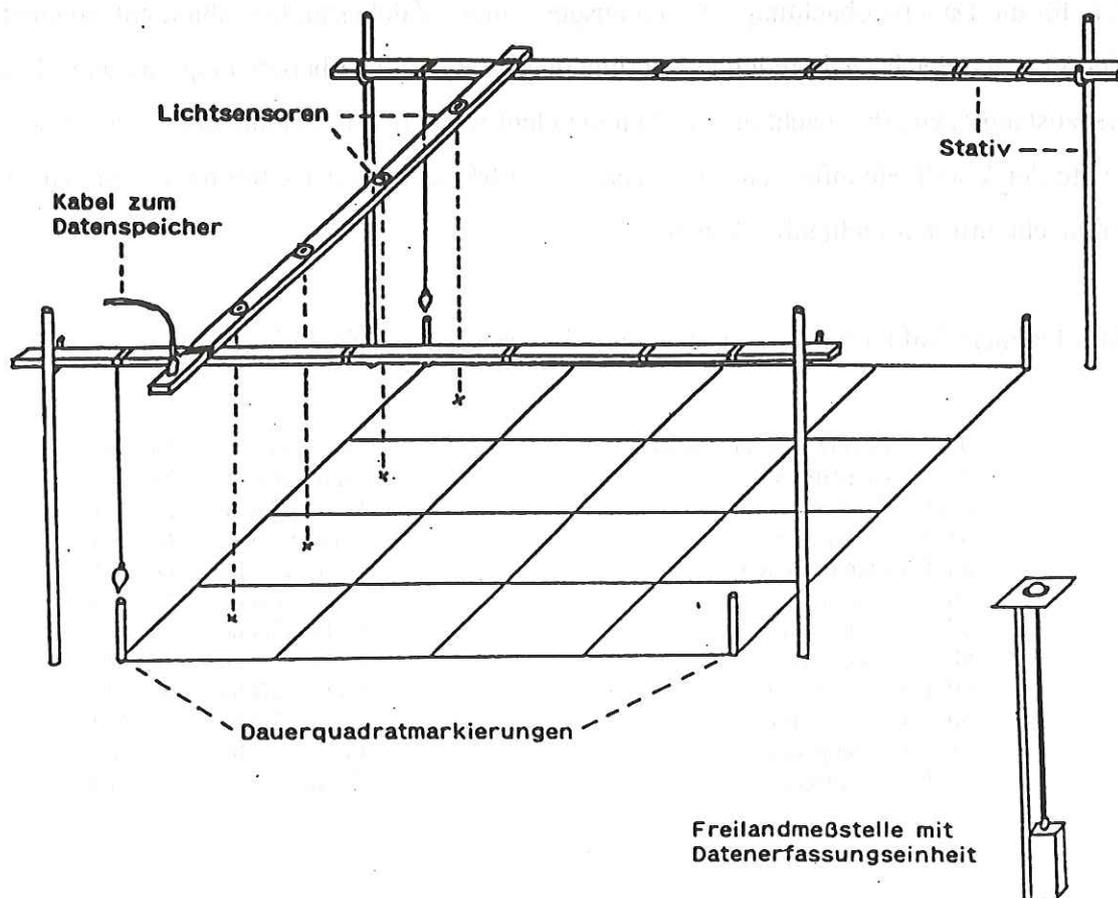
Die räumliche Ausdehnung und Verteilung der Gefäßpflanzen innerhalb der Dauerquadrate wurde mit Hilfe eines Kartierrahmens (s. Abb. 2), der mittels Spannseilen in Kleinquadrate von 50 cm Seitenlänge (=Rasterfelder) unterteilt war, vorgenommen. Die Bodenbedeckung der in den Dauerquadraten auftretenden Pflanzen wurde in ein dem Kartierrahmen entsprechenden Formblatt maßstabsgetreu eingezeichnet (s. Abb. 4-6), wobei die verschiedenen Pflanzenarten für alle Untersuchungsgebiete einheitliche Zahlensymbole erhielten.



**Abb. 2:** Meßrahmen zur Erfassung der krautigen Bodenvegetation in den Dauerbeobachtungs-Quadraten

Vergleichskartierungen der gleichen Dauerquadrate durch verschiedene Personen ergaben eine sehr gute Übereinstimmung der entsprechenden Vegetationskarten.

Relevant für die krautige Vegetation ist der am Waldboden herrschende Lichtgenuß, d.h. der prozentuale Anteil des Freilandlichtes, der der Waldbodenvegetation zur Verfügung steht. Um diesen zu erfassen, wurde von uns gemeinsam mit dem Elektroniklabor der Universität ein Meßgerät entwickelt, das es erlaubt, große Meßwertserien durchzuführen und gleichzeitig für eine spätere Auswertung mittels EDV zu speichern. Die Meßeinrichtung besteht aus zwei gleichartigen Datenspeichereinheiten und zwar je eine für die Freilandmessung und die Messung im Bestandesinneren. Ferner gehören zur Freilandmeßeinrichtung ein und zu derjenigen im Bestand vier Lichtsensoren. Da in jedem 50cm-Rasterfeld der Dauerbeobachtungsquadrate ein Meßpunkt liegen soll, hat sich der Einsatz einer Meßeinrichtung, bestehend aus einer Aluminiumstange mit vier jeweils im 50cm-Abstand installierten Lichtfühlern, bewährt. Abb. 3 zeigt eine Skizze der Meßeinrichtung.



**Abb. 3:** Schematische Darstellung der Meßeinrichtung zur Erfassung des relativen Lichtgenusses der krautigen Waldbodenvegetation

Die Lichtmessungen wurden wenn irgendmöglich termingleich mit der 1. Wiederholungskartierung der Vegetation 1991 und 1992 in den jeweiligen Dauerflächen durchgeführt. Unglücklicherweise lassen sich derartige Messungen nur bei einer ganz bestimmten Witterung durchführen. Um reproduzierbare Werte zu erhalten, müssen die Messungen bei gleichmäßig bedecktem Himmel aber zugleich bei trockenem Wetter durchgeführt werden. Sonnenschein erzeugt im Bestandesinneren im Tagesgang wandernde Sonnenflecken, die keine brauchbaren Meßergebnisse zulassen. Häufig mußten begonnene Meßserien wegen Änderung der Witterungsbedingungen abgebrochen werden. Aus diesem Grund konnten die entsprechenden Meßdaten nicht auf allen Untersuchungsflächen erhoben werden.

### 3. Untersuchungsflächen

Die für die Dauerbeobachtungsflächen ausgewählten Waldbestände mußten entsprechend der Vorgabe der FVA in möglichst geringem Abstand zu den bereits eingerichteten Kronenzustands-Dauerbeobachtungsflächen angelegt werden. Die Spanne der Deckungsprozente der Waldbodenpflanzen reicht von fast 100% in lichten Kiefernforsten bis zu fast krautschichtfreien Fichtenbeständen.

In folgenden Waldbeständen wurden Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet:

01. Forstamt(FA) Prüm-Nord	Buchenfläche	Nr. 205
02. FA Merzalben	Eichenfläche	Nr. 405
03. FA Waldmohr	Kiefernfläche	Nr. 301
04. FA Johanniskreuz	Kiefernfläche	Nr. 303
05. FA Idar-Oberstein	Fichtenfläche	Nr. 101
06. FA Adenau	Fichtenfläche	Nr. 106
07. FA Wallmerod	Fichtenfläche	Nr. 111
08. FA Morbach	Fichtenfläche	Nr. 121
09. FA Prüm-Nord	Fichtenfläche	Nr. 125
10. FA Entenpfuhl	Buchenfläche	Nr. 209
11. FA Entenpfuhl	Fichtenfläche	Nr. 103
12. FA Waldmohr	Buchenfläche	Nr. 210

Die Versuchsflächen Nr. 10 sowie Teile der Fläche 11 und 12 wurden wegen zu starker Sturmschäden im Frühjahr 1990 aus dem Untersuchungsprogramm herausgenommen. Folgende Flächen kamen 1993 hinzu:

13. FA Schaidt	Eichen-Hainbuchenfläche Nr. 408
14. FA Neuhäusel	Buchenfläche Nr. 212
15. FA Neuhäusel	Buchenfläche Nr. 213
16. FA Hermeskeil	Fichtenfläche Nr. 130

#### 4. Bisherige Ergebnisse

Inhalt der bisherigen Bearbeitungsschritte war die möglichst detailgenaue Erfassung und zeichnerische Dokumentation der zu Untersuchungsbeginn (1987/88) vorhandenen Waldbodenvegetation in den Dauerbeobachtungsflächen.

Seit der Vegetationsperiode 1991 wurde eine erste Wiederholungskartierung begonnen, die in den darauffolgenden Jahren fortgesetzt wurde. Seit diesem Zeitpunkt werden auch die Messungen zum Lichtgenuß der Krautschicht durchgeführt. Eine Auswertung dieses Datenmaterials und eine Parallelisierung mit den Lichtmeßwerten läuft zur Zeit.

Die folgenden Darstellungen (Abb. 4 - 6) sollen beispielhaft die Situation für einige Dauerquadrate in unterschiedlichen Forstbeständen veranschaulichen. Dargestellt sind für 3 Dauerquadrate die Verteilung der krautigen Waldbodenpflanzen zu beiden Kartierungsterminen, die Verteilung des Lichtgenusses in 100 cm Höhe über den Quadraten sowie eine Übereinanderprojektion beider Vegetationskarten, die Veränderungen in der Krautschicht verdeutlicht. Die Nomenklatur entspricht der LISTE von EHRENDORFER (1973). Die verwendeten Zahlen- und Buchstabensymbole entsprechen Tab. 1. Eine Interpretation der beobachteten Veränderungen des Verteilungsmusters der kartierten Waldbodenpflanzen ist, wie die Abb. 4 bis 6 zeigen, zum jetzigen Zeitpunkt kaum möglich. Vergleiche der Wiederholungskartierungen mit den Originalaufnahmen zeigen innerhalb aller Versuchsvarianten keine einheitlichen Veränderungstendenzen. Es kommen innerhalb der gleichen Teilflächen Abnahme- wie Ausbreitungstendenzen der gleichen Pflanzenarten vor. Ob es sich dabei um "normale" populationsbiologische Schwankungen oder um Einflüsse von Standortparametern handelt, kann allein schon deshalb nicht beurteilt werden, weil frühestens nach einer zweiten Wiederholungskartierung entschieden werden kann, ob die Veränderungen gerichtet sind oder sich vielleicht umkehren.

krautige Arten			
1.	<i>Avenella flexuosa</i>	24.	<i>Rumex acetosella</i>
2.	<i>Dryopteris carthusiana</i>	25.	<i>Digitalis purpurea</i>
3.	<i>Vaccinium myrtillus</i>	26.	<i>Dactylis glomerata</i>
4.	<i>Galium hircynicum</i>	27.	<i>Hieracium sylvaticum</i>
5.	<i>Epilobium angustifolium</i>	28.	<i>Veronica officinalis</i>
6.	<i>Luzula luzuloides</i>	29.	<i>Scrophularia nodosa</i>
7.	<i>Carex pilulifera</i>	30.	<i>Urtica dioica</i>
8.	<i>Oxalis acetosella</i>	31.	<i>Mycelis muralis</i>
9.	<i>Rubus idaeus</i> juv.	32.	<i>Dryopteris dilatata</i>
10.	<i>Taraxacum officinale</i>	33.	<i>Pteridium aquilinum</i>
11.	<i>Senecio sylvaticus</i>	34.	<i>Milium effusum</i>
12.	<i>Senecio fuchsii</i>	35.	<i>Viola reichenbachiana</i>
13.	<i>Moehringia trinervia</i>	36.	<i>Carex remota</i>
14.	<i>Athyrium filix-femina</i>	37.	<i>Carex sylvatica</i>
15.	<i>Poa nemoralis</i>	38.	<i>Lamium galeobdolon</i>
16.	<i>Agrostis tenuis</i>	39.	<i>Festuca altissima</i>
17.	<i>Calluna vulgaris</i>	40.	<i>Dentaria bulbifera</i>
18.	<i>Deschampsia cespitosa</i>	41.	<i>Melica uniflora</i>
19.	<i>Anemone nemorosa</i>	42.	<i>Dryopteris cristata</i>
20.	<i>Dryopteris filix-mas</i>	43.	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
21.	<i>Polygonatum verticillatum</i>	44.	<i>Stellaria media</i>
22.	<i>Agrostis stolonifera</i>	45.	<i>Molinia caerulea</i>
23.	<i>Galeopsis tetrahit</i>		
Gehölze			
Ap	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Ps	<i>Pinus sylvestris</i>
Bp	<i>Betula pendula</i>	Qp	<i>Quercus petraea</i>
Cs	<i>Crataegus spec.</i>	Qr	<i>Quercus robur</i>
Fa	<i>Frangula alnus</i>	Qu	<i>Q. petraea</i> od. <i>robur</i>
Fe	<i>Fraxinus excelsior</i>	Sc	<i>Salix caprea</i>
Fs	<i>Fagus sylvatica</i>	Sa	<i>Sorbus aucuparia</i>
Ld	<i>Larix cf. decidua</i>	Si	<i>Sorbus aria</i>
Pa	<i>Picea abies</i>	Sr	<i>Sambucus racemosa</i>
--j	juvenil (z.T. mit Höhenangabe)	--k	Keimling

**Tab. 1:** In den Darstellungen verwendete Zahlen- und Buchstabensymbole für die beobachteten krautigen Arten und Gehölze

Während auf dem in Abb. 4 dargestellten Dauerquadrat der ungegatterten und nicht gekalkten Versuchsvariante in einem Buchenbestand eine deutliche Flächenzunahme der Art *Milium effusum* (34) festzustellen ist, ist in anderen Quadraten derselben Versuchsfläche auch ein Rückgang dieser Art zu beobachten. Die Karte der Lichtverteilung läßt ebenfalls keinen Zusammenhang mit dem Verteilungsmuster erkennen. Dennoch ist nicht auszuschließen, daß sich die Lichtbedingungen während des vierjährigen Untersuchungsintervalls geändert haben und sich dadurch die Konkurrenzbedingungen für die Kraut-

pflanzen verschoben haben. Diesbezügliche Aussagen sind aber frühestens nach der nächsten Lichtmessung möglich.

Abb. 6 zeigt ein ähnliches Bild einer Artausbreitung. In dem dargestellten Dauerquadrat der insgesamt wesentlich lichterem Kiefernfläche hat sich der Bestand von *Vaccinium myrtillus* (3) von ca. 50% Flächenanteil innerhalb von 5 Jahren etwa verdoppelt. Während zu Versuchsbeginn die Einzelpflanzen noch deutlich voneinander abgrenzbar waren, hat sich seither ein einheitlicher geschlossener Heidelbeer-Teppich ausgebildet. Ob innerhalb des genannten Zeitraumes eine Veränderung der Lichtverhältnisse eingetreten ist, kann nicht beurteilt werden.

Zumindest eingeschränkt interpretierbar ist das Verhalten der Art *Oxalis acetosella* (8) in Teilflächen des Fichtenbestandes im Forstamt Wallmerod (s. Abb. 5). Dort hat der Orkan Wiebke im Februar 1990 eine unmittelbar an die Beobachtungsfläche angrenzende Schneise geschlagen. Hier ist es weniger die als sicher anzunehmende Erhöhung des Lichtgenusses, sondern auch die starke Veränderung des Mikroklimas, welches zum Verschwinden des Sauerklees geführt haben dürfte. Diese Art hat - soweit bekannt ist - die geringsten Lichtansprüche aller mitteleuropäischen Waldpflanzen. Die meso- bis schwach hygromorphe Blattanatomie erfordert daneben auch eine konstant hohe Luftfeuchtigkeit, die mit der Änderung der Strahlungsbedingungen und Windverhältnisse nicht mehr gegeben war. Der Farn *Dryopteris carthusiana* (2) ist gegenüber den Strahlungsbedingungen wesentlich anpassungsfähiger. Obwohl die im Dauerquadrat wachsenden Exemplare bereits 1987 an den gleichen Punkten beobachtet werden konnten, sind sie durch den Windwurf offensichtlich deutlich gefördert worden, zumindest sind sie zu mastigen Exemplaren herangewachsen.

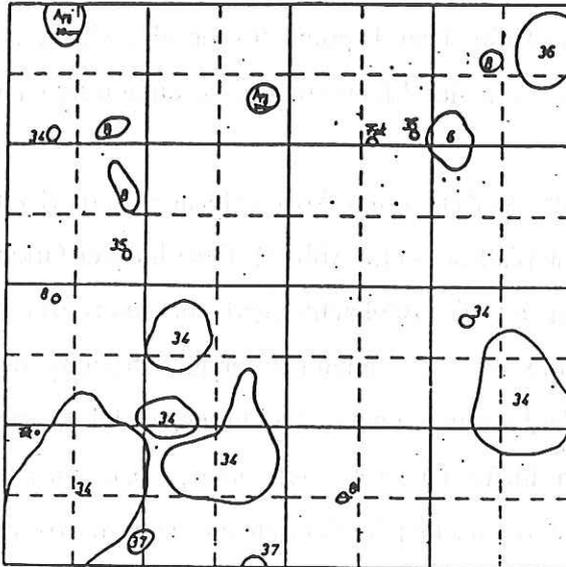
In anderen Quadraten dieser Beobachtungsfläche sind daneben als Folge der geänderten Standortbedingungen auch vorher völlig fehlende Arten eingewandert, die z.T. starke Ausbreitungstendenzen erkennen lassen. Dies trifft vor allem für die Stickstoff anzeigenden Arten *Epilobium angustifolium* und *Senecio sylvaticus* zu.

Insgesamt liegen für jeden Aufnahmeterrain je Beobachtungsfläche 80 Vegetationskarten (für alle Flächen zusammen über 2.000) vor, die nach einer nächsten Wiederholungskartierung wohl klarere Interpretationen erwarten lassen.

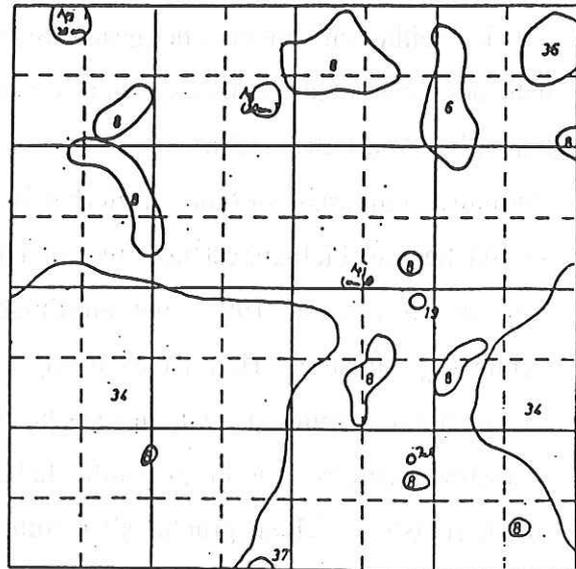
Dauerbeobachtungsfläche: Buche - 205  
 Forstamt: Prüm-Nord - Revier: Schneffel  
 gegattert: ( ) gekalkt: ( )  
 ungegattert: (X) ungekalkt: (X)

1	X	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Vegetationsperiode: 1987

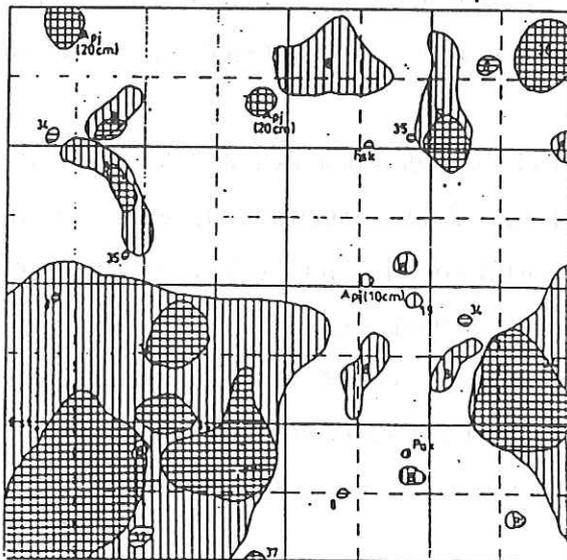


Vegetationsperiode: 1991



Veränderungen der Flächendeckung der krautigen Waldbodenvegetation zwischen den bisherigen beiden Beobachtungszeitpunkten

Ausbreitung  
 Rückgang  
 Konstant



Lichtgenuß in 100 cm Höhe  
 (in % des Freilandlichtes)

Vegetationsperiode: 1991

0 - 1%  
 >1 - 2%  
 >2 - 3%  
 >3 - 4%  
 >4 - 5%  
 >5 - 7.5%  
 >7.5 - 10%  
 >10 - 15%  
 >15 - 30%  
 >30%  
 keine Angaben

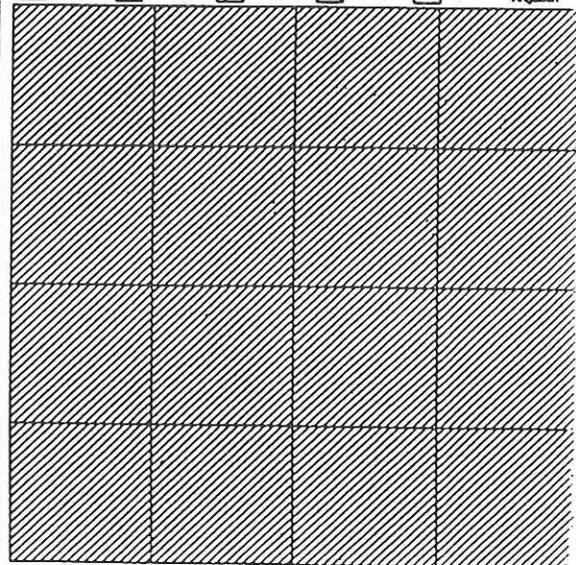


Abb. 4: Vegetations- und Lichtverteilungskarte eines Dauerquadrates in einem Buchenbestand

Dauerbeobachtungsfläche: Fichte - 111 A

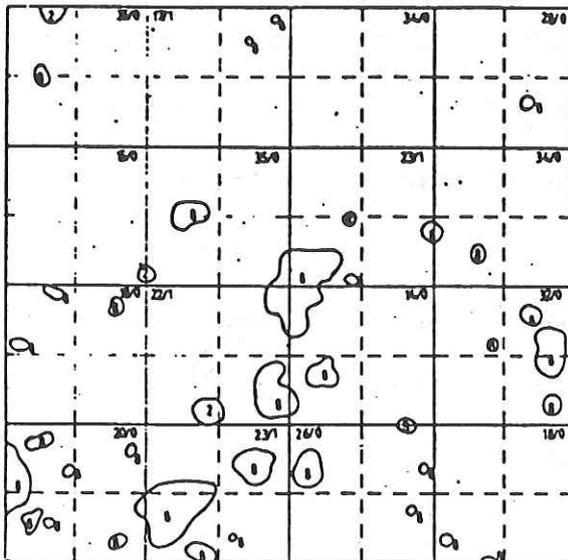
Forstamt: Wallmerod - Revier: Höhn

gegattert: (X) gekalkt: ( )

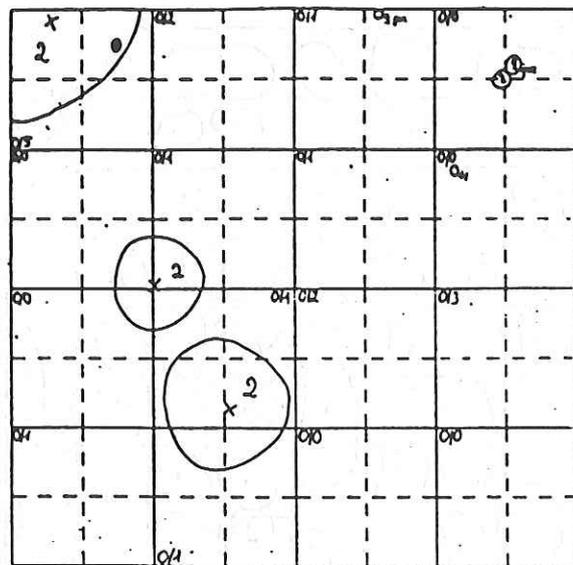
ungegattert: ( ) ungekalkt: (X)

1	2	3	4	X
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Vegetationsperiode: 1987



Vegetationsperiode: 1992



Veränderungen der Flächendeckung der krautigen  
Waldbodenvegetation zwischen den bisherigen  
beiden Beobachtungszeitpunkten

Ausbreitung
 Rückgang
 Konstant



Lichtgenuß in 100 cm Höhe  
(in % des Freilandlichtes)  
Vegetationsperiode: 1992

0 - 1%
 >1 - 2%
 >2 - 3%
 >3 - 4%
 >4 - 5%
 >5 - 7.5%
 >7.5 - 10%
 >10 - 15%
 >15 - 30%
 >30%
 keine Angaben

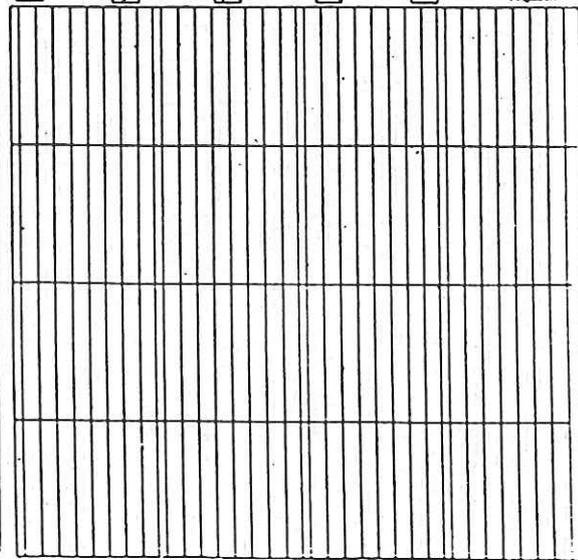


Abb. 5: Vegetations- und Lichtverteilungskarte eines Dauerquadrates in einem Fichtenbestand

Dauerbeobachtungsfläche: Kiefer - 303

Forstamt: Johanniskreuz - Revier: Eschkopf

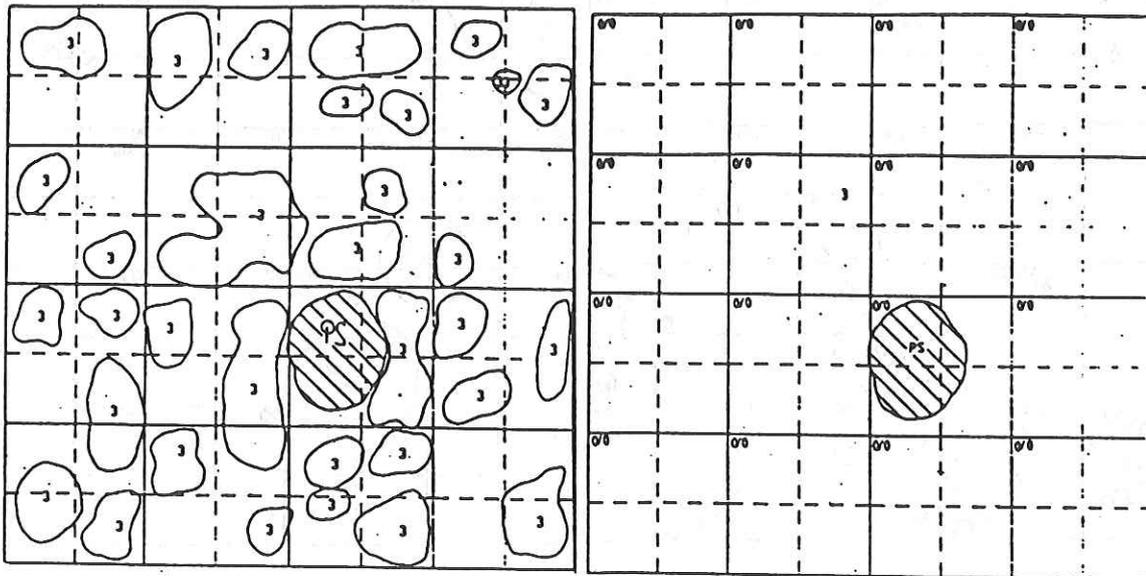
gegattert: (X) gekalkt: ( )

ungegattert: ( ) ungekalkt: (X)

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Vegetationsperiode: 1987

Vegetationsperiode: 1992



Veränderungen der Flächendeckung der krautigen Waldbodenvegetation zwischen den bisherigen beiden Beobachtungszeitpunkten

Ausbreitung
 Rückgang
 konstant

Lichtgenuß in 100 cm Höhe (in % des Freilandlichtes)

Vegetationsperiode: 1992

0 - 1%
 >1 - 2%
 >2 - 3%
 >3 - 4%
 >4 - 5%
 >5 - 7.5%
 >7.5 - 10%
 >10 - 15%
 >15 - 30%
 >30%
 keine Angaben

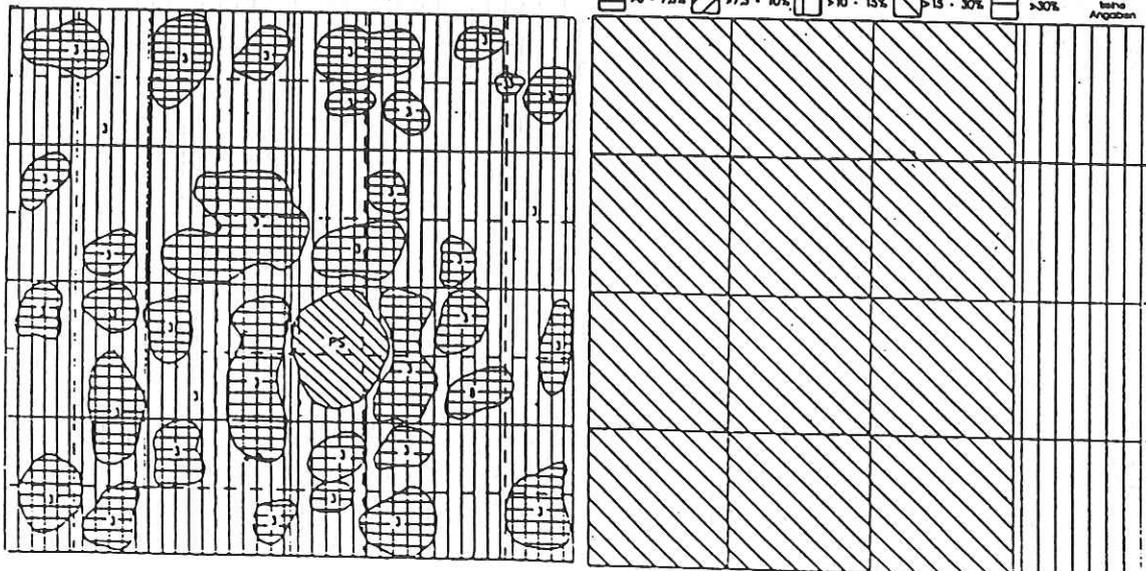


Abb. 6: Vegetations- und Lichtverteilungskarte eines Dauerquadrates in einem Kiefernbestand

## 5. Ausblick

Zur Zeit entwickelt die FVA ein EDV-Programm zur Digitalisierung der Vegetationskarten. Damit sollte es möglich werden, die beobachteten Populationsveränderungen in den Dauerquadraten exakt quantifizieren zu können.

Daneben sollen in den Jahren 1994 und 1995 eine erneute Wiederholungskartierung ausgewählter Probestellen und erneute Lichtmessungen durchgeführt werden, so daß Ende 1995 mit den ersten aussagekräftigen Ergebnissen zu Änderungen im Artenspektrum und deren Ausbreitung sowie zu den Ursachen von Populationsveränderungen zu rechnen ist.

### Summary

In the years 1986 and 1987 permanent plots had been selected to investigate changes in the species composition of the herb layers of forest stands in Rheinland-Pfalz. The test sites are located in direct proximity to those chosen by the Forestry Research Institute to evaluate the crown-condition of trees.

All the sites are divided into four sections which correspond to the following conditions:

1. - control (no treatment)
2. - section with application of 3000 kg/ha dolomite limestone
3. - fenced half-section of control (1)
4. - fenced half-section of limed area (2)

In each of the 4 variants 15 quadrats (2 x 2 m) were marked with resistant poles in order to discover long-term changes in the coverage of the herb layer. The distribution of plants within them was mapped utilising a frame divided in parts (0,5 x 0,5 m) in order to scale down this information to vegetation maps. Most of the sites have been visited a second time in the mean-time.

Differences in species composition caused by the 4 test conditions are superimposed by varying light conditions at the forest floor. Paralleling the vegetation mapping light measurements had to be carried out to identify the relative light intensity 1 m above the test-sites.

Comparing the results of vegetation mapping in the sequence of years revealed a clear shift in species composition and distribution. These changes are difficult to interpret be-

cause species distribution in different quadrats belonging to the same variant was not uniform.

Currently the maps are digitised by the Forest Research Institute Rheinland-Pfalz so that future attempts in interpreting those changes will be rationalised. First validation of shifts in species distribution and composition will be possible following the third vegetation mapping episode in summer 1995.

*Keywords: permanent plots, woody herbs, changes in distribution, vegetation mapping*  
*Schlagwörter: Dauerbeobachtung, Bodenvegetation, Veränderung*

### **Literatur:**

FISCHER, A. (1993): Zehnjährige vegetationskundliche Dauerbeobachtungen stadtnaher Waldbestände. -Forstwissenschaftliches Centralblatt 112, S.140-158

SCHMIDT, W. (1974): Die vegetationskundliche Untersuchung von Dauerprobeflächen. - Mitt.flor.-soz. Arbeitsgem., N.F.17, 103-106

SCHMIDT, W. (1988): Langjährige Veränderungen der Krautschicht eines Kalkbuchenwaldes (Dauerflächenuntersuchungen). -Tuexenia 8, 327-338

WOLF, G. (1988): Dauerflächen-Beobachtungen in Naturwaldzellen der Niederrheinischen Bucht - Veränderungen in der Feldschicht. -Natur und Landschaft, 63.Jg., H.4, 167-172

Anschrift des Verfassers: Dr. Jörg-W. ZOLDAN  
Universität Trier, Fachbereich VI, Geobotanik  
54286 Trier

# **Zusammenhang zwischen Nadelpilzen und Streufall an Kiefern- und Fichten-Dauerbeobachtungsflächen**

von Wolf-Rüdiger Arendholz

Fachbereich Biologie der Universität Kaiserslautern

## **1. Einleitung und Zielsetzung**

Das Kronenbild der Waldkiefer und der Fichte wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Insektenfraß und Infektionen durch Nadelpilze sind bekannte biotische Faktoren, die zu Kronenverlichtungen führen können. Immissionseinflüsse sowie das natürliche Absterben älterer Nadeljahrgänge bewirken ebenfalls einen Nadelfall. Die Benadelungsdichte beider Waldbaumarten ist somit das Ergebnis eines durch unterschiedliche Ursachen herbeigeführten Nadelschüttens.

Bei der im Rahmen von Waldschadensuntersuchungen üblicherweise periodisch durchgeführten Schadansprache fehlt es in der Regel an Hinweisen, die nachträglich Rückschlüsse auf Ursachen des vorangegangenen Streufallgeschehens erlauben. Angesichts der genannten Vielfalt der Einflußfaktoren könnte eine Untersuchung des Nadelstreufalls in mancher Hinsicht aufschlußreich sein:

- 1.) Die auf visueller Schätzung beruhende Ermittlung der Nadelverlustprozente und die daraus abgeleiteten Aussagen zur Vitalitätsveränderung könnten mit Hilfe der Streufallmengen für den jeweiligen untersuchten Bestand einer Kontrolle unterzogen werden.
- 2.) Der jahreszeitliche Verlauf des Nadelfalls und die Sichtung der Streu auf Pilzinfektionsstellen (bzw. Fraßschäden) könnten Aufschluß geben über die Beteiligung von Nadelpilzen, ggf. aber auch abiotischen Ursachen am Nadelfall.

Mit diesen Zielsetzungen wurden seit Mai 1986, beginnend zunächst für eine Kiefernfläche (303, Johanniskreuz) Nadelstreuproben auf Pilzbefall (und Fraßschäden) untersucht. Später wurden weitere Flächen in die Untersuchungen einbezogen:

- 1.) Eine Fichtenfläche in Idar-Oberstein (115), seit Mitte November 1986.

- 2.) Seit Januar 1990 zwei weitere Fichtenflächen, in der Schneifel (217) und in Adenau (101).
- 3.) Zwei weitere Kiefernflächen in Waldmohr (301) und in Speyer (306) seit 1987 bzw. 1989. Die Beobachtungsfläche "Waldmohr" mußte im Februar 1990 wegen Sturmwurf aufgegeben werden.

## 2. Methode

Die Streuproben wurden in 15 Sammelbehältern (Plastikeimer mit durchlöchernten Böden und Kunststoffsiebeinsätzen) mit einem Durchmesser von ca. 30 cm gesammelt, die in drei Reihen zu je fünf Behältern in den Beobachtungsflächen an Pfählen in zwei Meter Höhe aufgehängt wurden, um z.B. den Befall mit Bodenarthropoden oder Bodenpilzen möglichst zu vermeiden. In der Regel wurden die Behälter wöchentlich entleert und der Streufall zweier aufeinander folgender Leerungstermine zu einer 14-Tage-Probe vereinigt, wobei jeweils der Inhalt der fünf in einer Linie einander zugeordneten Behälter zu einer Mischprobe vereinigt wurde. Je 14 Tage wurden somit drei Streufallproben gebildet, die jeweils an Hand einer Stichprobe von maximal 100 Nadeln bzw. Kurztrieben untersucht wurden.

Um weitere Beobachtungsflächen in die Untersuchungen einbeziehen zu können, ohne den Arbeitsaufwand nennenswert zu erhöhen, und weil bei geringen Streufallmengen der Befall mit Pilzen als Ursache für den Nadelfall eher eine untergeordnete Rolle spielt, wurden ab 1988 (für die Kiefernflächen) bzw. 1989 (für die Fichtenflächen) die Streuproben nur noch ab einer Frischmasse von umgerechnet 100 kg/ha bzw. 150 kg/ha untersucht.

Die Nadeln bzw. Kurztriebe wurden makroskopisch unter dem Stereomikroskop untersucht. Beobachtete fruktifizierende Organe wurden, soweit das ohne Kulturmethoden möglich war, bis zur Art bestimmt. Da wegen der hohen Zahl der zu untersuchenden Kurztriebe bzw. Nadeln der Arbeitsumfang durch zusätzliches Anlegen von Kulturen (z.B. zur Feststellung von Endophyten) schnell die Möglichkeiten einer Einzelperson erschöpft hätte, können mit dieser Arbeitsweise nur Pilze erfaßt werden, die bis zum Untersuchungstermin sichtbare, sporolierende Organe gebildet haben. Sterile, oberflächlich und in den Nadeln wachsende Myzelien, die bereits zu deutlichen Veränderungen an diesen geführt haben, wurden zwar - nach mikroskopischer Analyse - als Pilzinfektionen erkannt, können aber oft keiner Art zugeordnet werden.

Die Ergebnisse wurden in einem Befundsprotokoll zusammengefaßt, das zusätzlich eine vierteilige Farbskala (grün bis gelblich-grün; gelblich bis ockerfarben, rotbraun, grau) enthält, der die untersuchten Nadeln bzw. Kurztriebe zugeordnet wurden.

Desweiteren wurden Besonderheiten vermerkt, wie z.B. Besatz mit Grünalgen, das Vorkommen eines Blattkissens bei den Fichtennadeln u.a..

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Vorkommende Pilzarten

Mit der oben geschilderten Methode wurden im Laufe des Untersuchungszeitraumes folgende Pilze gefunden:

##### Kiefer

*Sclerophoma pythiophila* (Corda) v. Höhnel

*Cladosporium herbarum* (Pers.) Link und andere *Cladosporium*-Arten  
(bevorzugt an Fraßstellen)

*Alternaria alternata* (Fr.) Keissler und andere *Alternaria*-Arten

*Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo et Minter  
(= *Naemacyclus minor* Butin)

*Lophodermium seditiosum* Minter, Staley et Milar (= L. "pinastri" auct.)

*Verticillium* spec.

##### Fichte

*Rhizosphaera kalkhoffii* Bub.

*Sclerophoma pythiophila* (Corda) v. Höhnel

*Lophodermium piceae* (Fuckel) v. Höhnel

*Lirula macrospora* (Hartig) Parker (= *Lophodermium macrosporum*  
(Hartig) Rehm, *Leptostroma* spec.

*Verticicladiella abietina*

*Phialocephala* spec.

*Cladosporium herbarum* (Pers.) Link u.a. *Cladosporium*-Arten, *Thysanophora penicillata* (Roum.) Kendrick

Bei der Kiefer sind *Lophodermium seditiosum* (Erreger der Kiefernscütte) und *Cyclaneusma minus* (Erreger der Naemacyclus-Nadelschütte) bekannte Pathogene dieses Baumes. Beide Arten traten während des Untersuchungszeitraumes jedoch nicht in nennenswertem Umfange auf. Der jährliche Durchschnitt liegt meist deutlich unter 5%.

Die Bedeutung des von uns am häufigsten gefundenen Pilzes, *Sclerophoma pythiophila* - die Jahresdurchschnittswerte schwanken zwischen 4% und ca. 22% Befall, bei Einzelproben jedoch bis zu 49% - wird in der Literatur widersprüchlich diskutiert: So nehmen z.B. REHFUESS (1986), KOWALSKI (1981, 1982) u.a. eine mehr oder weniger starke Pathogenität an, während BUTIN (z.B. 1983) diesen Pilz als "häufigen Besiedler von absterbenden oder toten Kiefernadel" bezeichnet.

Die übrigen Arten sind nach unseren jetzigen Kenntnissen z.T. weit verbreitete und häufige Saprobionten (= Saprophyten), die bereits vor dem Absterben der Nadeln mit ihren Sporen auf der Nadeloberfläche anwesend sein können, wie z.B. *Cladosporium*- und *Alternaria*-Arten.

Für die Fichte gelten von den aufgefundenen Pilzen *Rhizosphaera kalkhoffii* (Erreger der *Rhizosphaera*-Nadelbräune oder Nadelröte), *Lirula* (= *Lophodermium*) *macrosporum* (Erreger des Fichtenritzenschorfes) und *Lophodermium piceae* als bekannte Pathogene, deren Virulenz unterschiedlich beurteilt wird (vgl. z.B. BUTIN 1983, BUTIN & WAGNER 1985, HEININGER & SCHMID 1986, KOWALSKI & LANG 1984, REHFUESS & RODENKIRCHEN 1984, SCHÜTT 1985). Stärkere Schäden scheinen bisher nicht bekannt geworden zu sein. Daher werden diese Pilze meist als Schwächeparasiten eingestuft.

Die *Leptostroma*-Arten sind die anamorphen (auch imperfekten oder Nebenfruchtformen genannten) Stadien von *Lophodermium*- bzw. *Lirula*-Arten. Für die übrigen Pilze gilt das gleiche wie bei der Kiefer: Sie sind weitverbreitete und z.T. häufige Saprobionten auf absterbendem oder totem pflanzlichem Substrat.

### **3.2 Zusammenhang zwischen Streufall und Pilzbefall**

Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Streufallmenge und Pilzbefall ist sowohl bei den Kiefern- als auch bei den Fichtenbeobachtungsflächen bezogen auf den jeweiligen Jahresverlauf und die einzelnen Jahre nicht nachweisbar, wenn auch an einzelnen Untersuchungsterminen durchaus eine positive Korrelation zwischen Pilzbefallsrate und Streufallmenge feststellbar ist (s. z.B. Abb. 1 oder 4). Mindestens genauso häufig lassen sich aber auch negative Korrelationen aufzeigen, d.h. hoher Streufall gepaart mit niedriger Pilzbefallsrate.

Sichere Aussagen über den Pilzbefallsverlauf innerhalb eines Jahres sind nicht möglich, da seit 1989 - nach der Extensivierung des Untersuchungsumfanges, wie schon oben

erwähnt - nur noch Streuproben untersucht wurden, die mehr als 100 kg/ha (Kiefer) bzw. 150 kg/ha (Fichte) Frischmasse "auf die Waage brachten".

Auffällig hoch erscheint der Pilzbefall mit den am häufigsten gefundenen, potentiellen Pathogenen jedoch nicht (Ausnahme Rhizosphaera-Befall 1989), wie die folgende Tabelle für die drei Fichtenbeobachtungsflächen zeigt:

	RHIZOSPHAERA						SCLEROPHOMA					
	Adenau		Idar-Oberstein		Schneifel		Adenau		Idar-Oberstein		Schneifel	
	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
1987	-	-	19.3	20	-	-	-	-	8.8	20	-	-
1988	-	-	17.1	19	-	-	-	-	9.3	19	-	-
1989	45.7	3	20.6	8	21.0	3	5.3	3	5.4	8	7.0	3
1990	6.3	8	8.5	8	7.0	8	1.0	8	0.5	8	0.8	8
1991	13.7	6	10.5	6	17.0	6	15.7	6	10.3	6	20.0	6
1992	0.0	1	11.2	9	17.3	3	6.0	1	2.7	9	15.0	3
1993	16.0	6	12.5	6	11.1	7	12.2	6	8.7	6	2.0	7

**Tab. 1:** Durchschnittlicher prozentualer Anteil (%) der mit Rhizosphaera bzw. Sclerophoma befallenen Nadeln an drei Fichtenbeobachtungsflächen; N = Anzahl der bewerteten Probenahmetermine im jeweiligen Jahr

Hinzuweisen ist dagegen auf die starken Schwankungen - insbesondere beim Sclerophoma-Befall - zwischen den einzelnen Jahren. Derartige Schwankungen des Pilzbefalles finden wir auch bei unmittelbar aufeinander folgenden Untersuchungsterminen: Z.B. bei der Fichtenfläche "Idar-Oberstein" am 6.3.1990 25% Rhizosphaera-Befall, am 20.3.1990 kein Befall mit der gleichen Art.

Noch krasser zeigten sich solche Sprünge bei der Fichtenfläche "Schneifel" (217):

Am 4.2.1992 kein Befall mit Sclerophoma; 14 Tage später 45% Befall und am 17.3.1992, also ca. vier Wochen später, wiederum kein Sclerophoma-Befall. Die genannten drei Proben waren übrigens die einzigen, die für die entsprechende Untersuchungsfläche 1992 auf Pilzbefall untersucht werden mußten, d.h. der Streufall während des restlichen Zeitraumes dieses Jahres lag für diese Fläche innerhalb 14 Tagen immer unter 150 kg/ha Frischmasse.

### 3.3 Streufallverlauf bei Kiefer und Fichte

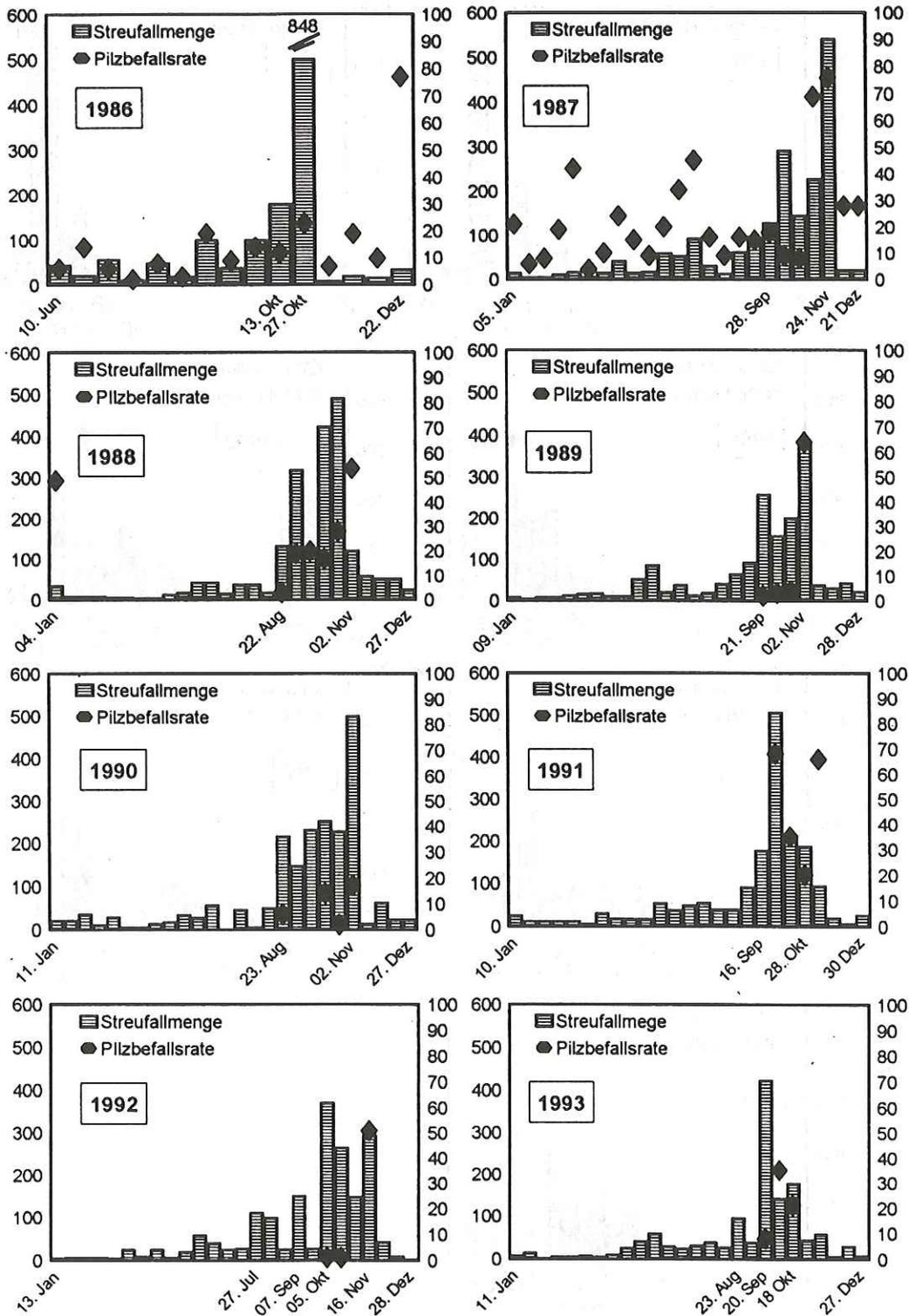
Betrachtet man den Streufall der einzelnen Beobachtungsflächen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg, so läßt sich folgendes feststellen:

Die **Kiefernfläche** in Johanniskreuz zeigt grundsätzlich ein typisches "Kiefernverhalten" mit einem physiologischen Schüttemaximum im Spätsommer bzw. Frühherbst (Abb. 1). Dabei ist jedoch eine Tendenz zu einem früheren Beginn des Schützens zu erkennen (Ende August, in 1992 bereits Ende Juli beginnend!). Diese Tendenz sollte bei der Wahl der Termine zur Schätzung der Nadelverlustprozente beachtet werden. Über die Gründe für den früheren Schütteebeginn bzw. für den verlängerten Schütteezeitraum (siehe unten) lassen sich z. Zt. nur Vermutungen anstellen. Denkbare Ursachen wären z.B. jährliche Schwankungen im Schütteeverhalten, klimatische oder andere abiotische Einflüsse, wie z.B. „Spätfolgen“ der Stürme Anfang 1990. Welche Ursache oder Ursachen letztlich als Erklärung herangezogen wird/werden, müssen weitere Streufalluntersuchungen zeigen. Besonderes Augenmerk verdient die Tatsache, daß die schweren Stürme im Spätwinter 1990 ohne nennenswerten Nadelverlust von diesem Bestand überstanden wurden (Abb.1).

Die Kiefern der Speyerer Beobachtungsfläche (306) zeigten in den Jahren 1987 bis 1989 (Abb. 2) ein ähnliches Verhalten, wie die der Fläche in Johanniskreuz, wenn wir von der Höhe der Gesamt-Streufallmenge, die wohl standortabhängig ist, für diesen Zeitraum absehen (5489 kg/ha bzw. 10166 kg/ha). Seit 1990 lassen sich jedoch auffällige Unterschiede erkennen:

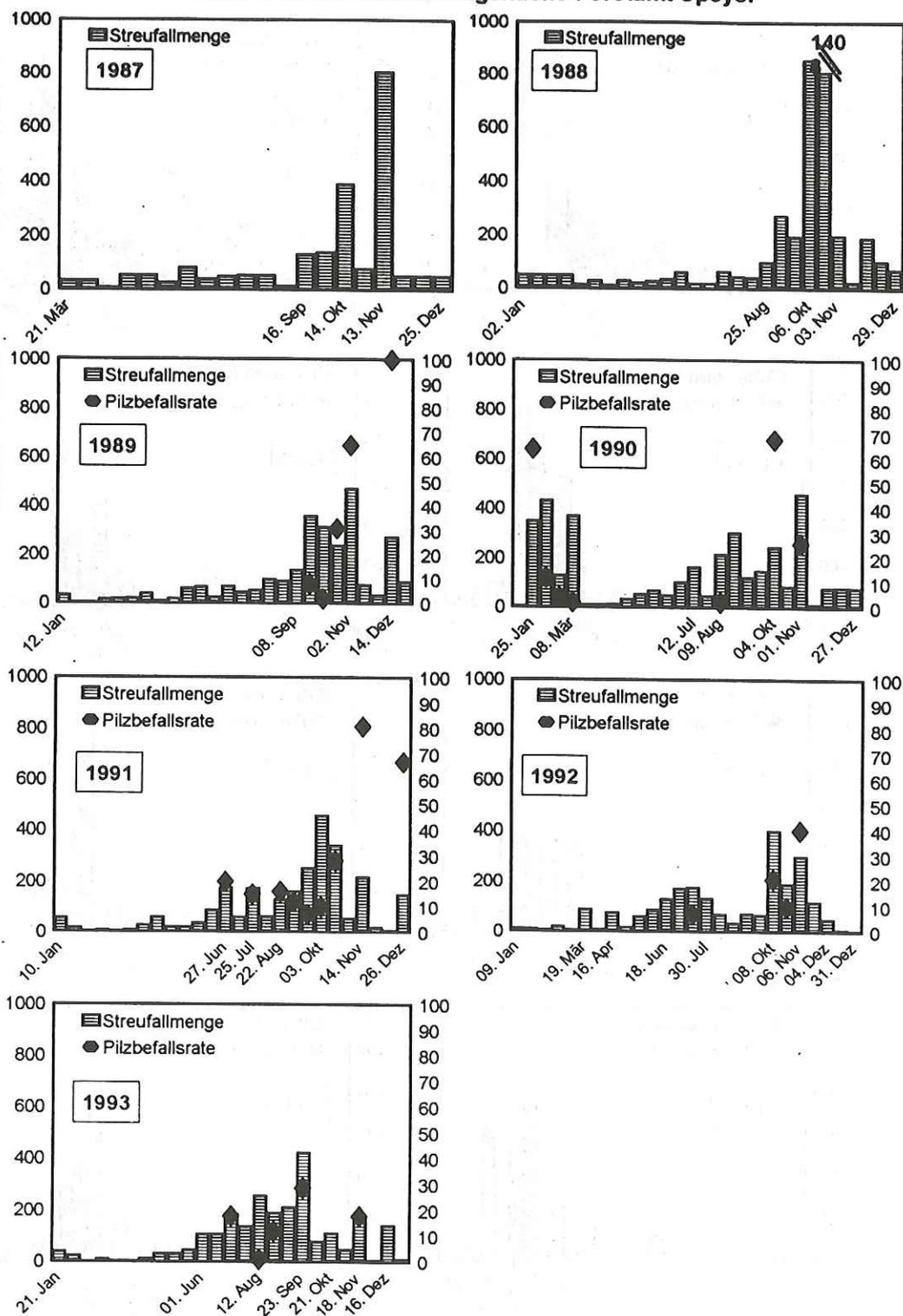
- a.) Zum einem schlagen die Stürme Anfang 1990 mit ca. 800 kg/ha Nadelstreufall für dieses Jahr deutlich zu Buche (Anteil der grünen Nadeln während dieses Zeitraumes bis über 90%!). (Abb. 2)
- b.) Wesentlich auffälliger ist jedoch, daß das typische "Kiefernverhalten", nämlich die frühherbstliche Schütteeperiode, zwar nicht verloren gegangen, aber über einen sehr viel längeren Zeitraum abläuft (Abb. 2):
  - 1990: Beginn 12.7. (9.8.) bis ca. 1.11.
  - 1991: Beginn 27.6. (25.7.) bis ca. 14.11.
  - 1993: Beginn 8.7. bis ca. 18.11.
  - 1992: mußten sogar zwei "Spitzen" festgestellt werden; die erste beginnend etwa am 28.5. und endend am 13.8, die zweite ("normale") im Zeitraum vom 8.10. bis 19.11.. Auch diese Beobachtungen sollten bei der Festsetzung der Termine zur Schätzung der Nadelverlustprozente beachtet werden.

### Kieferndauerbeobachtungsfläche Forstamt Johanniskreuz



**Abb.1** : Die Balkendiagramme zeigen den Streufallmengenverlauf in kg / ha [= linke Y-Achse] und die Punkte die Pilzbefallsrate in Prozent [= rechte Y-Achse] von 06 / 1986 bis 12 / 1993 auf der Kieferndauerbeobachtungsfläche, Forstamt Johanniskreuz .Die Probenahme erfolgt 14 -tägig [=X-Achse].Einige markante Termine sind explizit gekennzeichnet . Ab 1988 wurde der Streufall erst ab einer Menge von 100 kg / ha / 14 Tage Frischgewicht makroskopisch auf Pilzbefall untersucht ( Abbildungen erstellt durch FVA Rhl.-Pfalz, Sch).

### Kieferndauerbeobachtungsfläche Forstamt Speyer



**Abb.2** : Die Balkendiagramme zeigen den Streufallmengenverlauf in kg / ha [= linke Y-Achse] und die Punkte die Pilzbefallsrate in Prozent [= rechte Y-Achse] von 06 / 1987 bis 12 / 1993 auf der Kieferndauerbeobachtungsfläche, Forstamt Speyer. Die Probenahme erfolgt 14 -tägig [=X-Achse]. Einige markante Termine sind explizit gekennzeichnet. Ab 1989 wurde der Streufall erst ab einer Menge von 100 kg / ha / 14 Tage Frischgewicht makroskopisch auf Pilzbefall untersucht. In den Jahren 1987 und 1988 erfolgten auf dieser Fläche keine Pilzuntersuchungen ( Abbildungen erstellt durch FVA Rhl.-Pfalz, Sch ).

Für die **Fichte** ist kein rhythmisches Schütten der Nadeln bekannt. Unsere Ergebnisse legen jedoch die Vermutung nahe, daß der größte Teil der Nadelstreu während der Wintermonate bis zum Beginn des jeweiligen Neuaustriebes abgeworfen wird und somit in die Zeit der Vegetationsruhe fällt, was durchaus plausibel erscheint (Abb. 3 + 4). Dabei tragen grüne Nadeln einen beträchtlichen Anteil (z.B. 1990 zum Teil mehr als 60 %; vgl. Tab. 2) zur Streufallmenge bei, entgegen den Beobachtungen von GRUBER(1987), der nur einen Anteil von rund 12 % feststellt. Die Unterschiede zu seinen Ergebnissen sind möglicherweise auf den kurzen Beobachtungszeitraum von nur einem halben Jahr und weniger auf eine unterschiedliche Bewertung „grüner“ Nadeln zurückzuführen, was sich auch in den Unterschieden seiner und unserer Ergebnisse zur Nadelfalldynamik widerspiegelt: „Während der Wintermonate Dezember bis März war der Nadelfall stark reduziert, woran der hemmende Einfluß der niedrigen Temperatur ersichtlich wird“ (l. c. p. 159). Der Fichtenbestand auf der Beobachtungsfläche Idar-Oberstein zeigte in den Jahren 1987 und 1988 ein ähnliches Streufallverhalten, das sich in den nachfolgenden Jahren jedoch nahezu in sein Gegenteil verkehrte (s. Abb. 3), was uns - in Zusammenhang mit der Auswertung der Ergebnisse weiterer Untersuchungsflächen - zu der oben geäußerten Vermutung führte. Es wird hierbei deutlich, daß kurzzeitige Datenerhebungen in Ökosystemen unter Umständen nur zu bedingt richtigen oder sogar falschen Schlußfolgerungen führen können.

	Grüne Nadeln					
	Adenau		Idar-Oberstein		Schneifel	
	%	N	%	N	%	N
1987	-	-	18.7	20	-	-
1988	-	-	26.0	19	-	-
1989	19.3	3	19.4	8	3.3	3
1990	60.8	8	53.5	8	61.3	8
1991	37.3	6	39.2	6	36.5	6
1992	46.0	1	24.4	9	24.7	3
1993	30.5	6	44.2	6	33.7	7

**Tab. 2:** Durchschnittlicher prozentualer Anteil (%) grüner Nadeln am Streufall an den drei Fichtenuntersuchungsflächen; N = Anzahl der bewerteten Probenahmeterminale im jeweiligen Jahr

Ab etwa Mitte bis Ende Mai liegen die Streufallmengen in der Regel deutlich unter 100 kg/ha und 14 Tage (Abb. 3 + 4). Diese Periode könnte man als "Sommerloch" bezeichnen. Erst im Spätherbst kann man wieder einzelne Streufallspitzen beobachten, die sich interessanterweise meist gleichzeitig auf allen Fichtenbeobachtungsflächen nachweisen lassen, was auf eine gemeinsame - vielleicht endogene - Ursache hindeuten könnte (z.B.

### Fichtendauerbeobachtungsfläche Forstamt Idar - Oberstein

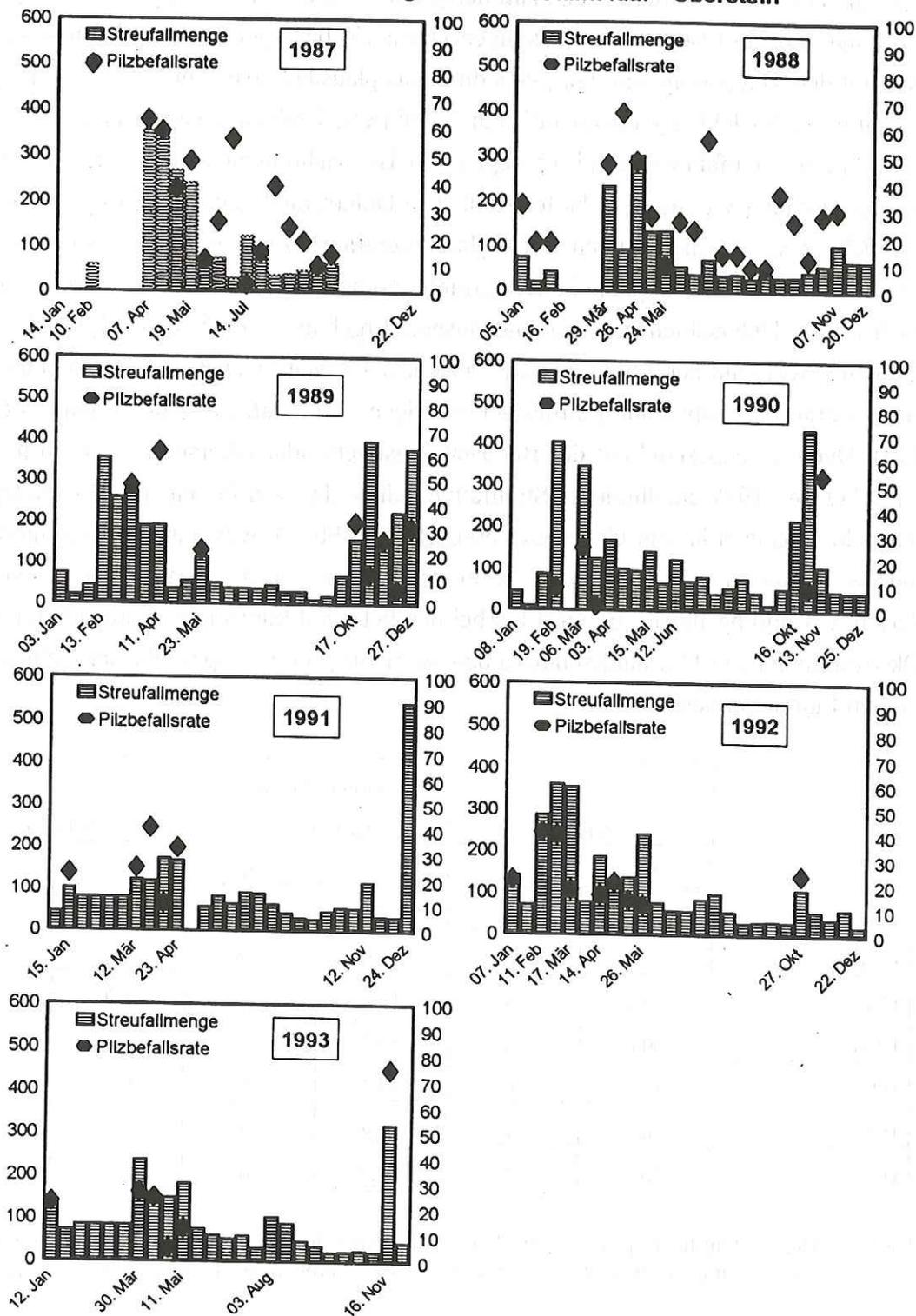
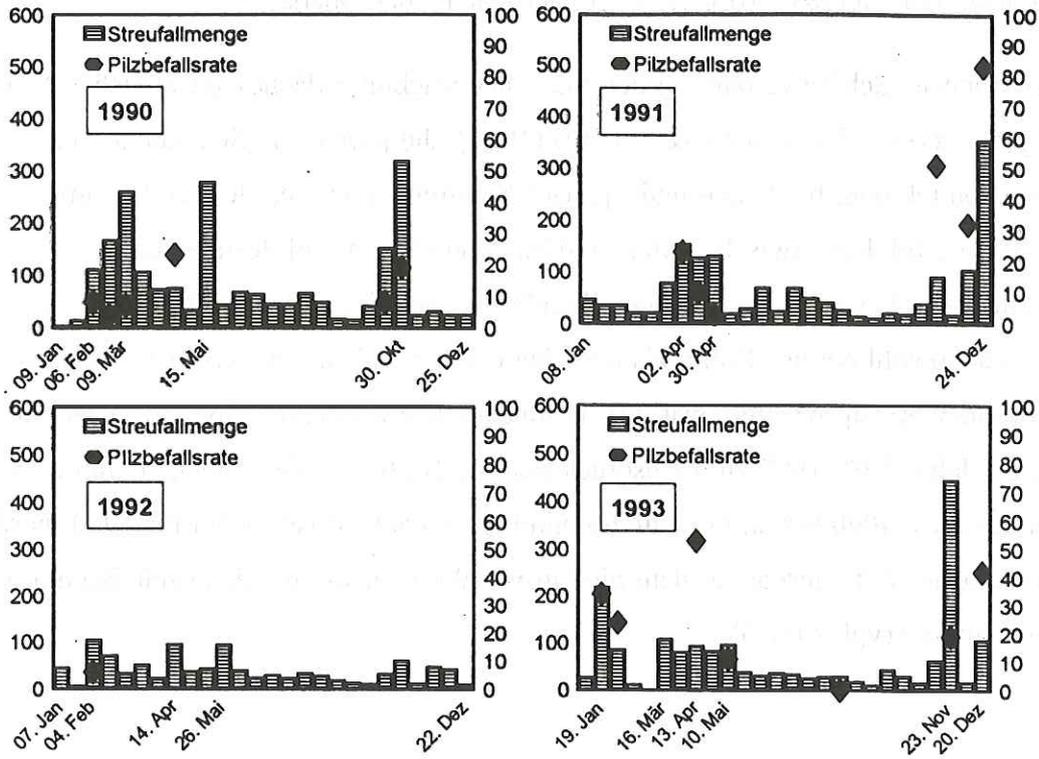


Abb.3 : Die Balkendiagramme zeigen den Streufallmengenverlauf in kg / ha [= linke Y-Achse] und die Punkte die Pilzbefallsrate in Prozent [= rechte Y-Achse] von 01 / 1987 bis 12 / 1993 auf der Fichtendauerbeobachtungsfläche, Forstamt Idar- Oberstein. Die Probenahme erfolgt 14 -tägig [=X-Achse]. Einige markante Termine sind explizit gekennzeichnet. Ab 1988 wurde der Streufall erst ab einer Menge von 150 kg / ha / 14 Tage Frischgewicht makroskopisch auf Pilzbefall untersucht (Abbildungen erstellt durch FVA Rhl.-Pfalz, Sch).

### Fichtendauerbeobachtungsfläche Forstamt Adenau



### Fichtendauerbeobachtungsfläche Forstamt Schneifel

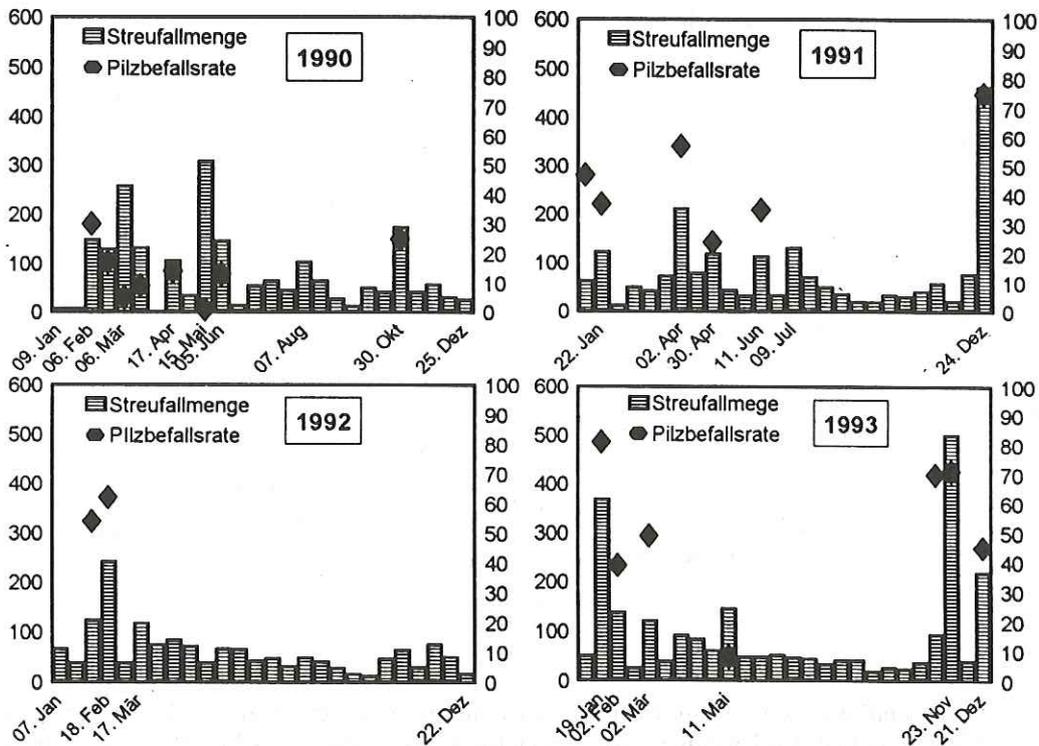
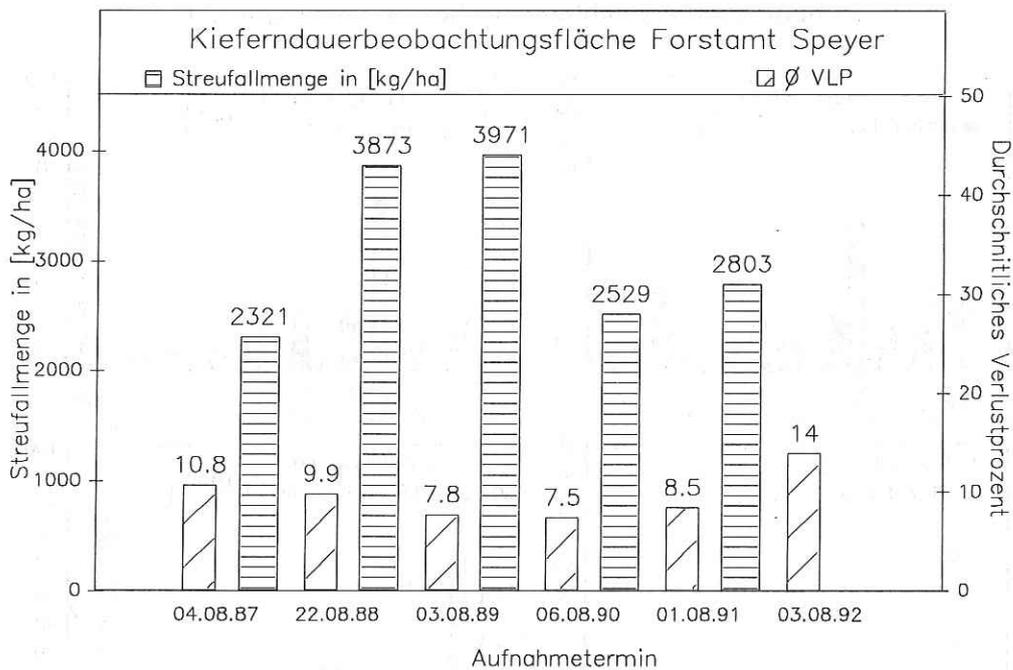


Abb. 4 : Die Balkendiagramme zeigen den Streufallmengenverlauf in kg / ha [= linke Y-Achse] und die Punkte die Pilzbefallsrate in Prozent [= rechte Y-Achse] von 01 / 1990 bis 12 / 1993 auf den Fichtendauerbeobachtungsflächen , Forstämter Adenau und Schneifel. Die Probenahme erfolgt 14 -tägig [=X-Achse]. Einige markante Termine sind explizit gekennzeichnet . Der Streufall wurde erst ab einer Menge von 150 kg / ha / 14 Tage Frischgewicht makroskopisch auf Pilzbefall untersucht (Abbildungen erstellt durch FVA Rhl.-Pfalz, Sch).

24.12.1991 bei den Flächen Idar-Oberstein und Adenau. 23.11.1993 bei den Flächen Adenau und Schneifel bzw. 16.11.1993 bei der Fläche Idar-Oberstein).

Der beschriebene Schütteleverlauf auf den Fichtenbeobachtungsflächen deckt sich z.T. mit den Ergebnissen von HEININGER & SCHMID (1986), die jeweils ein Schüttemaximum im Zeitraum von Oktober bis Januar und - je nach Standort - weitere, kleinere Maxima zwischen Mai und Juli bzw. zwischen März und Mai und Mai und Juli feststellten.

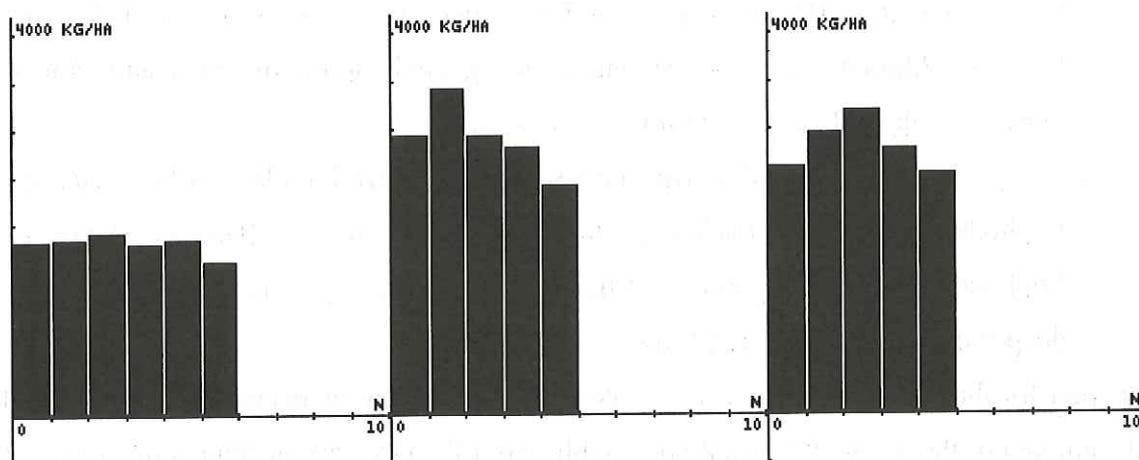
Die jährlichen, z.T. stark schwankenden Streufallmengen der einzelnen Beobachtungsflächen zeigen sowohl bei der Kiefer als auch bei der Fichte keine positiven Korrelationen mit den Nadelverlustprozenten, was z.B. besonders deutlich bei der Speyerer Kiefernfläche für die Jahre 1989/1990 zum Ausdruck kommt: So betrug der Nadelstreufall im genannten Jahr fast 4000 kg/ha. Das durchschnittliche Nadelverlustprozent für 1990 wurde dagegen mit nur 8 % geschätzt, dem niedrigsten Wert für diese Fläche seit Beginn der Untersuchungen! (vgl. Abb. 5)



**Abb.5:** Durchschnittliches Verlustprozent ( $\emptyset$  VLP) und Nadelstreufallmenge in kg/ha Trockengewicht zwischen den jeweiligen Aufnahmeterrminen der Jahre 1987 bis 1992 (aus SCHRÖCK 1994)

Um Aussagen über das zukünftige Schütteleverhalten zu finden, wurde eine "Glättung" der jährlichen Streufallmengen für drei Beobachtungsflächen (Johanniskreuz und Speyer

(Kiefer) und Idar-Oberstein (Fichte)) durchgeführt. Hierzu wurden gleitende Durchschnitte berechnet, eine statistische Methode, die für Zeitreihenanalysen üblich ist.



**Abb.6:** Gleitender 3-Jahresdurchschnittswert der Streufallmenge auf den drei Beobachtungsflächen der Forstämter Johanniskreuz, Speyer und Idar-Oberstein

Die errechneten 3-Jahresdurchschnitte (s. Abb. 6) ergaben dabei für die Fläche in Johanniskreuz eine nahezu konstante Streufallmenge, während die Fläche in Speyer z.Zt. eine Tendenz nach unten zeigt, d.h. zu geringeren Streufallmengen hin. Der gleiche Trend ist für die Fichtenfläche in Idar-Oberstein zu beobachten. Ob sich hinter diesem Trend ein zyklisches Schütteverhalten verbirgt, läßt sich nur durch Fortsetzung der Streufalluntersuchungen klären.

## Summary:

### Correlation between Needle Fungi and Needle Litter in Pine and Spruce stands

Since May and November 1986, respectively, the seasonal course of the needle falls of Pine (*Pinus sylvestris* L.) and Spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) was studied (Johanniskreuz, Idar-Oberstein, Rheinland-Pfalz, Deutschland). For that purpose the needle litter was collected and the dry weight determined in a two-week rhythm.

Since 1987 and 1989, respectively, two further pine stands (Waldmohr, Speyer, Rheinland-Pfalz) and from January 1990 two additional spruce stands (Schneifel, Adenau, Rheinland-Pfalz) were included in the investigations. Because of storm damages the pine stand Waldmohr had to be given up in spring 1990. With the increase of the investigated sites the needle litter was studied for the occurrence of fungi and damages by insects,

only if the fresh weight of the litter exceeded 100 kg/ha (pine) and 150 kg/ha (spruce) respectively. Important fungi that were detected:

1. Pine: *Sclerophoma pythiophila* (Corda) v. Höhnelt; *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link; *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler; *Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo et Minter(=*Naemacyclus minor* Butin); *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley et Milar (= *Lophodermium pinastri* auct.).
2. Spruce: *Rhizosphaera kalkhoffii* Bub.; *Sclerophoma pythiophila* (Corda) v. Höhnelt; *Lophodermium piceae* (Fuckel) v. Höhnelt; *Lirula macrospora* (Hartig) Darker (= *Lophodermium macrosporum* (Hartig) Rhem) several *Leptostroma* „species“; *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link.

Neither for the pine nor for the spruce a correlation between the occurrence of fungi and the amount of the needle litter could be established. Likewise varying annual quantities of the needle litter do not show a positive correlation with the defoliation. Concerning the pine the seasonal annual course of the needle fall shows, that since 1990 the typical early autumnal cast covers a much longer period, partly starting at the end of June. Further more the data point to a rhythmical cast considering several years.

*Keywords: litter fall, defoliation, fungi, Sclerophoma pythiophila, Rhizosphaera kalkhoffii, Lophodermium seditiosum, Lirula macrospora, Cyclaneusma minus, Cladosporium herbarum, Alternaria alternata, spruce, pine.*

*Schlagwörter: Streufall, Kronenverlichtung, Nadelpilze, Sclerophoma pythiophila, Rhizosphaera kalkhoffii, Lophodermium seditiosum, Lirula macrospora, Cyclaneusma minus, Cladosporium herbarum, Alternaria alternata, Fichte, Kiefer*

## **Literatur:**

BUTIN, H.: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Stuttgart 1983

BUTIN, H. und WAGNER Ch. (1985): Mykologische Untersuchungen zur "Nadelröte" der Fichte *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 104, 178-186.

GRUBER, F. (1987): Das Verzweigungssystem und der Nadelfall der Fichte als Grundlage zur Beurteilung von Waldschäden. Band 26, Reihe B, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen.

HEININGER und SCHMID M (1986): Nadelfall der Fichte. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 137, 157-162

KOWALSKI, T. (1982): Vorkommen von Pilzen in durch Luftverunreinigung geschädigten Wäldern im Oberschlesischen und Krakauer Industrie-Gebiet. *Europ. J. For. Path.* 12:262-272.

KOWALSKI, T. (1981): Fungi infecting needles of *Pinus sylvestris* in Poland in relation to air pollution zone. In: MILLAR, C.S. (ed.): *Current research on conifer needle diseases*, 93-98.

KOWALSKI, T. und LANG K. J. (1984): Die Pilzflora von Nadeln, Trieben und Ästen unterschiedlich alter Fichten mit besonderer Berücksichtigung vom Fichtensterben betroffener Altbäume. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 103, 349-360.

REHFUESS, K.E. (1986): Beobachtungen über die Schütterkeit der Kiefer in Oberpfälzer Meliorationsversuchen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 9/10, 215.

REHFUESS, K.E. und RODENKIRCHEN H. (1984): Über die Nadelröte-Erkrankung der Fichte in Süddeutschland. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 103:245-262.

SCHRÖCK, H.W. (1994): Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren -. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, Nr. 28/94, 229 S.

Anschrift des Verfassers: Dr. Wolf-Rüdiger ARENDHOLZ  
Universität Kaiserslautern, Fachbereich Biologie  
67663 Kaiserslautern

# **Stoffbilanzen ungekalkter und gekalkter Teilareale der Waldökosysteme an den Umweltkontrollstationen Merzalben und Idar-Oberstein**

von Joachim Block  
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

## **1. Ziele**

Ein übergeordnetes Ziel der Waldökosystem-Dauerbeobachtung ist die Erfassung langfristiger Auswirkungen der Deposition von Luftverunreinigungen auf den Stabilitätszustand der Waldökosysteme. Ein wesentliches Beurteilungskriterium für die Stabilität eines Waldökosystems ist die Nähe bzw. Ferne der Stoffflüsse in diesem System von einem Fließgleichgewicht (stationärer Zustand), da hieraus auf die Elastizität und die Resilienz des Ökosystems und damit auch auf dessen Persistenz geschlossen werden kann.

Als Meßgröße zur Beschreibung der Abweichung der Stoffkreisläufe vom stationären Zustand können vor allem Input/Output-Bilanzen der wesentlichsten Bioelemente herangezogen werden (ULRICH 1981). Diese erlauben zudem eine Quantifizierung der Säurebelastung und eine Abschätzung der wesentlichsten Säure-Base-Reaktionen in den Ökosystemen (ULRICH 1991).

Mit Hilfe einer experimentellen Variante soll darüber hinaus die langfristige Wirksamkeit der in der Praxis bereits weitverbreiteten Bodenschutzkalkung geprüft werden. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Frage, ob mit Hilfe einer Dolomitzkalkung eine gerichtete Entwicklung zu zunehmender Gleichgewichtsferne gebremst oder langfristig sogar ein höheres Stabilitätsniveau mit höherer Elastizität und höherer Resilienz erreicht werden kann.

## **2. Standorte und Methodik**

Die Untersuchungen erfolgen in einem 120-jährigen Fichtenreinbestand auf mit Decklehm überlagertem Quarzit in Hunsrückkammlage und einem 166- bis 193-jährigem Traubeneichenbestand mit Buchenunterstand auf Mittlerem Buntsandstein der Karlstalfelszone im Inneren Pfälzerwald (vgl. Tab. 1).

Forstamt	Idar-Oberstein	Merzalben
Wuchsgebiet	Hunsrück	Pfälzerwald
Wuchsbezirk	Hoch- und Idarwald	Mittlerer Pfälzerwald
Höhe über NN	660 m	550 m
Geolog. Substrat	Decklehm über Quarzit	Hauptbuntsandstein, Karlstal- schichten
Mittlerer Jahresniederschlag	1000 mm	950 mm
Bestockung	Fichte, 120-jährig (1994)	Traubeneiche, 166-193-jährig, mit Buchenunterstand
Humusform	Rohhumusartiger Moder	F-Mull
Bodenart	Us (im Ahe und Bhv)	Su (im Aeh und Bvh)
Bodentyp	Mäßig podsolige Braunerde	sehr schwach podsolige Braunerde
Pufferbereich	Eisen-Aluminium	Aluminium
Basensättigung (0-90 cm)	3 - 9 %	6 - 10 %

**Tab. 1:** Charakterisierung der Standorts- und Bestockungsverhältnisse der Umweltkontrollstationen Merzalben und Idar-Oberstein

Beide Standorte wurden so ausgewählt, daß sie hinsichtlich ihrer Standorts- und Bestockungsverhältnisse für möglichst große Areale in Rheinland-Pfalz charakteristisch sind. Eingehendere Beschreibungen des Standorts und der Bestände finden sich in BLOCK (1993).

Zur Herleitung der Stoffflüsse dient ein umfangreiches, im Anhalt an Vorgaben von MEIWES et al. (1984) installiertes Feldmeßsystem sowie ein von MANDERSCHIED (1992) entwickeltes mathematisches Simulationsmodell zur Beschreibung des Wasserhaushalts beider Standorte. Das Feldmeßsystem erfaßt kontinuierlich meteorologische Daten (Luftfeuchte, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Niederschlagsverteilung), die Freiland- und Bestandesdeposition (Niederschlagshöhe, SO<sub>4</sub>-S, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, Norg, PO<sub>4</sub>-P, Cl, H, Na, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb), die Streudeposition (Streufallmenge C, S, N, P, K, Ca, Mg, Na, Al, Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb), die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser an der Untergrenze der Humusauflage (nur Standort Idar-Oberstein) und in 3 Tiefenbereichen im Mineralboden (Komponenten wie bei Deposition, zusätzlich DOC) über keramische Saugkerzen sowie kontinuierlich die Saugspannung in 5 Tiefenstufen mit Hilfe von Druckaufnehmertensiometern.

Das verwendete Wasserhaushaltsmodell ist ein Kompartimentmodell mit 5 untereinander gekoppelten Teilmodellen (Kontinuitätsmodell, Evapotranspirationsmodell, Wurzelannahmemodell, Infiltrationsmodell, Versickerungsmodell). Es wird vor allem für die Schätzung der vertikalen Sickerwasserflüsse benötigt. Die Validierung erfolgt über umfangreiche Tensiometermessungen.

Die Kalkulation der Stoffbilanzen erfolgt nach den von ULRICH(1991) vorgeschlagenen Rechenwegen.

In der experimentellen Variante wurde jeweils ein Teilbereich der Untersuchungsfläche nach einjähriger Eichphase im Dezember 1988 (Standort Merzalben) bzw. Februar 1989 (Standort Idar-Oberstein) mit 6 t Dolomit Wellener Herkunft beaufschlagt (Siebware 0 - 2 mm mit 78,5 % < 1 mm und 25,9 % < 0,09 mm Korngröße; MgCO<sub>3</sub>-Anteile: 40,4 %). Erfasst werden die Auswirkungen der Dolomitkalkung auf die Stoffflüsse mit dem Humussickerwasser (nur Idar-Oberstein), dem Mineralbodensickerwasser aus 3 Tiefenbereichen, dem Kronendurchlaß und dem Streufall.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die gemessenen und mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells kalkulierten Eckdaten des Wasserhaushalts der Untersuchungsökosysteme zeigen für das Traubeneichenökosystem am Standort Merzalben trotz geringerer Niederschlagssummen höhere Sickerwasserausträge im Vergleich zum Fichtenökosystem am Standort Idar-Oberstein (Tab. 2). Bei in etwa gleichen Transpirationsraten ist dies im wesentlichen auf die deutlich geringere Interzeptionsrate des Laubholzbestandes gegenüber dem Fichtenreinbestand zurückzuführen.

Wasserflüsse (mm)	hydrologische Jahre					Ø 1988-92
	1988	1989	1990	1991	1992	
<u>Merzalben</u>						
Freilandniederschlag	1020	908	890	733	941	898
Kronentraufe	823	720	722	612	774	730
Stammabfluß Eiche	15	15	15	9		
Stammabfluß Buche	38	30	32	27	(47)	(46)
Interzeption	144	143	121	85	120	122
akt. Evapotranspiration	311	356	384	376	344	354
Sickerwasser in 115 cm	568	377	353	343	376	403
<u>Idar-Oberstein</u>						
Freilandniederschlag	1110	867	1054	745	1072	970
Kronentraufe	717	574	700	473	684	624
Interzeption	393	319	354	272	388	346
akt. Evapotranspiration	298	345	340	383	316	336
Sickerwasser in 80 cm	465	209	308	243	324	310

**Tab. 2:** Eckdaten des Wasserhaushalts der Untersuchungsökosysteme

Für beide Standorte ist die Natrium- und die Chloridbilanz über den fünfjährigen Meßzeitraum nahezu ausgeglichen (Tab. 3). Da für beide Komponenten keine wesentlichen

Senken und Quellen im Ökosystem vorhanden sind, kann dies als Hinweis für die "Stimmigkeit" der Bilanzierung gewertet werden.

Komponente	Merzalben			Idar-Oberstein		
	Gesamt-deposition	Austrag (115 cm)	Differenz	Gesamt-deposition	Austrag (80 cm)	Differenz
Na <sup>+</sup>	0,223	0,229	- 0,006	0,346	0,309	+ 0,037
K <sup>+</sup>	0,053	0,063	- 0,010	0,074	0,077	- 0,003
Mg <sup>++</sup>	0,183	0,155	+ 0,028	0,268	0,249	+ 0,019
Ca <sup>++</sup>	0,402	0,266	+ 0,136	0,656	0,334	+ 0,322
H <sup>+</sup>	0,833	0,265	+ 0,568	1,212	0,293	+ 0,919
Mn <sup>++</sup>	0,007	0,067	- 0,060	0,008	0,133	- 0,125
Al <sup>+++</sup>	0,033	1,356	- 1,323	0,051	3,044	- 2,993
Fe <sup>++</sup>	0,010	0,006	+ 0,004	0,011	0,004	+ 0,007
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,675	0,009	+ 0,666	0,724	0,021	+ 0,703
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	1,243	1,789	- 0,546	1,659	2,511	- 0,852
Cl <sup>-</sup>	0,421	0,407	+ 0,014	0,575	0,598	- 0,023
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,528	0,049	+ 0,479	0,831	1,021	- 0,190
Nges (NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> +Norg)	1,734	0,112	+ 1,622	1,944	1,182	+ 0,762

**Tab.3:** Stoffbilanzen (Gesamtdeposition abzüglich Austrag mit dem Sickerwasser in 115 bzw. 80 cm Tiefe der Standorte Merzalben und Idar-Oberstein) im Mittel der hydrologischen Jahre 1988 bis 1992; Angaben in  $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Besonders auffällig sind an beiden Standorten die hohen Austräge an Aluminiumionen und die deutlich negativen Sulfatbilanzen. Als Prozess ist hier die Auflösung von zu Zeiten höherer Sulfatdeposition gespeicherten Aluminiumsulfaten anzunehmen. Da die Aluminiumausträge auf Äquivalentbasis die Sulfatausträge deutlich übersteigen, dürfte bei der Freisetzung der Al<sup>+++</sup>-Ionen neben der Auflösung der Aluminiumsulfate auch eine Tonzerstörung im Oberboden beteiligt sein.

Ammonium wird an beiden Standorten nahezu vollständig zurückgehalten. Für den Standort Merzalben gilt dies auch für Nitrat. Am Standort Idar-Oberstein ist dagegen die Nitratbilanz negativ. Dieser Standort gibt demnach bereits einen Teil der atmosphärischen Stickstoffdeposition an die Hydrosphäre weiter.

Aus diesen Stoffbilanzen und einer Kalkulation der Kationenspeicherung im Zuwachs mit Hilfe einer Bioelementinventur im Jahr 1989 (vgl. BLOCK 1993) und geschätzten Biomassezuwachsrate errechnet sich eine aktuelle Säurebelastung des Bodens von 3,4

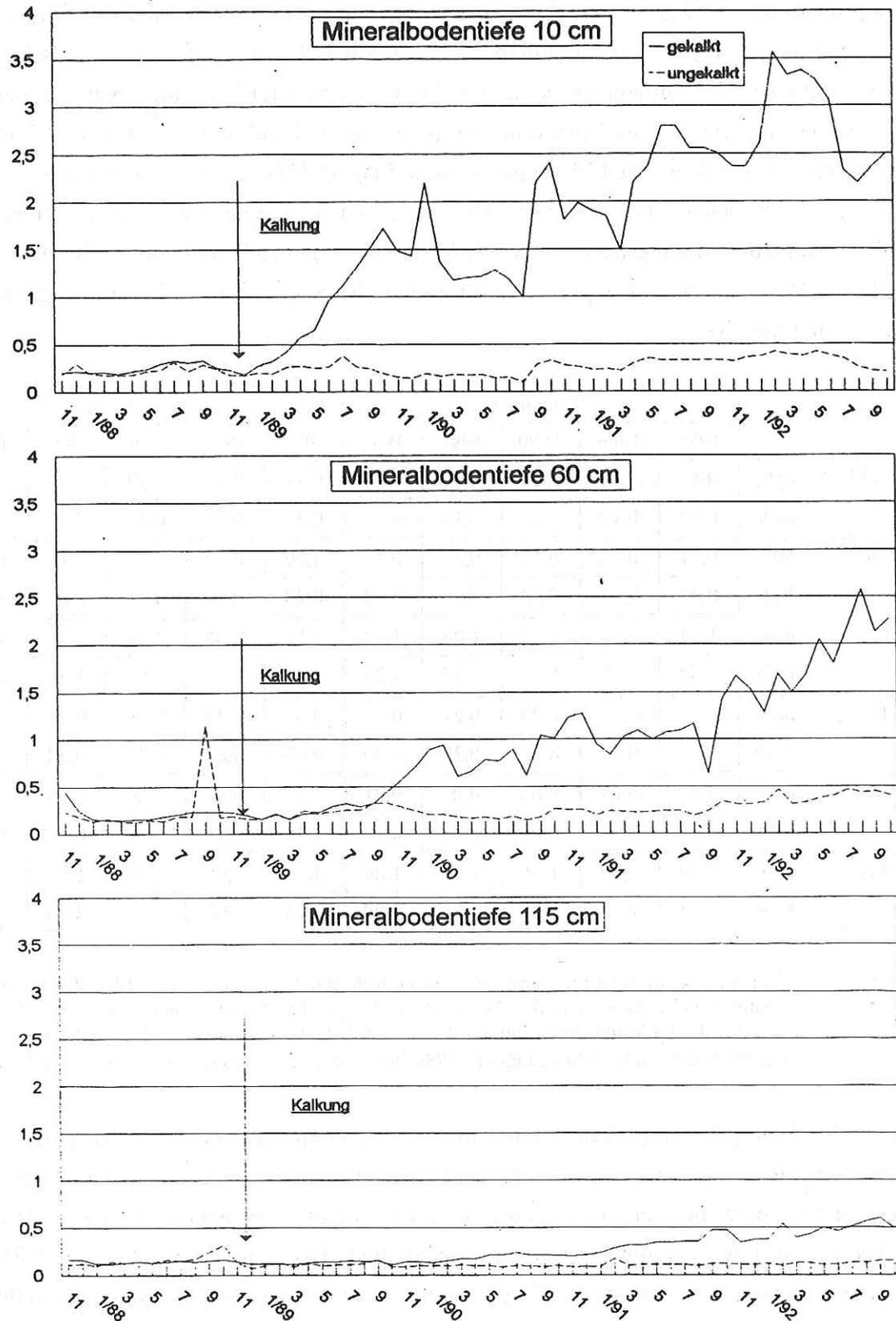
$\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  für den Standort Merzalben und  $3,7 \text{ kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  für den Standort Idar-Oberstein (Tab. 4).

	Idar-Oberstein		Merzalben	
1. Akkumulation eingetragener Säure im Ökosystem (positive Bilanzen H, $\text{NH}_4$ )	1,63	(45 %)	1,24	(51 %)
2. Ökosysteminterne Freisetzung von Protonsäuren (negative Bilanzen $\text{SO}_4$ , $\text{NO}_3$ )	1,09	(30 %)	0,55	(23 %)
3. Aufspeicherung von Mb-Kationen im Ökosystem (positive Bilanzen Ca, Mg, K, Na)	0,38	(10 %)	0,15	( 6 %)
4. Kationenüberschuß im Biomassezuwachs	0,56	(15 %)	0,49	(20 %)
	3,66	(= 100 %)	3,42	(= 100 %)

**Tab. 4:** Aktuelle Säurebelastung des Bodens (berechnet nach ULRICH 1991 aus Bilanzen der hydrologischen Jahre 1988 bis 1992 und einer Bioelementinventur im Jahr 1989); Angaben in  $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Der überwiegende Teil der Säurebelastung resultiert aus der Aufspeicherung eingetragener Säure im Ökosystem und aus der ökosysteminternen Freisetzung von Säure durch Auflösung von Sulfaten und am Standort Idar-Oberstein auch durch Überschußnitrifizierung. Bei beiden Ökosystemen kann aus den vorliegenden Bilanzen eine fortschreitende Bodenversauerung mit anhaltender Tonzerstörung sowie eine zunehmende Stickstoffanreicherung angenommen werden. Am Standort Idar-Oberstein scheint die Stickstoffsättigung bereits nahezu erreicht zu sein. Beide Systeme wirken hinsichtlich der Kationsäuren  $\text{Al}^{+++}$  und  $\text{Mn}^{++}$  als Quellen und belasten damit den angrenzenden Unterboden und das tiefere Sickerwasser. Sie sind somit von einem stationären Zustand weit entfernt.

Die Kalkung mit 6 t Dolomit / ha, also der doppelten sonst praxisüblichen Aufwandmenge, wirkte sich insbesondere in einer deutlichen Erhöhung der Magnesiumfrachten des Sickerwassers aus. Die Magnesiumgehalte des Sickerwassers stiegen an beiden Standorten im gesamten Wurzelraum bereits wenige Monate nach der Dolomitapplikation kontinuierlich an und übertreffen die entsprechenden Konzentrationen auf den unbehandelten Flächen auch 4 Jahre nach der Kalkung noch sehr deutlich. Entsprechend erweiterte sich das Mg/Al-Verhältnis deutlich (vgl. Abb. 1).



**Abb. 1:** Verlauf der  $Mg^{2+}/Al^{3+}$ -Verhältnisse ( $mol_c/mol_c$ ) im Mineralbodensickerwasser unbehandelter und mit 6 t Dolomit/ha gekalkter Teilareale am Standort Merzalben

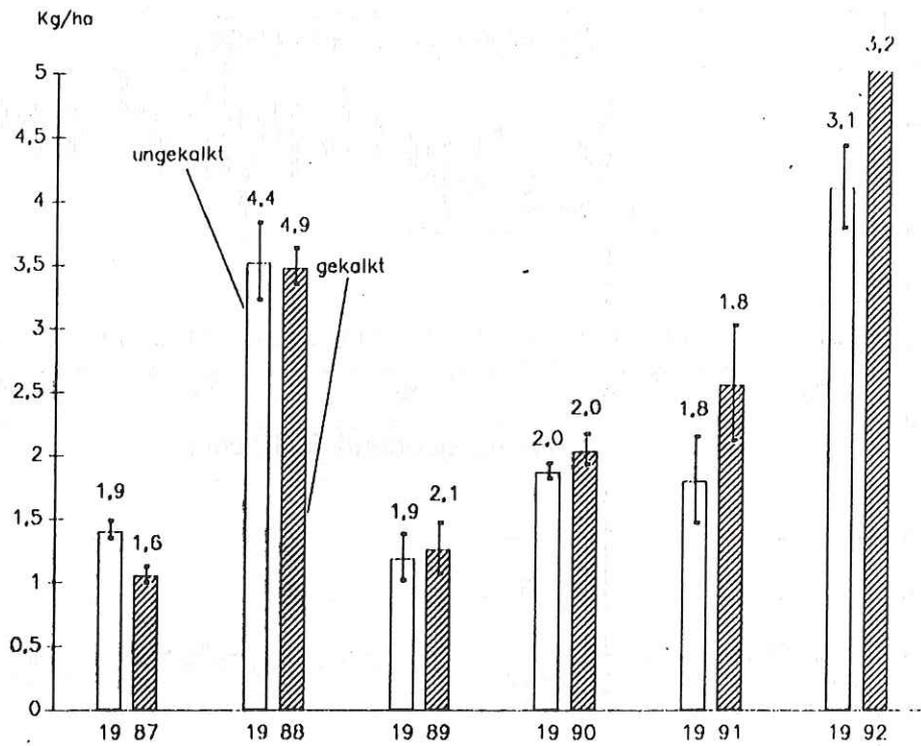
Parallel hierzu verringerte sich der Aziditätsgrad der Bodenlösung erheblich. Ein Teil des Magnesiums wird zusammen mit dem Sulfat ausgewaschen (Tab. 5). Dennoch scheint es im merklichen Umfang langfristig auch in den biogenen Kreislauf eingespeist zu werden. So steigt die Magnesiumdeposition mit dem Streufall auf der gekalkten Fläche des Standortes Merzalben seit 1990 deutlich an und lag 1992 bereits nahezu doppelt so hoch als auf der unbehandelten Parzelle (Abb. 2). Auch im Kronentraufwasser konnte eine Magnesiumanreicherung beobachtet werden. Dort zeigte sich ebenfalls nach etwa zweijähriger Verzögerung eine signifikante Erhöhung der Magnesiumfracht auf der gekalkten Variante (Abb. 3).

		Merzalben					Idar-Oberstein				
		1988	1989	1990	1991	1992	1988	1989	1990	1991	1992
Ca <sup>++</sup>	unb.	0,43	0,24	0,24	0,19	0,22	0,41	0,21	0,39	0,27	0,38
	Kalk	0,37	0,19	0,22	0,17	0,20	0,34	0,20	0,37	0,32	0,52
Mg <sup>++</sup>	unb.	0,21	0,13	0,13	0,13	0,16	0,29	0,15	0,28	0,19	0,34
	Kalk	0,22	0,14	0,20	0,31	0,53	0,23	0,14	0,81	0,89	1,51
Al <sup>+++</sup>	unb.	1,54	1,23	1,34	1,23	1,42	4,58	2,06	3,59	2,24	2,76
	Kalk	1,59	1,12	1,19	1,12	1,23	4,40	2,07	2,91	1,49	2,60
H <sup>+</sup>	unb.	0,36	0,24	0,29	0,21	0,23	0,39	0,33	0,28	0,22	0,25
	Kalk	0,32	0,22	0,23	0,20	0,20	0,41	0,20	0,32	0,22	0,25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	unb.	0,15	0,04	0,03	0,01	0,01	1,67	0,74	1,60	0,69	0,41
	Kalk	0,21	0,04	0,01	0,01	0,03	1,14	0,91	0,91	0,41	0,46
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	unb.	2,20	1,62	1,71	1,56	1,86	3,77	1,65	2,38	1,91	2,85
	Kalk	2,04	1,47	1,56	1,61	1,90	3,93	1,63	2,83	2,20	3,79

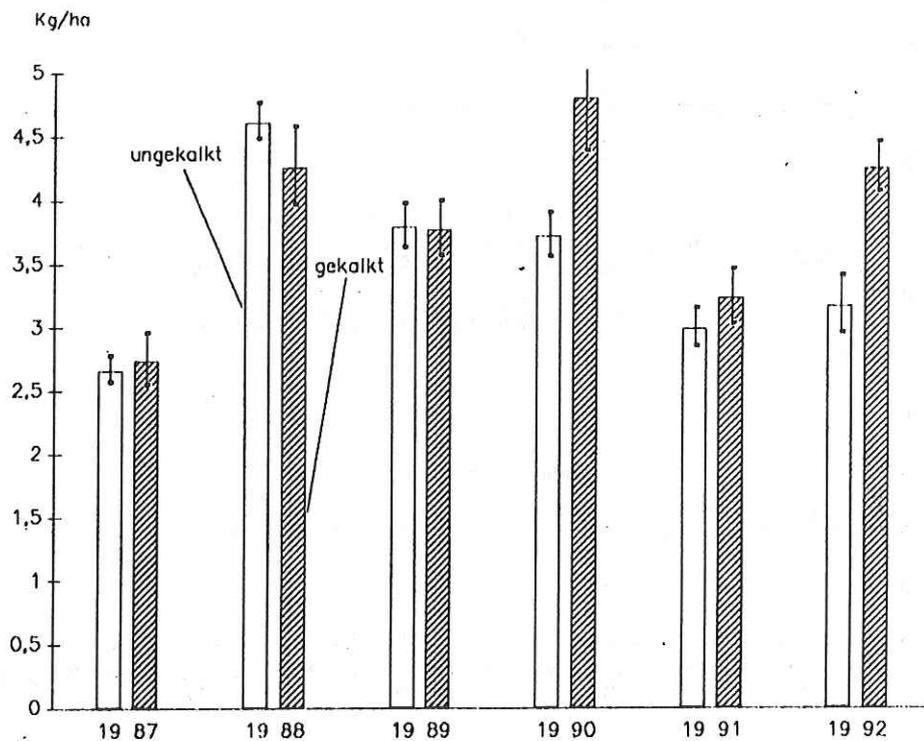
**Tab. 5:** Stoffaustrag mit dem Sickerwasser in 115 cm (Merzalben) bzw. 80 cm (Idar-Oberstein) Bodentiefe auf gekalkten und unbehandelten Teilarealen beider Untersuchungsstandorte im Verlauf der hydrologischen Jahre 1988 bis 1992; Kalkung mit 6 t Dolomit / ha im Dezember 1988 (Merzalben) bzw. Februar 1989 (Idar-Oberstein); Angaben in  $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Eine Erhöhung der pH-Werte konnte nur im Humussickerwasser des Standortes Idar-Oberstein festgestellt werden. Im Mineralbodensickerwasser beider Standorte waren dagegen bislang keine Veränderungen infolge der Kalkung zu beobachten (vgl. Abb. 4). Das gleiche gilt auch für die Kalziumgehalte- und -frachten. Beim Aluminium ist eine schwache Tendenz zu einer Verringerung der Frachten auf den gekalkten Parzellen zu erkennen (Tab.5). Eine spürbare Entlastung der angrenzenden Systeme (Unterboden, Hydrosphäre) dürfte hiervon aber noch nicht ausgehen.

Am Standort Idar-Oberstein zeigte sich auf der gekalkten Parzelle eine merkliche Erhöhung des Austrags von Sulfationen, die den Boden vermutlich gemeinsam mit einem Teil der Magnesiumionen aus der Dolomitauflösung verlassen.



**Abb. 2:** Magnesiumdeposition (Mittelwerte und Standardabweichung) mit dem Streufall (nur Eichenlaub) auf unbehandelten und gekalkten Teilarealen am Standort Merzalben; über den Säulen sind die jeweiligen Streufallraten (t Trockensubstanz/ha) angegeben.



**Abb. 3:** Magnesiumdeposition (Mittelwert und Standardabweichung) mit dem Kronendurchlaß auf unbehandelten und gekalkten Teilarealen am Standort Merzalben

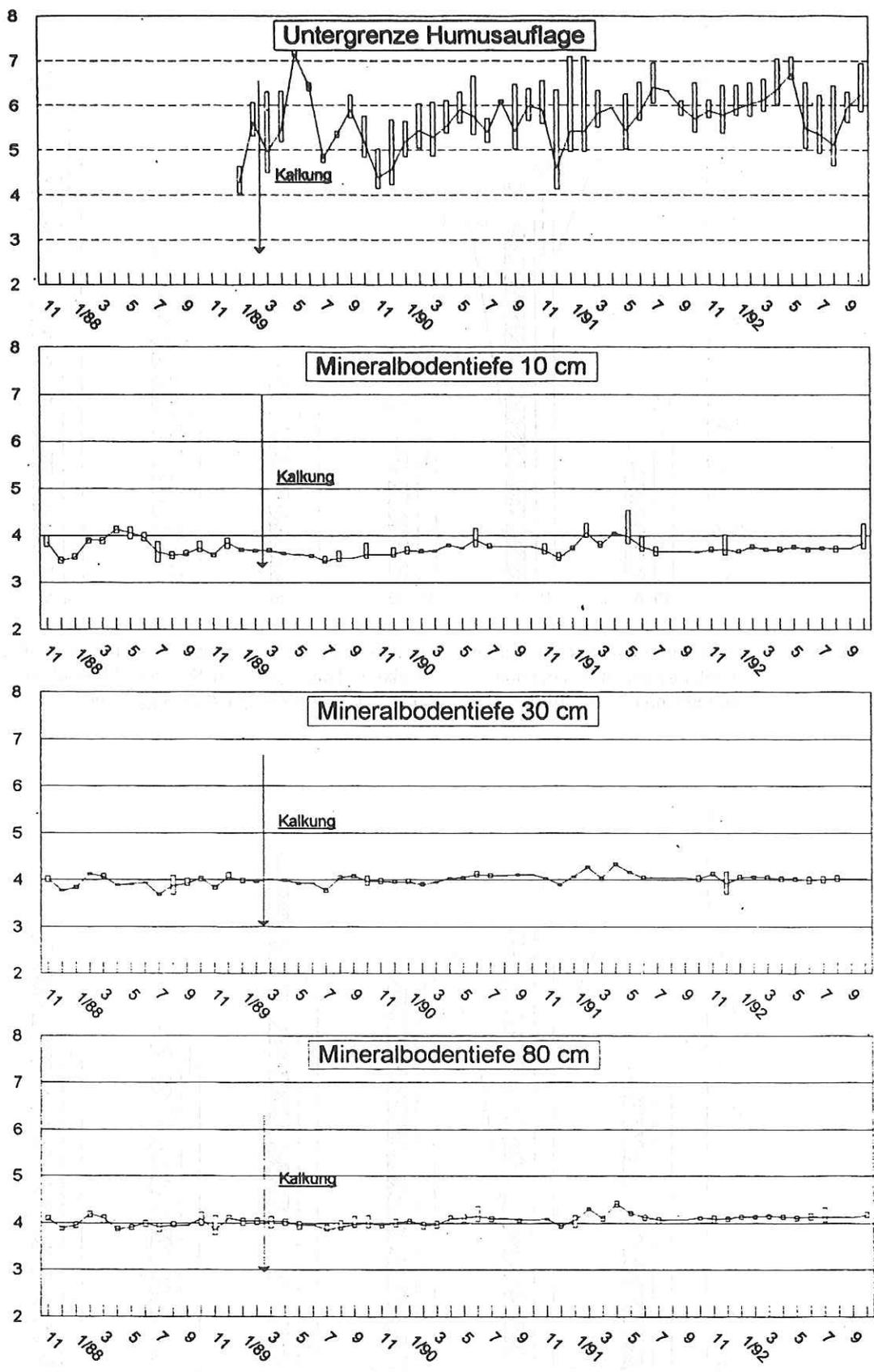


Abb. 4: Verlauf der pH-Werte im Humus- und Mineralbodensickerwasser auf der gekalkten Teilfläche des Standortes Idar-Oberstein; Mittelwerte  $\perp$  Spanne

Eine Erhöhung des Nitrataustrages infolge der Kalkung wurde bislang auf keinem der beiden Standorte festgestellt. Erhöhte Nitratkonzentrationen wurden nur im Humussickerwasser des Standortes Idar-Oberstein, nicht aber im darunterliegenden Mineralboden gemessen. In Merzalben tendiert der Nitrataustrag der gekalkten Parzelle gegen 0 (Tab. 5). Die erhöhten Werte auf beiden Behandlungsvarianten im ersten Meßjahr dürften auf einbaubedingte Störungen des Bodenbereichs um die Kerzen herum zurückzuführen sein. Am Standort Idar-Oberstein führte die Kalkung in den Meßjahren 1990 und 1991 sogar zu einer Verringerung des Nitrataustrages. Dies könnte sowohl mit einer stärkeren Stickstoffimmobilisierung durch den Aufbau einer leistungsfähigeren Mikroorganismenflora nach der Kalkung als auch mit einer höheren Stickstoffaufnahme durch die Waldbäume infolge der Verbesserung der Magnesiumversorgung zu erklären sein.

Im Hinblick auf die Hauptzielsetzung der Kalkung, die Stabilität der Waldökosysteme zu erhöhen, bleibt festzuhalten, daß es gelungen ist, in beiden durch eine schwache Magnesiumversorgung gekennzeichneten Beständen Magnesium in den biogenen Nährstoffkreislauf einzuspeisen, ohne unerwünschte Nebenwirkungen wie z.B. eine Überschußnitrifikation und damit verbundenen Nitrataustrag zu erzeugen. Die Verbesserung der Mg/Al-Verhältnisse und des Aziditätsgrades der Bodenlösung dürfte sich in einer Verringerung der Gefährdung der Baumwurzeln durch Säure- und/oder Aluminiumtoxizität auswirken. Die bessere Magnesiumversorgung kann ebenfalls als Stärkung der Elastizität der Waldökosysteme gewertet werden. Insofern wurde eine beschränkte Verbesserung der Stabilität der Waldökosysteme erreicht. Die Beschränkung in der Zielerreichung liegt darin, daß es bislang nur unzulänglich gelungen ist, die Freisetzung der Kationensäuren  $Al^{+++}$  und  $Mn^{++}$  zu reduzieren und damit ein Fortschreiten der Tonzerstörung und der Unterbodenversauerung zu verhindern. Vermutlich muß hierzu der pH-Wert der Bodenlösung merklich angehoben und der Boden vom Aluminiumpufferbereich in den Austausch- oder Silikatpufferbereich überführt werden. Ob sich die Böden unter dem Schutz der Oberflächenkalkung in diese Richtung entwickeln, werden die weiteren Untersuchungen aufzeigen.

## Summary

### **Bioelement budgets of limed and unlimed plots of the forest ecosystems at the environmental monitoring stations Merzalben and Idar-Oberstein**

Aiming at an evaluation of elasticity and resiliency of a 120 year old Norway spruce ecosystem in the Hunsrück mountain range and a 166-193 year old sessile oak ecosystem with beech understory in the Pfälzerwald bioelement balances have been computed. For the calculation of bioelement fluxes a field monitoring system (meteorological measurements, deposition measurements, soil seepage water measurements and tension measurements) and a mathematical simulation model have been used.

Over a five years period at both ecosystems highly negative budgets for aluminium and for sulphate have been found. As the aluminium output exceeds the sulphate output on an equivalent basis not only a dissolution of aluminiumsulphates but also a destruction of clay minerals due to acidification processes is assumed.

Whereas ammonium from atmospheric deposition is completely retained within the ecosystems, in the spruce ecosystem a part of the nitrate deposition is already transferred to the hydrosphere. The calculated acidity loads ( $3.4 \text{ kmol}_e \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$  in the oak ecosystem,  $3.7 \text{ kmol}_e \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$  in the spruce ecosystem) surmount critical loads by far. These findings indicate a low elasticity and resiliency for both ecosystems.

A liming experiment ( $6 \text{ t dolomite rock meal} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) showed a significantly increased concentration of magnesium in soil seepage water, in throughfall deposition and in litter fall, but no significant reduction of  $\text{Al}^{+++}$  and  $\text{Mn}^{++}$  in the soil solution. Nitrate concentration in deeper soil seepage water has not been affected till now.

*Keywords: bioelement budgets, spruce, oak, ecosystem, deposition, liming*

*Schlagwörter: Bioelementvorräte, Fichte, Eiche, Ökosystem, Deposition, Kalkung*

## 4. Literatur

ULRICH, B., (1981): Theoretische Betrachtung des Ionenkreislaufs in Waldökosystemen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 144; 647-659

ULRICH, B., (1991): Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen - Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 24*, 204-210

BLOCK, J., (1993): Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 24/93, 287 S.

MEIWES, K.-J.; HAUHS, M.; GERKE, H.; ASCHE, N.; MATZNER, E.; LAMERSDORF, N., (1984): Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen - Konzept und Methodik - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Bd. 7, 68-142

MANDERSCHIED, B., (1992): Modellentwicklung zum Wasser- und Stoffhaushalt am Beispiel von vier Monitoringflächen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 87, 233 S.

Anschrift des Verfassers: Dr. Joachim BLOCK  
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Schloß  
67705 Trippstadt

# **Auswirkung einer Düngemaßnahme auf morphologische und biochemische Parameter von Eichen an der Umweltkontrollstation Merzalben**

von V. Schmitt und A. Wild  
Institut für Allgemeine Botanik  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

## **1. Einleitung**

Ziel des Vorhabens war die Untersuchung der Auswirkungen einer Mg-betonten Düngung auf die Vitalität von Alteichen an einem Standort mit basenarmem Bodensubstrat.

Als Untersuchungsparameter wurden zum einen Veränderungen des Nährstoffstatus im Eichenlaub in Abhängigkeit von der Düngemaßnahme untersucht. Diese Erhebungen bilden ein objektives Kriterium für den Erfolg der Düngemaßnahme. Zum anderen wurde versucht, Veränderungen der Vitalität der Bäume infolge der Düngemaßnahme zu erfassen. Als mögliche Parameter der Vitalität von Bäumen können bestimmt werden:

- \* Belaubungsgrad und Kronenstruktur (okulare Schadenansprache)
- \* bestimmte stoffwechselfysiologische Leistungen (z.B. Photosyntheseleistung)
- \* biochemische und morphologische Merkmale des Eichenlaubs

Die Untersuchungsbäume konnten aufgrund ihres Alters und der Höhe nur mit Hilfe von Baumsteigern beprobt werden. Da die Probennahme somit zwangsläufig immer destruktiv geschehen mußte, waren physiologische Untersuchungen, die einen weitgehend ungestörten Metabolismus voraussetzen, nicht möglich. Die Beprobung mit Hilfe von Baumsteigern hat gegenüber einer Einrüstung der Bäume weiterhin den Nachteil, daß das Probenmaterial jeweils von unterschiedlichen und schlecht definierbaren Positionen am Baum entstammt. Da pro Baum und Erntezeitpunkt aus technischen Gründen jeweils ein starker Ast abgesägt werden mußte, war eine häufigere oder gar im Tagesgang durchgeführte Beprobung nicht möglich. Um die Untersuchungsbäume möglichst zu schonen und für zukünftige Beprobungen zu erhalten, reduzierte sich die Zahl der möglichen Erntetermine auf 2-3 pro Jahr.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen entschieden wir uns für die Untersuchung von biochemischen Parametern aus dem Eichenlaub. Da eine Beprobung im Tagesgang nicht

möglich war, wurden nur Parameter mit geringer Tagesdynamik gewählt. Als Untersuchungsparameter wurden Komponenten des Photosyntheseapparates, einige Primärstoffwechsellenzyme und Streßindikatoren bestimmt. Im folgenden wird nur auf jene Parameter eingegangen, die im gesamten Untersuchungszeitraum (1989-1992) untersucht worden sind.

Der **Chlorophyllgehalt** stellt einen unspezifischen Streßindikator dar. Insbesondere bei Mangel einzelner Mineralstoffe kommt es bei Laubbäumen oftmals zu charakteristischen Verfärbungen der Blattspreite, welche mit einem Rückgang des Chlorophyllgehaltes einhergehen. Um eventuelle Störungen des Photosyntheseapparates genauer lokalisieren zu können, wurden drei Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette untersucht: Das **P-700**, Reaktionszentrumschlorophyll des Photosystems I, **Cytochrom f**, Bestandteil des zwischen beiden Photosystemen vermittelnden Cytochrom f/b<sub>6</sub>-Komplexes, und schließlich das **D1-Protein**, ein zentrales Protein im Photosystem II. Als Enzyme des Primärstoffwechsels wurden die Aktivitäten der **Glutamin-Synthetase (GS)** und der **Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC)** bestimmt. Die Aufgabe der GS besteht in der Assimilation bzw. Re-assimilation von Ammonium, welches aus der Aufnahme von externen anorganischen Stickstoff-Verbindungen oder intern z.B. aus dem Abbau von Proteinen oder im Zuge der Photorespiration entstehen kann. Die PEPC hat im Eichenlaub im wesentlichen anaplerotische (d.h. auffüllende) Funktionen, da sie Metaboliten in den Citratzyklus einschleust. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn Metaboliten etwa zu Biosynthesezwecken verstärkt aus dem Citratzyklus abgezogen werden.

Abschließend wurde im Winter 1992/93 der **Kohlenhydratmetabolismus** in Zweigstücken untersucht. Hierbei gingen wir von der Überlegung aus, daß sich eine schütterere Belaubung einerseits in einer geringeren Menge an winterlichen Speicherkohlenhydraten, andererseits möglicherweise in einer verringerten Frosthärtung niederschlagen sollte. Weiterhin sollte der Einfluß der Kalkungsmaßnahme auf die Frosthärtungsprozesse untersucht werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Standort

Die Untersuchungen wurden an Eichen der Umweltkontrollstation (UKS) Merzalben (Forstamt Merzalben, Forstrevier Leimen) durchgeführt. Diese Untersuchungsfläche befindet sich im Wuchsgebiet Pfälzerwald, Wuchsbezirk Mittlerer Pfälzerwald, in einer Höhenlage von 559 m über NN. Das geologische Ausgangssubstrat bildet ein Mittlerer Buntsandstein. Als Bodentyp herrscht eine schwach podsolige Braunerde aus schluffigem Sand vorwiegend heller Färbung mit geringem Steingehalt vor. Die Humusform ist ein Mull bis mullartiger Moder.

Die Untersuchungsbäume befinden sich in unmittelbarer Nähe der Meßanlagen zur Bioelementbilanzierung der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Weiterhin liegt die Luftmeßstation "Hortenkopf" des Zentralen Immissionsmeßnetzes (ZIMEN) des Landesamts für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz in unmittelbarer Nähe.

Am Standort stockt ein 1828 aus Naturverjüngung begründeter, d.h. zum gegenwärtigen Zeitpunkt (1994) 166-193 Jahre alter Traubeneichenbestand (*Quercus petraea*) mit Buchen (*Fagus sylvatica*) im Zwischenstand und als Unterbau. Der Bestockungsgrad ist 1,0; die Ertragsklasse II.3.

### 2.2 Kalkungsmaßnahme

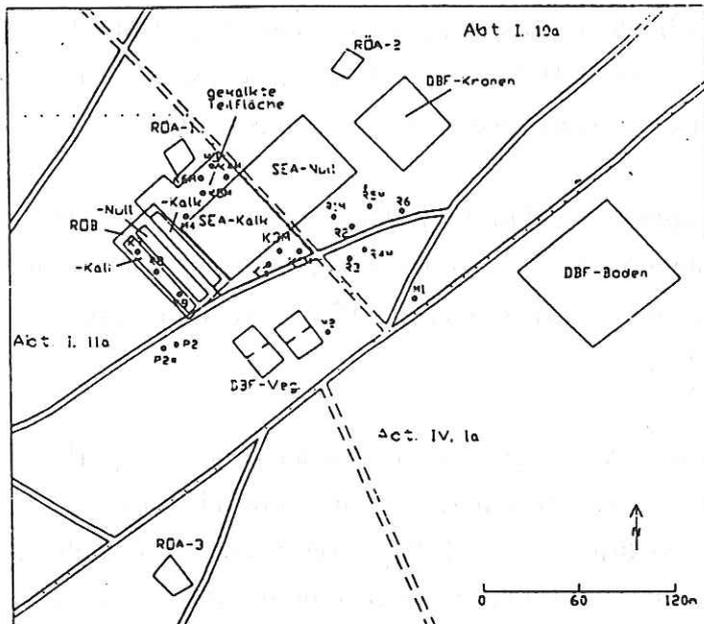
Ein Teil der Versuchsfläche wurde am 24.01.1989 von Hand mit  $6 \text{ t ha}^{-1}$  dolomitischem Kalk der Herkunft Wellen mit der Körnung 0-2 mm gekalkt. Nach einer Analyse vom 01.07.1982 setzt sich grob vermahlener Rohdolomitsand dieser Herkunft wie folgt zusammen: 51,80%  $\text{CaCO}_3$ , 42,50%  $\text{MgCO}_3$ , 3,40%  $\text{SiO}_2$ , 1,15%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,75%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ein Detailplan der Untersuchungsfläche mit der Lage einiger Untersuchungsbäume findet sich unter Abb. 1.

### 2.3 Untersuchungsbäume

Auf der Untersuchungsfläche wurden 1989 12 Eichen ausgewählt. Es handelte sich dabei um die Bäume R1-R6 auf der ungekalkten Kontrollfläche und die Bäume K1-K6 auf der im Jahr 1989 gekalkten Teilfläche. Nach der Blattmorphologie scheint es sich bei Baum

R4 jedoch nicht um eine **Traubeneiche** (*Quercus petraea*), sondern um eine **Stieleiche** (*Quercus robur*) zu handeln. Infolge der Sturmschäden im Frühjahr 1990 mußten die beschädigten Bäume R2, R3, R6 und K2 ersetzt werden durch die Bäume P2, P2\*, M2 (alle auf der ungekalkten Teilfläche) und M3 (auf der gekalkten Teilfläche). Bei den Bäumen P2 und P2\* handelte es sich um zwei unmittelbar benachbarte Bäume unterschiedlichen Schädigungsgrades, die einen Paarvergleich erlauben sollten. Dieses Paar wurde jedoch im Jahr 1991 aufgegeben und durch die stärker geschädigten Bäume II und IV (beide ungekalkt) ersetzt, welche sich in einer etwas größeren Distanz zur Untersuchungsfläche befanden. Im Jahr 1992 mußten wiederum neue Bäume ausgewählt werden. Diese Maßnahme beruhte auf dem zwischenzeitlich erfolgten Absterben der Bäume M2 und IV; mit letzterem wurde die Beprobung des Baumes II aufgegeben. Diese Bäume wurden ersetzt durch die Bäume MA, MB und K2. Auswahl und Schadansprache der Bäume erfolgte jeweils in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der FVA Trippstadt.

Aufgrund des erzwungenen Wechsels der Untersuchungsbäume werden für die Beurteilung der Düngewirkung auf biochemische und morphologische Parameter nur die **durchgängig von 1989 bis 1992 beprobten Bäume** herangezogen. Es handelt sich dabei in der ungedüngten Variante um die Bäume R1, R4 und R5, in der gedüngten Variante um die Bäume K1, K3, K4, K5, und K6.



**Abb. 1:** Lage der Untersuchungsbäume auf den gedüngten (grau unterlegt) und ungedüngten Teilflächen an der UKS Merzalben

## 2.4. Probenahme

Im Berichtszeitraum wurden 9 Blatt-Probennahmen an folgenden Terminen durchgeführt:

1989: 19. August

1990: 17. Juli, 27. August

1991: 17. Juni, 22. Juli, 9. September

1992: 17. Juni, 22. Juli, 9. September

An den einzelnen Ernteterminen wurden durch Baumsteiger je ein Ast pro Untersuchungsbaum entnommen. Nach der Entfernung von Blattstielen und Mittelrippen wurden die Blätter der einzelnen Untersuchungsbäume in flüssigen Stickstoff eingetaucht und mit Hilfe eines Stößels zerbröselt. Die Blattfragmente wurden in gefrorenem Zustand in Polyvials abgefüllt, tiefgefroren ins Labor überführt und dort bis zur Analyse bei  $-80^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt.

Während des Winterhalbjahres 1992/93 wurden Untersuchungen zur winterlichen Kohlenhydratdynamik in einjährigen Trieben durchgeführt. Da bislang kaum Untersuchungen zur Eiche vorliegen, wurde exemplarisch eine ca. 15-jährige Traubeneiche (Baum A) aus einem Jungbestand in der Nähe der UKS Merzalben im zweiwöchigen Turnus beerntet. Die Probennahme wurde an folgenden Terminen durchgeführt: 20.11.1992 (unmittelbar nach dem abgeschlossenen Blattfall), 3.11.1992, 16.11.1992, 3.12.1992, 22.12.1992, 11.01.1993, 26.1.1993, 8.2.1993, 24.2.1993, 16.3.1993, 30.3.1993, 15.4.1993 (Beginn des Neuaustriebs) und 27.5.1993.

Weiterhin sollte der mögliche Einfluß der Kalkungsmaßnahme bzw. des Schädigungsgrades auf den Kohlenhydratstoffwechsel der im Jahr 1992 beprobten Alteichen untersucht werden. Die Beerntung der Alteichen erfolgte an drei Terminen: 10.9.1992, 11.12.1992 und 16.3.1993.

Die Beerntung des Baums A erfolgte vom Boden aus mit einer verlängerbaren Astschere, Äste der Alteichen wurden mit Hilfe von Baumsteigern gewonnen. Noch am Standort wurden die diesjährigen (bzw. 1993: vorjährigen) Jahrestriebe abgeschnitten und in flüssigem Stickstoff eingefroren. Die Lagerung der Proben bis zur Aufarbeitung erfolgte in einer Tiefkühltruhe bei  $-80^{\circ}\text{C}$ .

## 2.5 Methoden

Für die **Mineralstoffanalyse** wurden die Blattproben gewaschen, getrocknet und zermahlen. Das Blattpulver wurde mit 65%iger Salpetersäure aufgeschlossen. Die Bestimmung der Mineralstoffe Ca, Mg, Mn, K, Fe und Zn wurde mit Hilfe der AAS, die Bestimmung des N-Gehaltes mit einem CHN-Analyser durchgeführt.

Der **Gesamt-Chlorophyllgehalt** (Chlorophyll a+b) wurde nach Extraktion mit Dimethylsulfoxid (DMSO; 15 h 65°C) spektrophotometrisch bestimmt (HARBORNE, 1973). Die Komponenten der Thylakoidmembran **P-700** und **Cytochrom f** wurden spektrophotometrisch mit Hilfe von Differenzspektren quantifiziert (WILD *et al.*, 1988). Die Bestimmung des Gehaltes an **D1-Protein** wurde mittels der <sup>14</sup>C-Atrazin-Titration, modifiziert nach TISCHER & STROTMANN (1977) durchgeführt.

Die Bestimmung der **GS-Aktivität** erfolgte spektrophotometrisch verändert nach WALLSGROVE *et al.* (1979), die der **PEPC-Aktivität** spektrophotometrisch mittels eines gekoppelten optischen Tests nach TIETZ & WILD (1991).

Zur **Kohlenhydratanalyse** wurden die gefrorenen Aststückchen mit Hilfe eines Mikrodismembrators zerkleinert. Folgende Kohlenhydrate wurden aus dem Astpulver extrahiert und quantifiziert: Glucose, Fructose, Saccharose, Raffinose (incl. Stachyose) und Galactose. Die Bestimmung erfolgte mit zusammengesetzten enzymatischen Tests nach BERGMAYER (1974). Die Stärke wurde durch Zugabe von Amyloglucosidase in ihre Glucosebausteine umgesetzt und dann mit einem enzymatischen Test quantifiziert. Die Stärkedynamik einzelner Gewebe wurde weiterhin an Mikrotomschnitten nach Stärkenachweis mit Lugol'scher Lösung verfolgt.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Auswirkungen der Düngemaßnahme auf den Mineralstoffgehalt von Eichenlaub

Die Düngemaßnahme wirkt sich deutlich auf den **Calcium**-Gehalt der Blätter aus. Bereits im ersten Jahr nach der Kalkung sind deutlich erhöhte Ca-Blattspiegelwerte in den gedüngten Bäumen zu verzeichnen (Abb. 2a). Zu jedem Probennahmetermin im Untersuchungszeitraum liegen die Ca-Blattspiegelwerte der gedüngten Bäume im Mittel höher als die der ungedüngten Bäume. In den Jahren 1991 und 1992 weisen die Ca-

Blattspiegelwerte einen typischen V-förmigen Verlauf auf. Betrachtet man das Niveau der August/September-Probennahmeterminen, so rangieren die Ca-Gehalte der ungedüngten Bäume im Mittel zwischen 4 - 5 mg gTG<sup>-1</sup>, die der gedüngten Bäume zwischen 5 - 6 mg gTG<sup>-1</sup>. VAN DEN BURG (1985) gibt als Normalbereich der Ca-Blattspiegelwerte bei der Traubeneiche 6,5 - 8,4 mg gTG<sup>-1</sup> an; demnach würden die Untersuchungsbäume auch am Ende des Untersuchungszeitraums knapp unterhalb dieses Bereichs liegen.

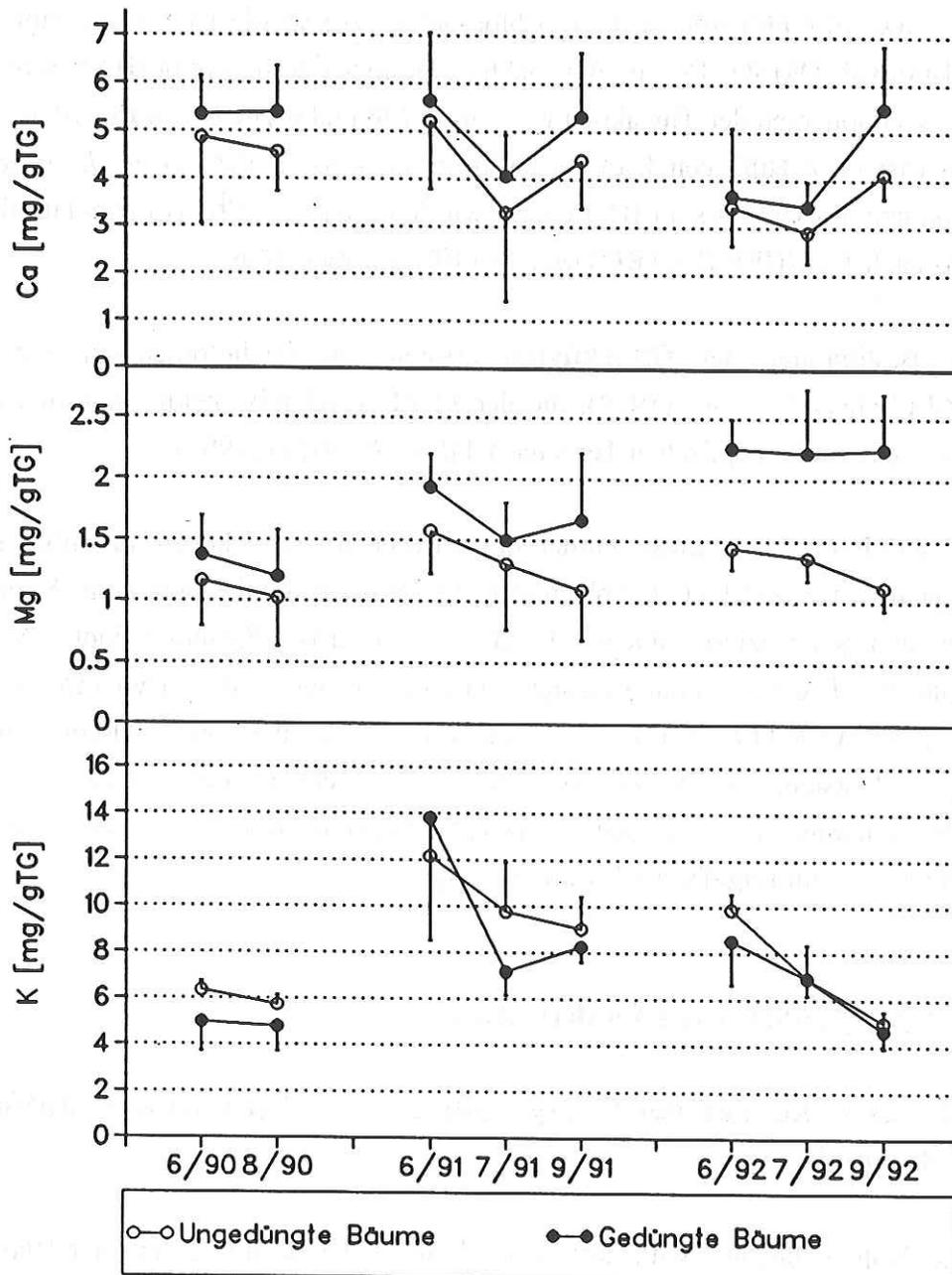


Abb. 2a-c: Veränderung der (a) Calcium-, (b) Magnesium- und (c) Kalium-Blattspiegelwerte im Untersuchungszeitraum

Noch stärkere Effekte der Düngemaßnahme sind bei den **Magnesium**-Blattspiegelwerten zu beobachten (Abb. 2b). Auch hier liegen die Blattspiegelwerte der gedüngten Bäume zu jedem Probennahmetermin im Untersuchungszeitraum im Mittel höher als die der ungedüngten Bäume. Während die ungedüngten Bäume an allen August/September-Ernteterminen Mg-Gehalte von im Mittel 1 - 1,2 mg gTG<sup>-1</sup> enthalten, steigen die Mg-Gehalte der gedüngten Bäume zu diesem Zeitpunkt von 1,36 mg gTG<sup>-1</sup> im Jahr 1990 über 1,67 mg gTG<sup>-1</sup> im Jahr 1991 auf 2,25 mg gTG<sup>-1</sup> im Jahr 1992 (jew. Ernteterminmittelwerte) an. VAN DEN BURG (1985) definiert den Normalbereich für Mg-Blattspiegelwerte in der Traubeneiche mit 1,5 - 2,1 mg gTG<sup>-1</sup>, den Mangelbereich setzt er bei Werten < 1,2 mg gTG<sup>-1</sup> an. Während die ungedüngten Bäume sich somit noch an der Grenze zum Mg-Mangel bewegen, befinden sich die gedüngten Bäume 1992 bereits im Bereich des Luxuskonsums.

Bei den **Kalium**-Blattspiegelwerten weisen dagegen die gedüngten Bäume tendenziell etwas niedrigere Werte auf als die ungedüngten (Abb. 2c). Die tendenzielle Erniedrigung der K-Gehalte der gedüngten Bäume beruht vermutlich auf einem Ca/K-Aufnahmeantagonismus. Der Normalbereich für die K-Blattspiegelwerte liegt nach VAN DEN BURG (1985) zwischen 7 - 11 mg gTG<sup>-1</sup>.

Vergleicht man die prozentualen Veränderungen der Gehalte aller untersuchter Nährelemente im Jahresmittel (Abb. 3), so sind die stärksten Düngeeffekte bei Magnesium zu beobachten. Im Verlauf der drei Untersuchungsjahre - und besonders stark im Jahr 1992 - vergrößerte sich der Abstand zwischen den gedüngten und ungedüngten Bäumen kontinuierlich. Auch beim Calcium wiesen die gedüngten Bäume über die drei Untersuchungsjahre hin kontinuierlich ansteigende relative Calciumgehalte auf. Diese Befunde zeigen, daß die volle Düngewirkung erst nach einer zeitlichen Verzögerung von mehreren Jahren auftritt. Ob mit dem Jahr 1992 bei den gedüngten Bäumen schon eine Sättigung mit Ca und Mg erreicht war, ist nicht bekannt.

Die übrigen Nährelemente zeigen weitaus geringere prozentuale und statistisch zumeist nicht absicherbare Unterschiede zwischen den ungedüngten und gedüngten Bäumen. Während Stickstoff- und Eisengehalte der gedüngten Bäume tendenziell erhöht sind, sind die Kaliumgehalte tendenziell erniedrigt. Die Mangan- und Zinkgehalte verhalten sich auffällig gegenläufig. Während die Mangangehalte der gedüngten Bäume 1990 und 1991 erhöht und die Zinkgehalte gegenüber den ungedüngten Bäumen erniedrigt sind, so kommt es bei beiden Elementen 1992 zu einem Umschwung. Nun sind die Mangangehalte der gedüngten Bäume erniedrigt und die Zinkgehalte erhöht.

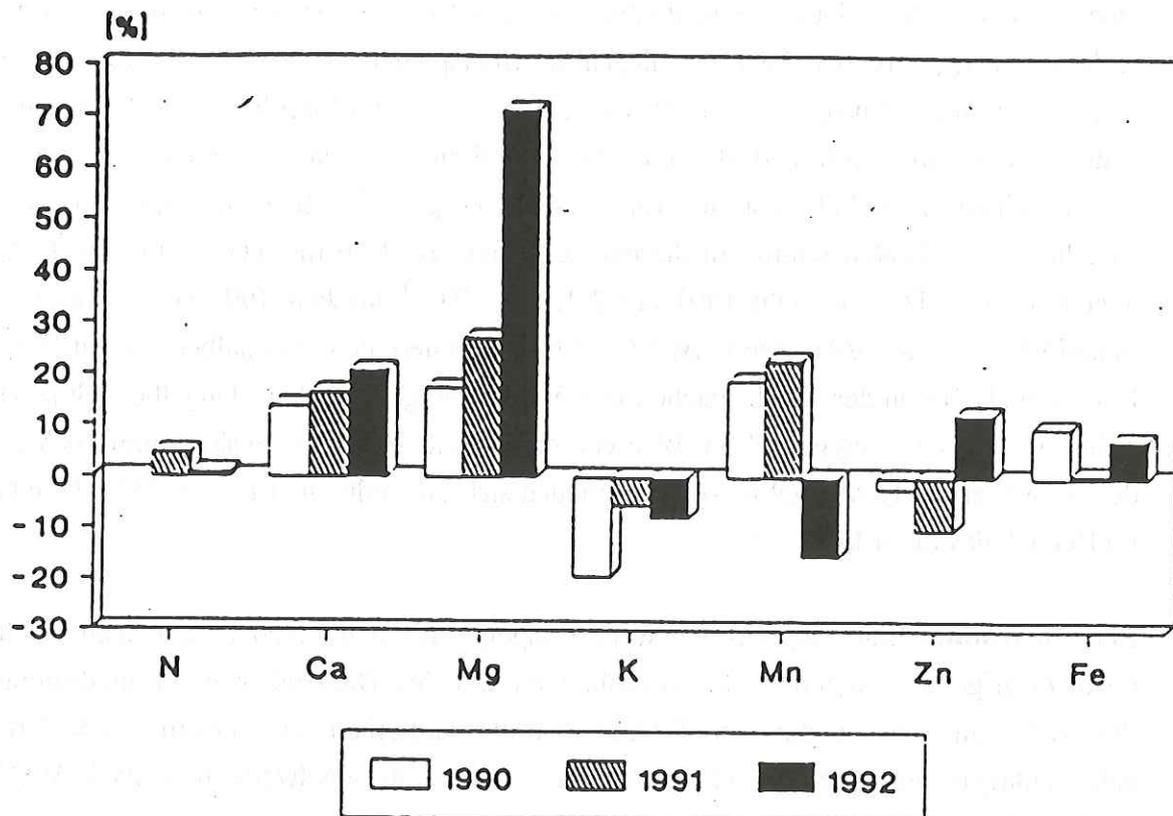


Abb. 3: Prozentuale Veränderung der Nährstoffgehalte im Eichenlaub der gedüngten Bäume relativ zu den ungedüngten Bäumen (ungedüngte Bäume = 100% = Null-Linie)

### 3.2 Mineralstoffgehalte stark geschädigter Eichen

Im Jahr 1991 enthielt das ungedüngte Baumkollektiv die stark geschädigten Bäume M2 und IV (Blattverlust · 60%), welche im Untersuchungszeitraum abstarben. Der Baum IV war durch niedrige Calcium-, Eisen- und z.T. auch Zinkgehalte charakterisiert. Als besonders ungünstig muß jedoch insbesondere die Magnesiumversorgung dieses Baumes betrachtet werden, welche bei den Sommerernteterminen unter  $0,5 \text{ mg g}^{-1} \text{ TG}$  und somit sicherlich im akuten Mangelbereich lag (Abb. 4). Der Baum M2 wies dagegen mit Mg-Blattspiegelwerten von ca.  $1,9 \text{ mg g}^{-1} \text{ TG}$  (Sommer 1991) eine gute Mg-Versorgung auf; auch die übrigen Nährelemente ließen keine spezifische Mangelernährung erkennen. Ein Nährelementmangel kann somit lediglich bei Baum IV einen möglichen Beitrag zu seinem Erkrankungszustand geleistet haben.

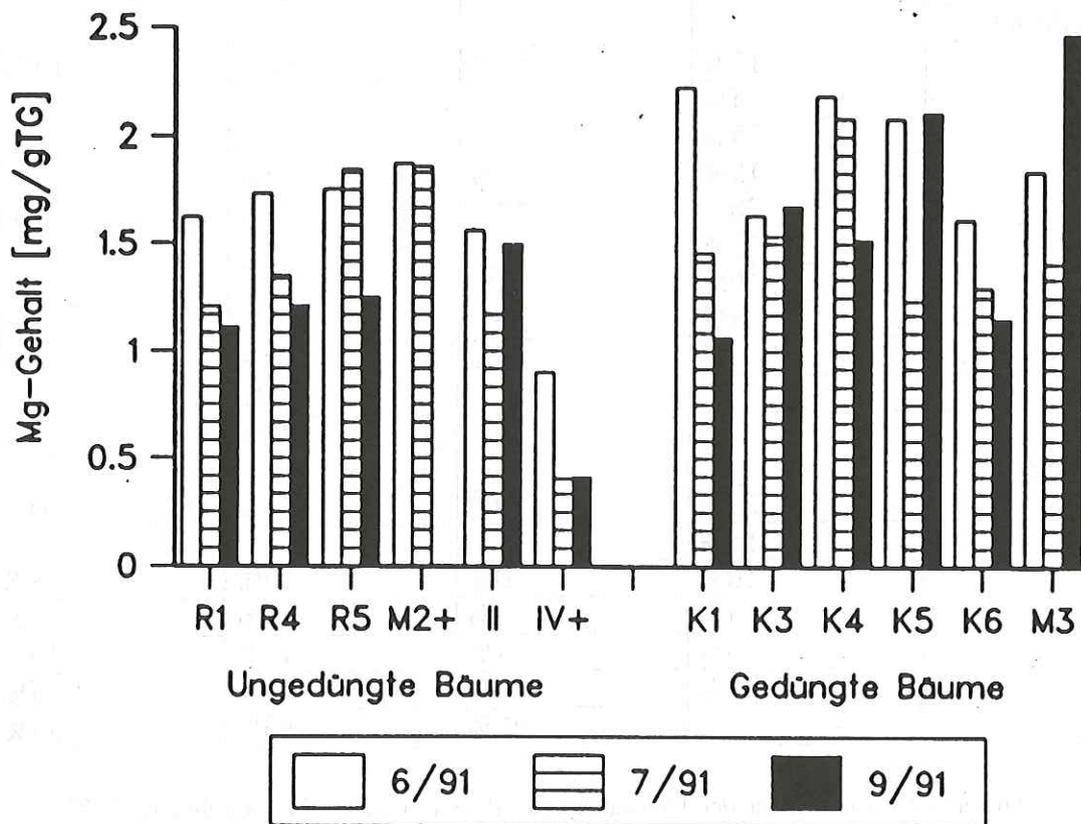


Abb. 4: Magnesium-Blattspiegelwerte der Untersuchungsbäume an den drei Ernteterminen des Jahres 1991

### 3.3 Reaktion des relativen Blattverlustes auf die Kalkungsmaßnahme

Anhand der **Blattverlustansprache** lassen sich im Verlauf der Jahre 1989 bis 1992 bei den durchgängig beprobten Bäumen keine Tendenzen zu einer Vitalitätssteigerung infolge der Düngemaßnahme beobachten. Im Gegenteil weisen die gedüngten Bäume seit 1991 im Mittel etwas höhere Blattverluste als die ungedüngten Bäume auf (Abb. 5). Die Entwicklung der Blattverluste der jeweiligen Untersuchungsbäume ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Auf die stark geschädigten Bäume M2 und IV wurde bereits weiter oben verwiesen.

Baum	Juni 1989	Juni 1990	Juni 1991	Juni 1992
<b>Ungedüngt</b>				
R1	15%	15%	10%	15%
R2	25%			
R3	35%			
R4	15%	25%	30%	15%
R5	20%	10%	25%	15%
R6	20%			
P2	10%	5%		
P2*	25%	20%		
M2		50%	60%	
II			35%	
IV			85%	
<b>Gedüngt</b>				
K1	25%	20%	20%	20%
K2	15%			
K3	10%	0%	10%	15%
K4	5%	5%	10%	25%
K5	0%	5%	15%	10%
K6	25%	30%	25%	35%
M3		40%	40%	25%

Tab. 1: Prozentualer Blattverlust der Untersuchungsbäume von 1989-1992. Quelle: FVA Rheinland-Pfalz, Trippstadt

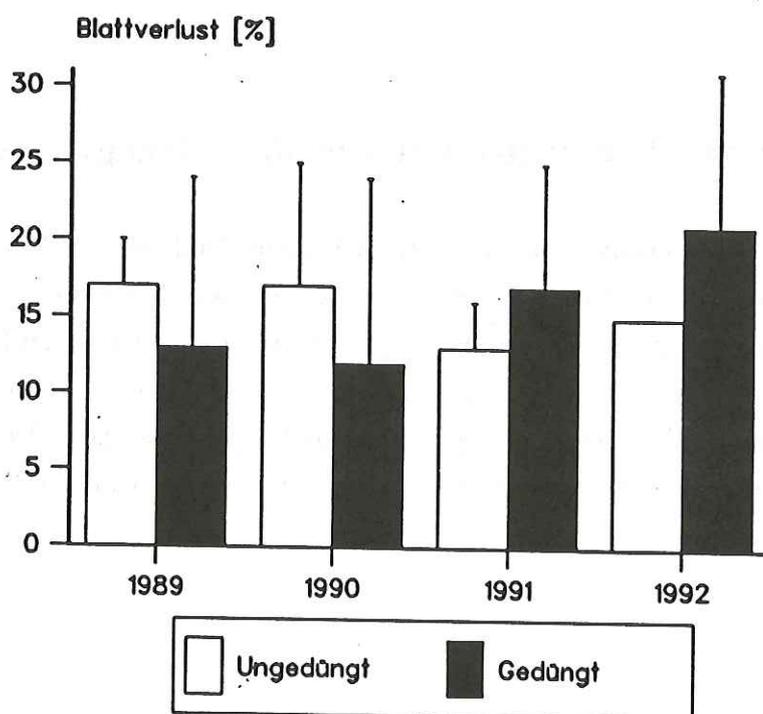
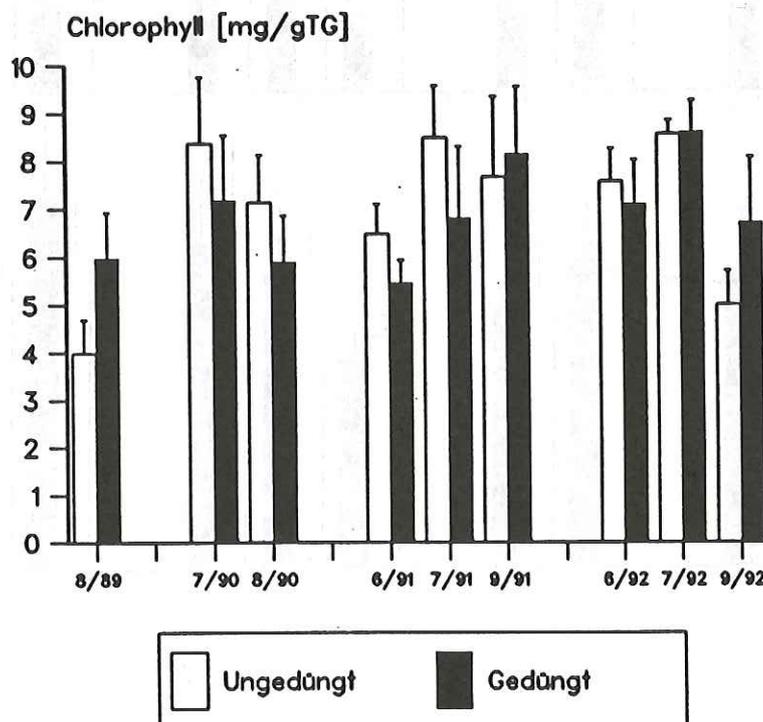


Abb. 5: Veränderungen des mittleren Blattverlustes der durchgängig beprobten Bäume im Untersuchungszeitraum

### 3.4 Auswirkungen der Düngemaßnahme auf biochemische Parameter

Verfolgt man die Wirkung der Düngemaßnahme auf den **Gesamtchlorophyll-Gehalt** der durchgängig beprobten Bäume, so läßt sich keine eindeutige Entwicklung im Untersuchungszeitraum beobachten (Abb. 6). Während die gedüngten Bäume an dem einen Erntetermin des Jahres 1989 noch signifikant höhere Chlorophyllgehalte gegenüber den ungedüngten Bäumen aufwiesen, so verwischen sich die Unterschiede in den Folgejahren. Eine Steigerung des Chlorophyllgehaltes der gedüngten Bäume etwa infolge der verbesserten Mg-Versorgung kann somit nicht beobachtet werden.



**Abb. 6:** Veränderungen des Gesamt-Chlorophyllgehaltes der durchgängig beprobten Bäume im Untersuchungszeitraum

Ähnliche Befunde wurden bei den untersuchten **Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette** P-700, Cytochrom f und D1-Protein erzielt. Auch hier konnten im Untersuchungszeitraum keine augenfälligen Veränderung infolge der Düngemaßnahme beobachtet werden. Lediglich die Gehalte an Cytochrom f waren in den gedüngten Bäumen im Jahr 1992 an jedem Erntetermin gegenüber den ungedüngten Bäumen erhöht (Abb. 7a-c). Ähnliche negative Resultate wurden bei der **GS-** und **PEPC-Aktivität** erzielt.

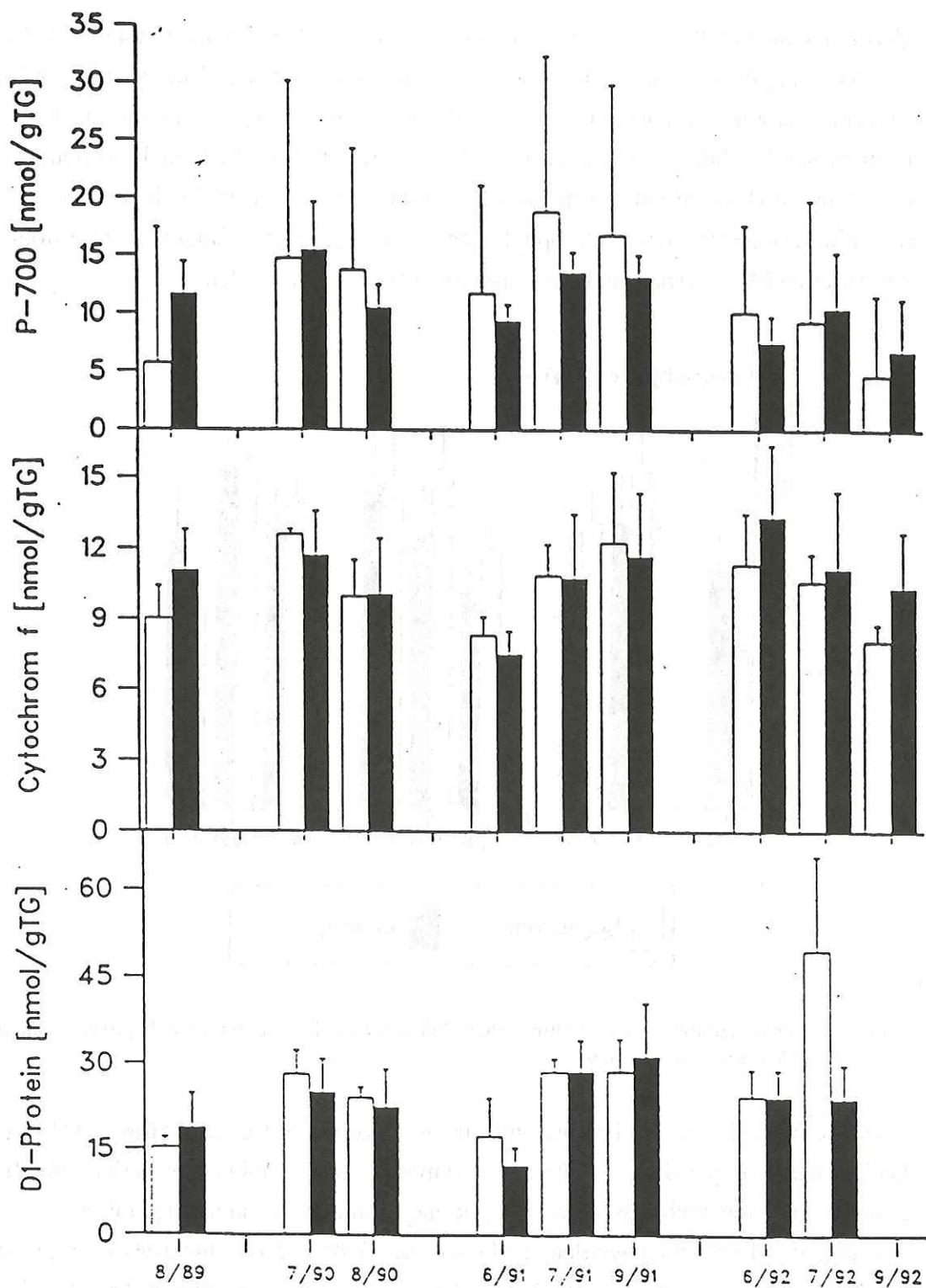


Abb. 7a-c: Gehalte an den Elektronentransportkettenkomponenten (a) P-700, (b) Cytochrom f und (c) D1-Protein der ungedüngten und gedüngten Bäume im Untersuchungszeitraum.

Als weitere morphologisch-biometrische und einfache analytische Merkmale wurden u.a. die **Blattfläche**, das **spezifische Trockengewicht** und der **Wassergehalt** des Eichenlaubs ermittelt. Hier konnte im Verlauf des Untersuchungszeitraums jedoch keine deutliche Veränderung dieser Merkmale in Abhängigkeit von der Düngemaßnahme gefunden werden. Ebensovienig traten bei der visuellen Bonitur von **Schadmerkmalen** am Eichenlaub (Chlorosen, Nekrosen, Blattdeformationen etc.) signifikante Unterschiede zwischen beiden Düngevarianten auf.

Als Fazit der Ergebnisse bleibt somit festzuhalten, daß trotz deutlich verbesserter Magnesiumgehalte anhand der untersuchten Parameter keine Anzeichen einer Vitalitätssteigerung bei den gedüngten Bäumen festgestellt werden konnte. Dieser negative Befund könnte auf folgenden Umständen beruhen:

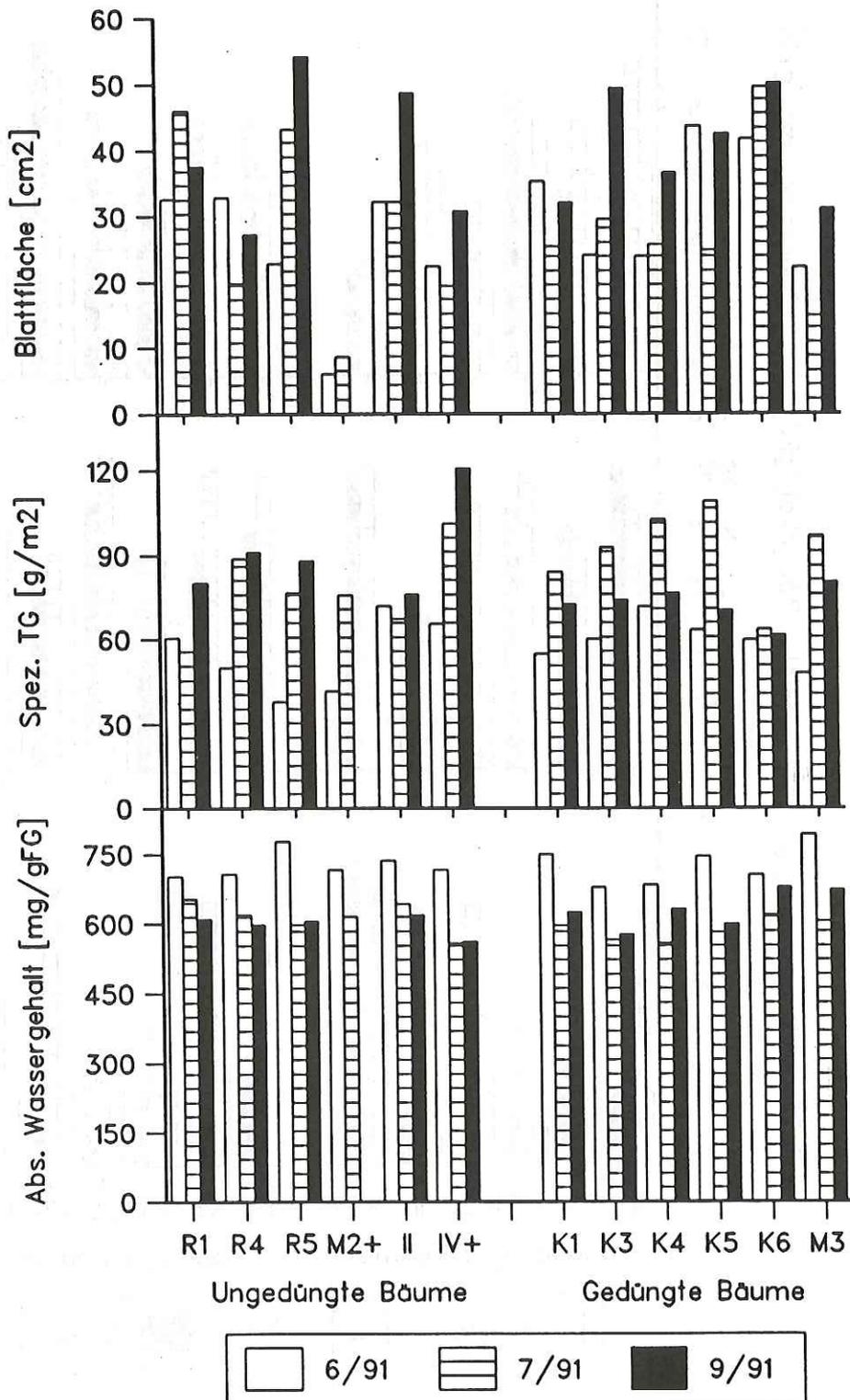
1) *Die untersuchten Parameter waren möglicherweise durch die geringen Magnesiumgehalte vor der Düngemaßnahme nicht limitiert.* So limitiert der Magnesiumgehalt den Chlorophyllgehalt in Fichtennadeln nur unterhalb eines bestimmten Schwellenwerts von ca.  $0,3 \text{ mg gTG}^{-1}$ ; oberhalb dieses Schwellenwertes korrelieren beide Größen nicht miteinander. Möglicherweise liegen die geringen Magnesiumgehalte im Laub ungedüngter Bäume noch oberhalb dieses Schwellenwerts. Über diese artspezifischen Schwellenwerte ist bei der Eiche jedoch weitaus weniger bekannt als bei der Fichte.

2) *Die Verbesserung der Magnesiumversorgung wirkt sich eher indirekt auf die Vitalität der Bäume aus.* So könnte es durch die düngende und versauerungshemmende Wirkung des dolomitischen Kalks zu einer Stimulation des Wurzelwachstums und damit insbesondere zu einer mittelfristig verbesserten Wasserbilanz kommen. Diese Effekte führen jedoch möglicherweise erst nach einer Latenzzeit von mehreren Jahren zu deutlichen Reaktionen von Blattchemismus und Belaubungszustand. Daher könnte der Untersuchungszeitraum zu knapp bemessen gewesen sein.

### 3.5 Morphologische und biochemische Merkmale stark geschädigter Eichen

Betrachtet man die **mittlere Blattfläche** (Abb. 8a) der einzelnen Bäume im Jahr 1991, so zeichnete sich der Baum M2 durch eine auffällige Kleinblättrigkeit aus. Der ebenfalls stark geschädigte Baum IV besaß dagegen keine auffällig kleinen Blätter. Die Blätter von Baum IV waren demgegenüber durch ein auffällig hohes **spezifisches Trockengewicht** (Abb. 8b) gekennzeichnet; nicht so dagegen Baum M2. Der **absolute Wassergehalt** des Eichenlaubs der stark geschädigten Bäume wich nicht auffällig von den übrigen Bäumen ab (Abb. 8c). Neben einer hellgrünen Grundfärbung und diffusen Intercostalchlorosen bei Baum IV traten am Laub beider stark geschädigter Bäume keine visuellen Schadsymptome auf. Insbesondere trat bei beiden Bäumen kaum **Schiffchenbildung** auf (M2: 0%, IV: maximal 10%), während z.B. bei Baum M3 dieses Merkmal bei 60-65% des Laubes auftrat.

Korrespondierend mit den sehr niedrigen Mg-Blattspiegelwerten wies das Laub von Baum IV einen sehr geringen **Chlorophyllgehalt** auf. Jedoch wurden auch bei Baum M2 trotz ausreichender Magnesiumversorgung unterdurchschnittliche Chlorophyllgehalte gemessen (Abb. 9a). Ähnlich niedrig waren die Konzentrationen (bezogen auf Frisch- oder Trockengewicht) beider Bäume an den drei untersuchten **Elektronentransportkettenkomponenten** P-700, Cytochrom f und D1-Protein. Baum IV war weiterhin durch hohe **Glutamin-Synthetase-** und **PEP-Carboxylase-Aktivitäten** insbesondere bei den späteren Ernteterminen gekennzeichnet (Abb. 9b,c).



**Abb. 8a-c:** Morphologische (a, b) und Wasserhaushaltsparameter (c) an ungedüngten und gedüngten Bäumen im Verlauf des Untersuchungsjahres 1991.

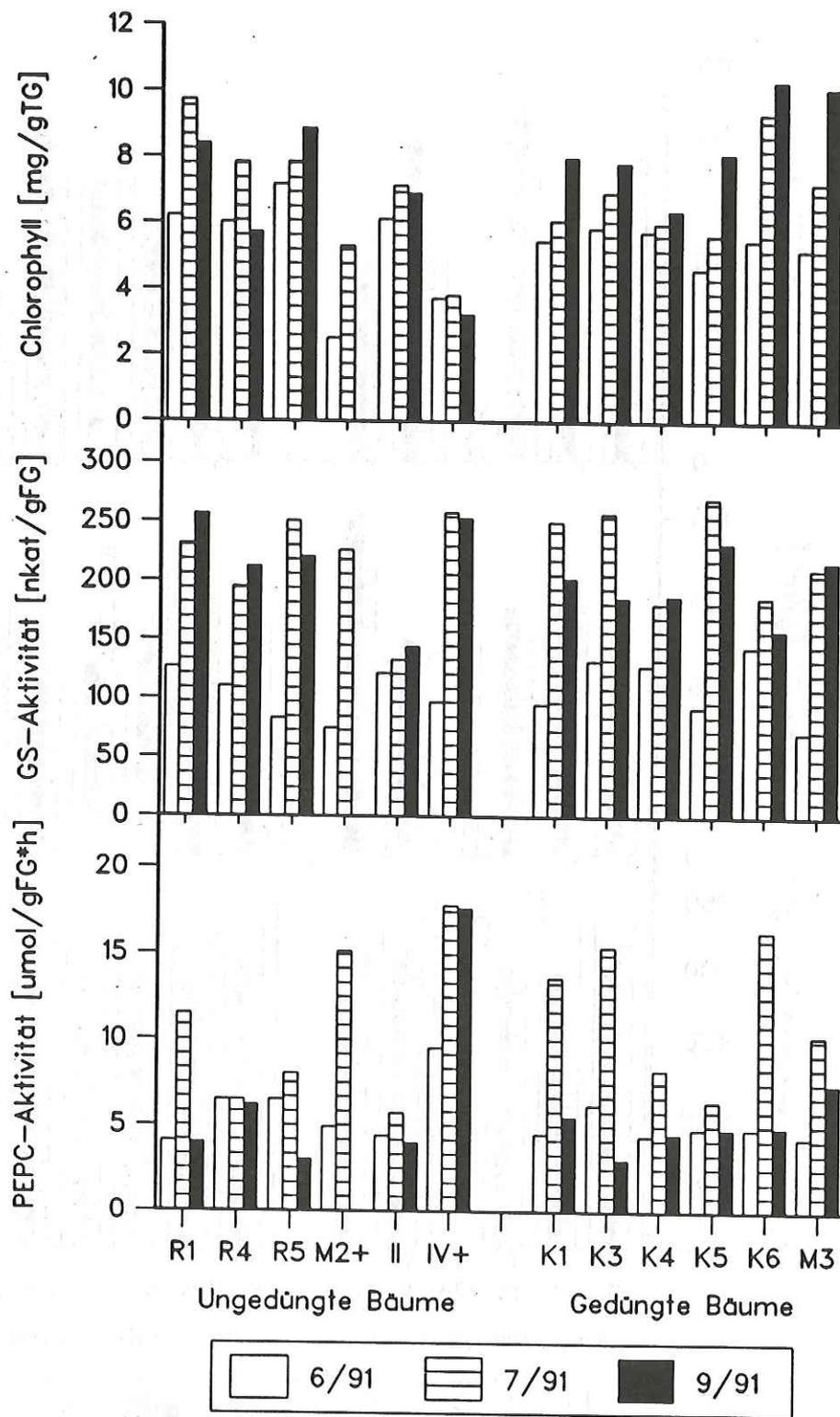


Abb. 9a-c: Chlorophyllgehalt (a), GS- (b) und PEPC-Aktivität (c) an ungedüngten und gedüngten Bäumen im Verlauf des Untersuchungsjahres 1991.

### 3.6 Untersuchungen zur winterlichen Kohlenhydratdynamik

Die winterliche Dynamik des Kohlenhydratgehaltes wurde exemplarisch an einer ca. 15-jährigen Traubeneiche (Baum A) untersucht (Abb. 10). Die Dynamik des Stärkegehaltes ist durch ein zweigipfliges Verhalten charakterisiert. Kurz nach dem Blattfall weist der Stärkegehalt ein Maximum auf. In der Folgezeit nehmen die Stärkegehalte rasch ab, um Anfang Februar ein Minimum zu erreichen. Nach diesem winterlichen Minimum steigen die Stärkegehalte wieder an, um kurz vor dem Blattaustrieb Mitte April ein zweites Maximum zu erreichen. Mit dem Einsetzen des Blattaustriebs fallen dann die Stärkegehalte rasch ab.

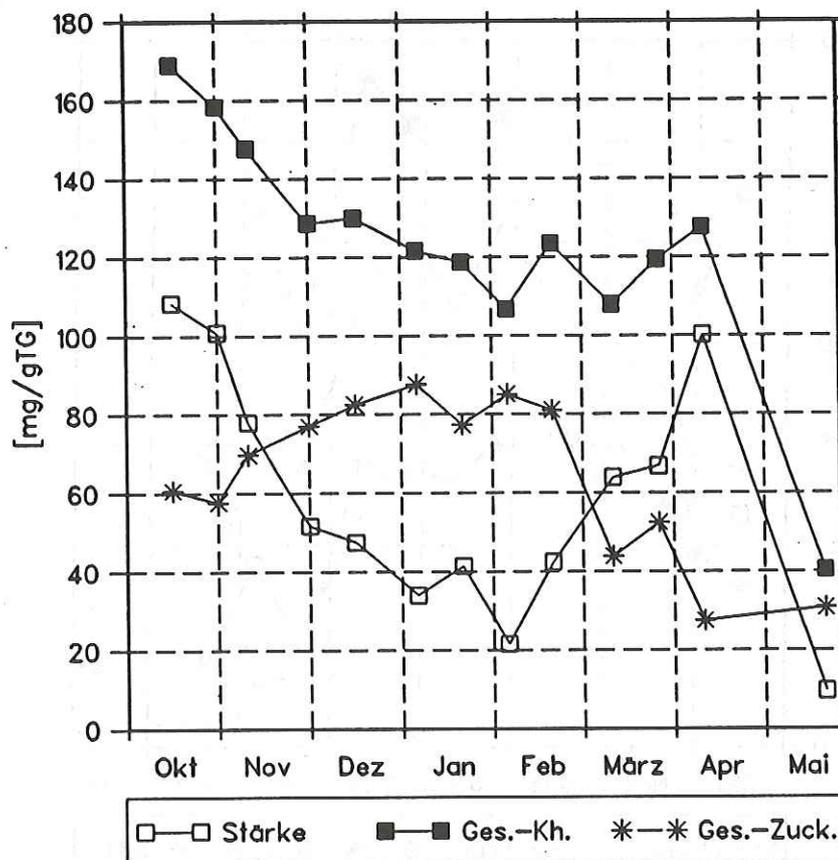
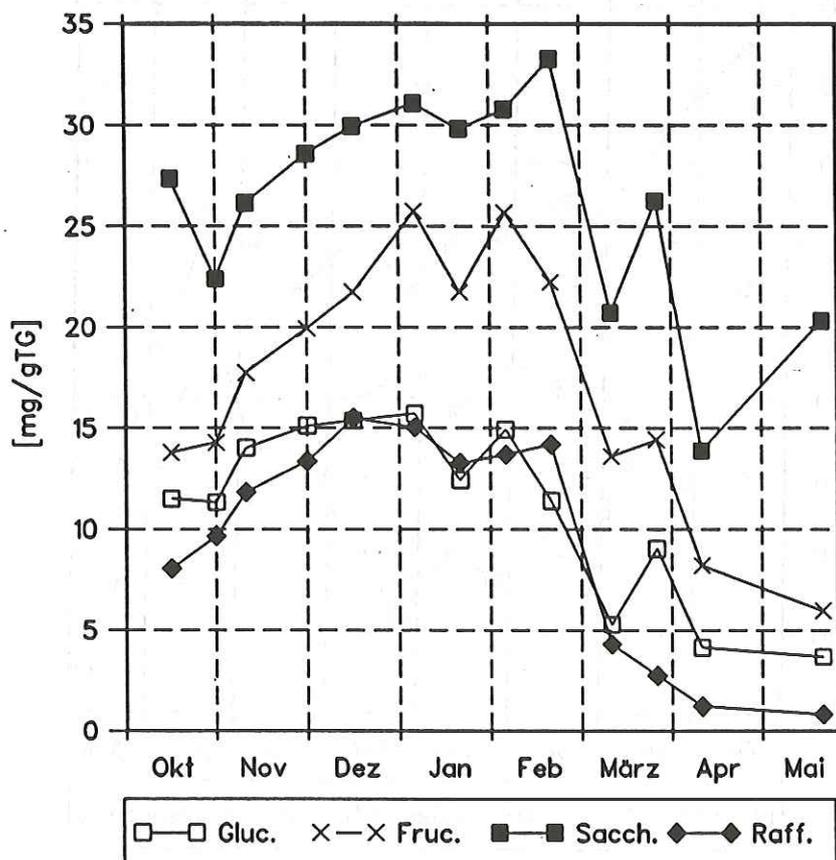


Abb. 10: Verlauf des Stärke-, Gesamtzucker- und Gesamtkohlenhydratgehaltes einer jungen Eiche während der Wintermonate 1992/93.

Die Gehalte an löslichen Zuckern verhalten sich dagegen über lange Zeiträume invers zu den Stärkegehalten. Die löslichen Zucker besitzen ein Maximum während der Monate Januar und Februar. Differenziert man die löslichen Zucker nach ihren Einzelkomponenten, so erweist sich die Saccharose als quantitativ dominierende Komponente, gefolgt von Fructose, Glucose und Raffinose (Abb. 11). Die Dynamik sämtlicher Zuckergehalte zeigte einen ähnlichen Verlauf mit hohen Werten in den Monaten Januar und Februar. Während Galactose nur in sehr geringen Mengen vorhanden war, konnte Maltose zu keinem Zeitpunkt nachgewiesen werden. Der Gesamtgehalt an nicht-strukturellen Kohlenhydraten (Stärke + lösliche Zucker) nimmt im Lauf des Winters - insbesondere in den Wochen nach dem Blattfall und während des Neuaustriebs - ab.



**Abb. 11:** Verlauf des Saccharose-, Glucose-, Fructose- und Raffinosegehaltes in Zweigen einer jungen Eiche während der Wintermonate 1992/93.

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen zeigten eine unterschiedliche Dynamik des Stärkegehaltes in verschiedenen Geweben der Zweige. Während die Stärke in der Rinde schon frühzeitig abgebaut wird, folgt der Stärkeabbau im Holzstrahlparenchym und im Mark zeitlich verzögert nach.

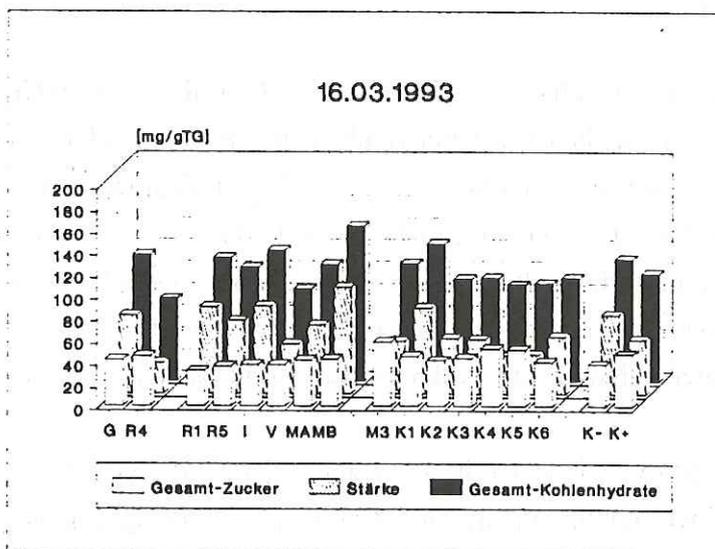
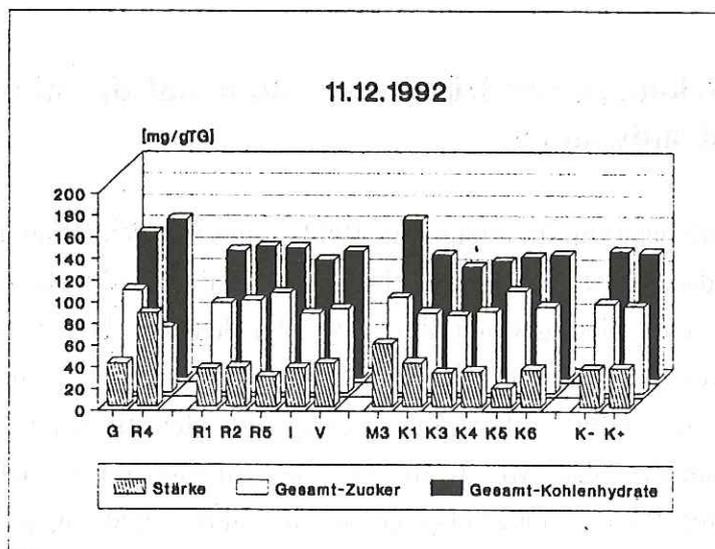
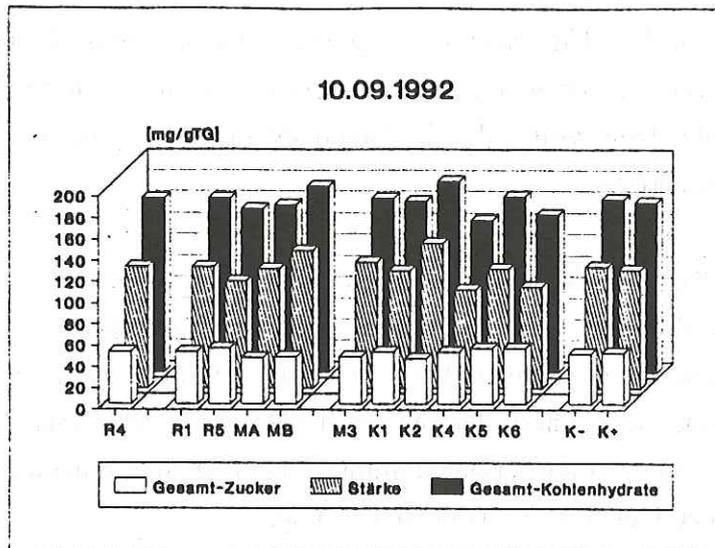
Die beobachtete Kohlenhydratdynamik stimmt mit der zahlreicher anderer Baumarten überein (z.B. SAUTER, 1988). Der Abbau der Stärke zu löslichen Zuckern während des Winters steht im Dienste der Frosthärtung. Im zeitigen Frühjahr kommt es zu einer Ent-härtung und zu einer Resynthese der Stärke, die dann für den Neuaustrieb verbraucht wird. Während der Vegetationsperiode kommt es dann zu einer erneuten Deposition von photosynthetisch gebildeten Assimilaten in den Ästen.

### **3.7 Auswirkungen der Düngemaßnahme auf die winterliche Kohlenhydratdynamik**

Bei dem Probennahmetermin im September 1992 - kurz vor dem Blattabwurf - war der Stärkegehalt der diesjährigen Zweigstückchen noch relativ hoch, während der Gehalt an löslichen Zuckern eher niedrig war (Abb. 12a). Bei den löslichen Zuckern dominierte Saccharose, während Raffinose nur in geringen Mengen nachgewiesen werden konnte. Dies korrespondiert mit den jahreszeitlich entsprechenden Befunden bei der jungen Traubeneiche (Baum A). Die Mittelwerte von ungedüngten (ausschließlich Baum R4, s.u.) und gedüngten Bäumen unterscheiden sich im Stärke- und Zuckergehalt praktisch nicht voneinander.

Während der Frosthärtungsphase im Dezember 1992 ist die Stärke weitgehend aufgelöst und es überwiegen die löslichen Zucker (Abb. 12b). Wiederum läßt sich im Mittelwert kein Unterschied zwischen ungedüngten und gedüngten Bäumen erkennen. Bei einigen Bäumen ist Saccharose, bei anderen Fructose der quantitativ dominierende Zucker. Auffallend ist das abweichende Verhalten der einzigen Stieleiche (R4), die als einziger Baum zu diesem Zeitpunkt höhere Stärke- als Zuckergehalte besitzt. Dies könnte möglicherweise auf einer unterschiedlichen Frosthärtungsdynamik beider Eichenarten beruhen.

Zum Erntetermin im März 1993 ist die Resynthese der Stärke bereits in Gang gekommen (Abb. 12c). Dabei weisen die ungedüngten Bäume im Mittel signifikant höhere Stärkegehalte als die gedüngten Bäume auf. Lediglich die Stieleiche R4 weicht insofern vom Verhalten der übrigen ungedüngten Bäume ab, als sie noch sehr niedrige



**Abb. 12a-c:** Stärke-, Gesamt-Zucker- und Gesamt-Kohlenhydratgehalte in Zweigen der Alteichen sowie Mittelwerte der ungedüngten (K-; ohne R4 und G) und gedüngten (K+) Bäume am 10. 9. 1992 (a), 11. 12. 1992 (b) und 16. 3. 1993 (c).

Stärkegehalte aufweist. Nach Maßgabe des Stärkegehaltes bzw. des Verhältnisses von Stärke zu löslichen Zuckern scheinen die ungedüngten Bäume zu diesem Zeitpunkt im Prozeß der Frost-Enthärtung gegenüber den gedüngten Bäumen voranzueilen. Ein Zusammenhang mit dem Austriebsverhalten der Bäume im Jahr 1993 war jedoch nicht augenfällig. Sowohl die möglichen Unterschiede zwischen Trauben- und Stieleichen, als auch die Düngeeffekte bedürfen einer weiteren Absicherung.

Stark geschädigte Bäume weisen gegenüber wenig geschädigten Bäumen keine auffälligen Unterschiede im Kohlenhydratgehalt auf. Bei ihnen waren jedoch kleinere Jahrestriebe augenfällig. Die schütterere Belaubung geschädigter Bäume und die daraus resultierende, auf den gesamten Baum bezogene geringere Photosyntheseleistung macht sich somit eher in einer geringeren Biomasseproduktion, als in einer verringerten Kohlenhydratmenge pro Biomasseeinheit bemerkbar.

#### **4. Zusammenfassung**

Die Auswirkungen einer 1989 mit dolomitischem Kalk durchgeführten Düngemaßnahme auf ca. 166jährige Eichen an der UKS Merzalben wurden im Verlauf der Jahre 1989 bis 1992 untersucht. In diesem Zeitraum stieg insbesondere der Magnesiumgehalt im Laub der gedüngten Eichen deutlich an, während die ungedüngten Bäume eine unteroptimale Versorgung mit diesem Nährelement aufwiesen. Im Gegensatz zu der Verbesserung des Nährstoffstatus kam es sowohl anhand biochemischer, als auch visueller Merkmale im Untersuchungszeitraum nicht zu einer deutlichen Vitalitätssteigerung der gedüngten Bäume. Die winterliche Kohlenhydratdynamik der ungedüngten Bäume eilte im zeitigen Frühjahr der der gedüngten Bäume voraus. Ob dies auf einen spezifischen Effekt der Kalkungsmaßnahme zurückgeht, muß jedoch noch geklärt werden.

## Summary

### Effects of a fertilization measure on morphological and biochemical parameters of oak (*Quercus petraea*, *Qu. robur*) trees at the Umweltkontrollstation (environmental monitoring station) Merzalben

The effects of fertilization with magnesium-lime (dolomitic rock powder) on the vitality of 166-193-years-old oak (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) trees growing on sandstone were studied during the course of four years (1989-1992). Besides nutrient status, several morphological features and biochemical indicators (chlorophyll content, content of components of the photosynthetic electron transport chain, activities of the enzymes GS and PEPC) were measured in the leaves of unfertilized and fertilized trees. Three years after fertilization a significant increase of the magnesium content in the leaves of fertilized trees was noticed. However, neither morphological nor biochemical parameters showed clear symptoms of increasing vitality of fertilized trees. Furthermore, leaf morphological and biochemical features of severely damaged oak trees were assessed. During winter 1992/93 the fluctuation of carbohydrate contents in oak branches were studied.

*Keywords: Carbohydrates, chlorophyll, fertilization trial, glutamine synthetase, magnesium deficiency, oak, phosphoenolpyruvate carboxylase, photosynthetic electron transport chain components, Quercus petraea, Quercus robur.*

*Schlagwörter: Chlorophyll, Eiche, Düngeversuch, Glutamin-Synthetase, Kohlenhydrate, Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette, Magnesiummangel, Phosphoenolpyruvat-Carboxylase, Quercus petraea, Quercus robur.*

## Literatur

BERGMEYER, H.U. (1971): Methoden der enzymatischen Analyse. Band 2. 3. Auflage. Weinheim.

VAN DEN BURG, J. (1985): Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp", Rapport 414. Wageningen.

HARBORNE, J.B. (1973): Phytochemical Methods. London.

SAUTER, J.J. (1988): Temperatur-induced changes in starch and sugars in stem of *Populus x canadensis* "robusta". *J. Plant Physiol.* **132**, 606-612.

TIETZ, S.; WILD, A. (1991): Investigations on the phosphoenolpyruvate carboxylase activity of spruce needles relative to the occurrence of novel forest decline. *J. Plant Physiol.* **137**, 327-331.

TISCHER, W.; STROTMANN, H. (1977): Relationship between inhibitor binding by chloroplasts and inhibition on photosynthetic electron transport. *Biochim. Biophys. Acta* **460**: 113-125.

WALLSGROVE, R.M.; LEA, P.J.; MIFLIN, B.J. (1979): Distribution of the enzymes of nitrogen assimilation within the pea leaf cell. *Plant Physiol.* **63**, 232-236.

WILD, A.; FLAMMERSFELD, U.; MOORS, I.; DIETZ, B.; RÜHLE, W. (1988): Investigation on the photosynthetic membranes of spruce needles in relation to the occurrence of novel forest decline. - II. The content of Q<sub>B</sub>-proteine, cytochrome f, and P-700. *Z. Naturforsch.* **43c**, 589-595.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. Aloysius WILD, Dr. Volker SCHMITT  
Institut für Allgemeine Botanik  
Johannes Gutenberg-Universität  
Saarstr. 21  
55099 Mainz

# **Auswirkungen einer Düngemaßnahme auf physiologische und biochemische Parameter unterschiedlich geschädigter Fichten an der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein**

von V. Schmitt, R. Scheuermann und A. Wild

Institut für Allgemeine Botanik

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

## **1. Einleitung**

Das Ziel des Vorhabens bestand in der Untersuchung der Auswirkungen einer Mg-betonten Düngung auf die Vitalität eines Fichtenbestandes an einem Standort mit basenarmem Bodensubstrat. Als Untersuchungsparameter wurden zum einen Veränderungen des Nährstoffstatus in den vorjährigen Fichtennadeln in Abhängigkeit von der Düngemaßnahme untersucht. Eine Verbesserung der Mg-Nadelspiegelwerte stellt ein objektives Kriterium für den Erfolg der Düngemaßnahme dar. In Abhängigkeit von der Düngemaßnahme sollte sich der Vitalitätszustand geschädigter und vor der Düngemaßnahme mit Mg mangelversorgter Bäume verbessern. Eine eventuelle Verbesserung des Vitalitätszustandes läßt sich mit Hilfe okularer Methoden (Nadelverlust, Nadelvergilbung) oder mit Hilfe schädigungsbezogener biochemischer Parameter verfolgen (WILD & SCHMITT 1995).

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Standort**

Der Standort Idar-Oberstein befindet sich in der Abteilung 119 des Forstamtes Idar-Oberstein, Forstrevier Leisel, in einer Höhe von 620-665 m über NN im Wuchsgebiet

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr. 32/1995;90-105

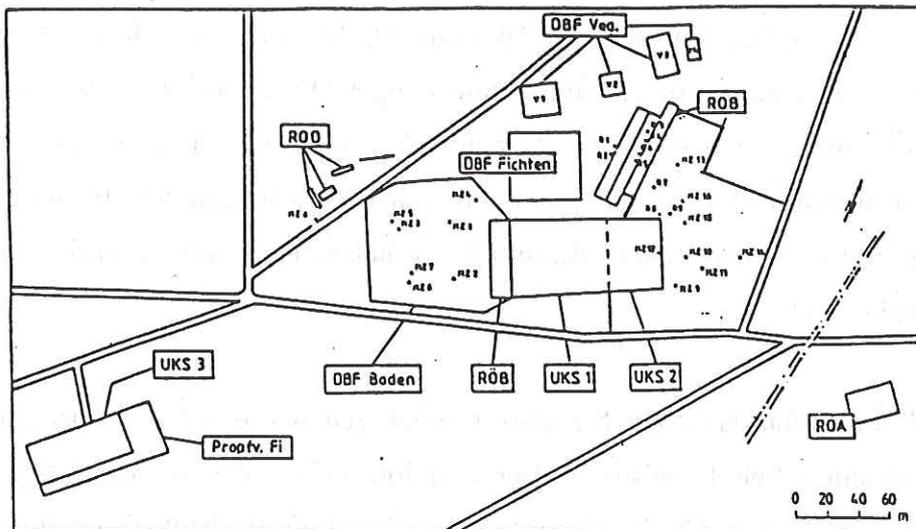
Hunsrück, Wuchsbezirk Hoch- und Idarwald. Das geologische Ausgangssubstrat bildet ein Quarzit mit einer Decklehmauflage. Als Bodentyp herrscht eine schwach podsolige Braunerde vor. Die Humusform ist ein rohhumusartiger Moder mit einem durchschnittlichen pH-Wert von 2,7. In den tieferen Bodenschichten (B-Horizont) sind pH-Werte von 3,2 bis 4,5 zu finden. Bezüglich der Versorgung mit Nährstoffen ist der Standort als oligo- bis mesotroph zu bezeichnen. Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen ist der Standort relativ frisch.

Klima- und Immissionsdaten am Standort werden von der unmittelbar benachbarten ZIMEN-Meßstation Leisel registriert. Der Standort Leisel, der in einem sog. Reinluftgebiet liegt, weist eine deutliche Belastung mit dem Luftschadstoff Ozon auf. In den Sommermonaten werden häufig Halbstundenmaximalwerte von  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  Ozon erreicht. Dagegen spielen die Luftschadstoffe  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  an diesem Standort keine Rolle. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt ca.  $7^\circ\text{C}$  und der mittlere Niederschlag ca.  $1100 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

Auf dem Standort stockt ein ca. 120-jähriger Fichtenbestand auf einem ca.  $8^\circ$  geneigten Südosthang.

## 2.2 Düngemaßnahme

Ein Teil der Versuchsfläche wurde im Februar 1989 von Hand mit  $6 \text{ t ha}^{-1}$  dolomitischem Kalk der Herkunft Wellen mit der Körnung 0-2 mm gekalkt. Nach einer Analyse vom 01.07.1982 setzt sich grob vermahlener Rohdolomitsand dieser Herkunft wie folgt zusammen: 51,80%  $\text{CaCO}_3$ , 42,50%  $\text{MgCO}_3$ , 3,40%  $\text{SiO}_2$ , 1,15  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,75%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Ein Detailplan der Untersuchungsfläche mit der Lage der Untersuchungsbäume findet sich unter Abb. 1.



**Abb. 1:** Karte der Umweltkontrollstation und Lage der untersuchten Bäume.

## 2.3 Untersuchungsbäume

Als Untersuchungsbäume wurden je 4 Fichten weitgehend ungeschädigte und geschädigte Fichten auf der ungedüngten bzw. gedüngten Teilfläche ausgewählt. Die 16 Bäume verteilten sich auf folgende Varianten:

MZ 1 - MZ 4: Ungedüngte und ungeschädigte Bäume (Kürzel: D-U)

MZ 5 - MZ 8: Ungedüngte und geschädigte Bäume (Kürzel: D-G)

MZ 9 - MZ 12: Gedüngte und ungeschädigte Bäume (Kürzel: D+U)

MZ 13- MZ 16: Gedüngte und geschädigte Bäume (Kürzel: D+G)

## 2.4 Probennahme

Die Probennahme wurde an jew. zwei Terminen im Jahr zu folgenden Zeitpunkten durchgeführt:

1988: 25.05. / 08.11; 1989: 29.05. / 26.10; 1990: 24.07. / 06.11; 1991: 29.07. / 28.10;

1992: 29.07. / 04.11; 1993: 28.07. / 03.11.

An den einzelnen Ernteterminen wurden durch Baumsteiger je ein Ast aus dem 7.-9. Wirtel eines Baumes entnommen. Von den Probeästen wurden die vorjährigen Jahrestriebe abgeschnitten und durch Eintauchen in flüssigen Stickstoff entnadelt. Gleiche Volumenanteile der Nadeln der vier Bäume einer Variante wurden zu einer Mischprobe vereinigt und gründlich durchmischt. Die Nadeln wurden tiefgefroren in Polyvials abgefüllt, in das Labor transferiert und bis zur Analyse in einer -80°C-Tiefkühltruhe aufbewahrt.

## 2.5 Methoden

Für die Bestimmung der **Mineralstoffgehalte** wurden die Nadeln gewaschen, getrocknet und zermahlen. Das Nadelpulver wurde mit 65%iger Salpetersäure aufgeschlossen. Die Bestimmung der Mineralstoffe Ca, Mg, Mn und K (ab 1989) sowie Fe und Zn (ab 1991) wurden mit Hilfe der AAS, die Bestimmung des N-Gehaltes (ab 1991) mit Hilfe eines CHN-Analyzers durchgeführt.

Als ausgewählte biochemische Parameter werden im Rahmen dieses Kolloquiumsberichtes der Gesamt-Chlorophyllgehalt, der Gesamt-Ascorbatgehalt und die PEPC-Aktivität präsentiert.

Der **Gesamt-Chlorophyllgehalt** (Chlorophyll a+b) wurde nach Extraktion mit Dimethylsulfoxid (DMSO) spektrophotometrisch bestimmt (HARBORNE 1973). Die Bestimmung des **Gesamt-Ascorbatgehaltes** (Ascorbat + Dehydroascorbat) erfolgte über HPLC (SCHMIEDEN & WILD 1994). Die Bestimmung der Aktivität der Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) erfolgte spektrophotometrisch über einen gekoppelten optischen Test nach WARBURG (TIETZ & WILD 1991).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Auswirkungen der Düngemaßnahme auf den Mineralstoffgehalt der Fichtennadeln

In den folgenden Abb. 2-4 ist die Entwicklung der Mg-, Ca- und K-Blattspiegelwerte von 1989 bis 1993 wiedergegeben. Eine Auswirkung der Düngung mit dolomitischem Kalk auf den **Magnesium**-Gehalt der Nadeln zeichnet sich ab dem Jahr 1991 ab und kommt im Jahr 1993 schließlich voll zum tragen (Abb. 2). Ausgehend von relativ niedrigen Werten verbesserten sich insbesondere bei den gedüngten und ungeschädigten Fichten die Mg-Gehalte auf ca.  $1 \text{ mg} \cdot \text{gTG}^{-1}$ . Die ungedüngten Bäume, welche im Jahr 1991 vorübergehend leicht erhöhte Mg-Gehalte aufwiesen, fielen im Jahr 1993 bis knapp an bzw. unter die Vergilbungsschwelle von  $0,3 \text{ mg} \cdot \text{gTG}^{-1}$  zurück. Im gesamten Beobachtungszeitraum lagen die Mg-Nadelspiegelwerte der geschädigten Bäume fast durchweg unter dem Niveau der ungeschädigten Bäume der jeweils gleichen Düngewariante.

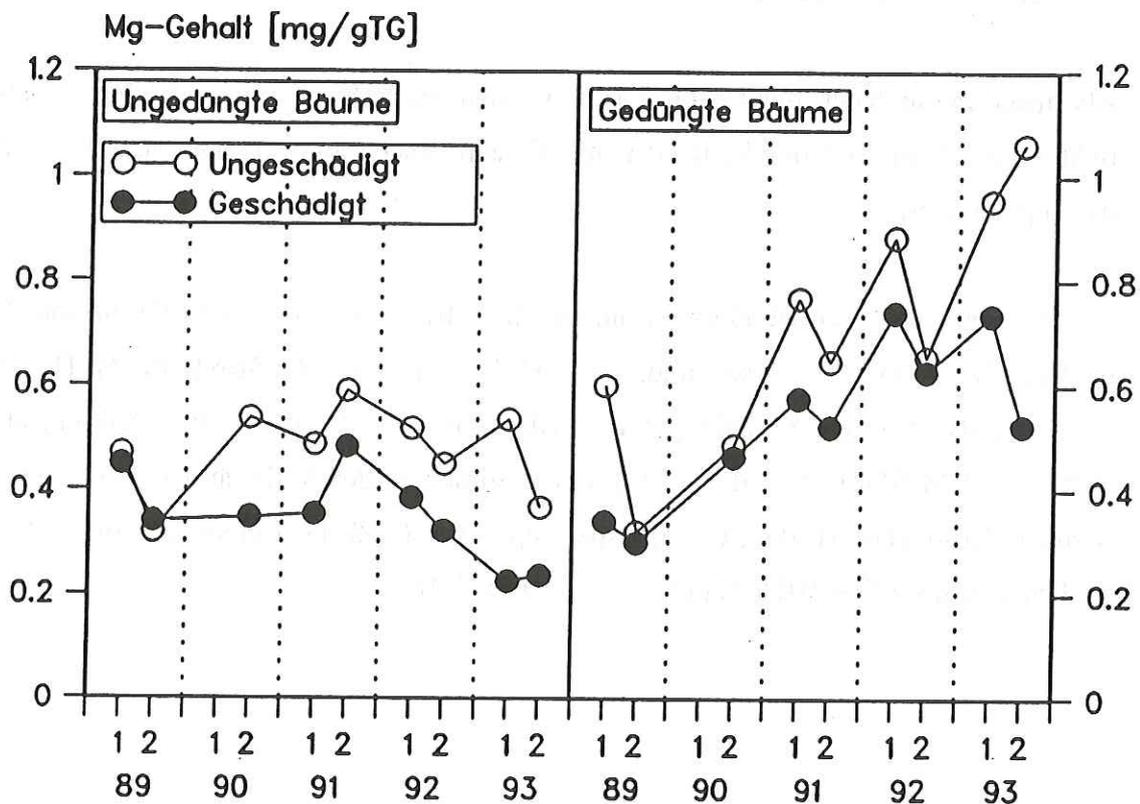
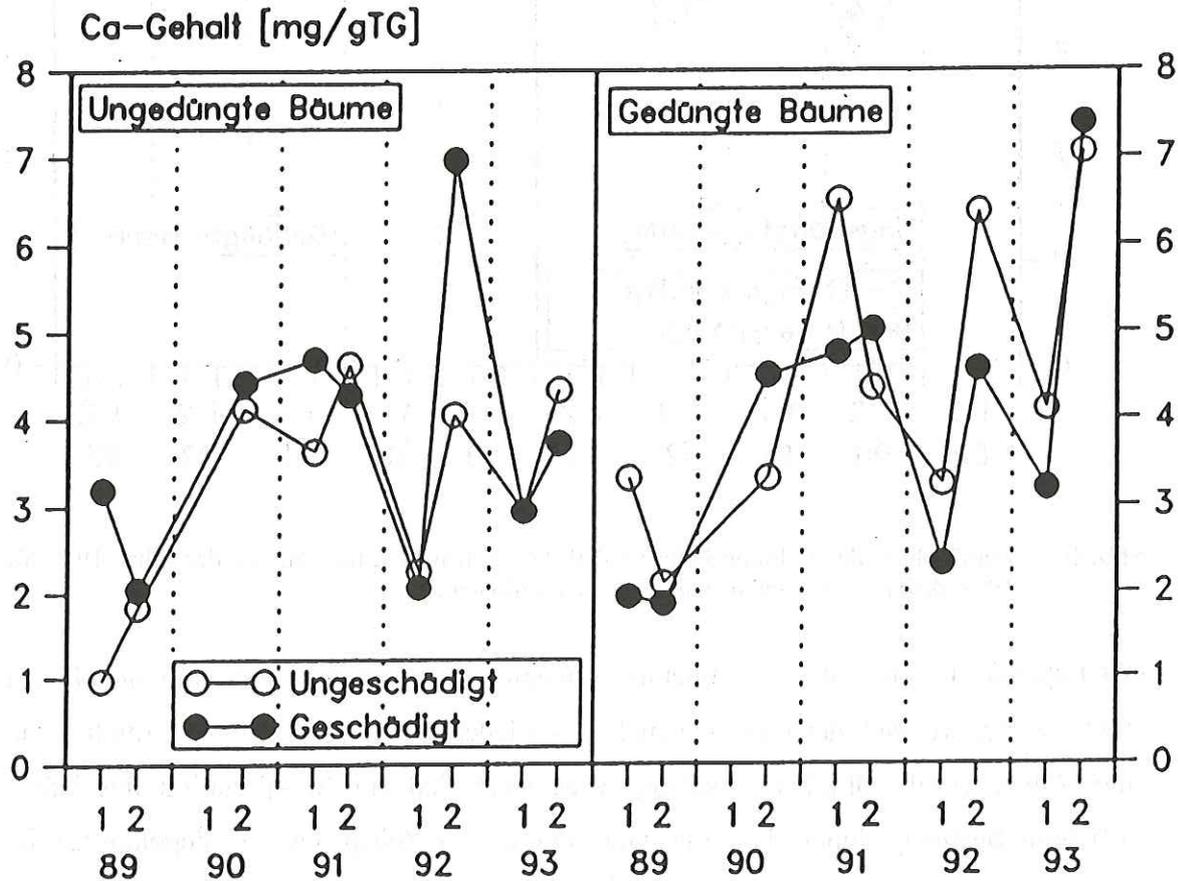


Abb. 2: Entwicklung der Magnesiumgehalte an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1989 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

Die Entwicklung der **Calcium**-Gehalte ist aufgrund starker Fluktuationen schwieriger zu interpretieren (Abb. 3). Da Ca mit zunehmendem Nadelalter in den Nadeln akkumuliert, werden in der Regel bei den späteren Ernteterminen höhere Ca-Gehalte gemessen. Im Jahr 1993 wurden erstmals deutlich höhere Ca-Gehalte in den Nadeln der gedüngten Bäume ermittelt.



**Abb. 3:** Entwicklung der Calciumgehalte an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1989 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

Die **Kalium**-Gehalte zeigen keinen erkennbaren Einfluß von Düngung oder dem unterschiedlichen Schädigungsgrad der Bäume und schwanken um einen Wert von ca. 4  $\text{mg} \cdot \text{gTG}^{-1}$  (Abb. 4).

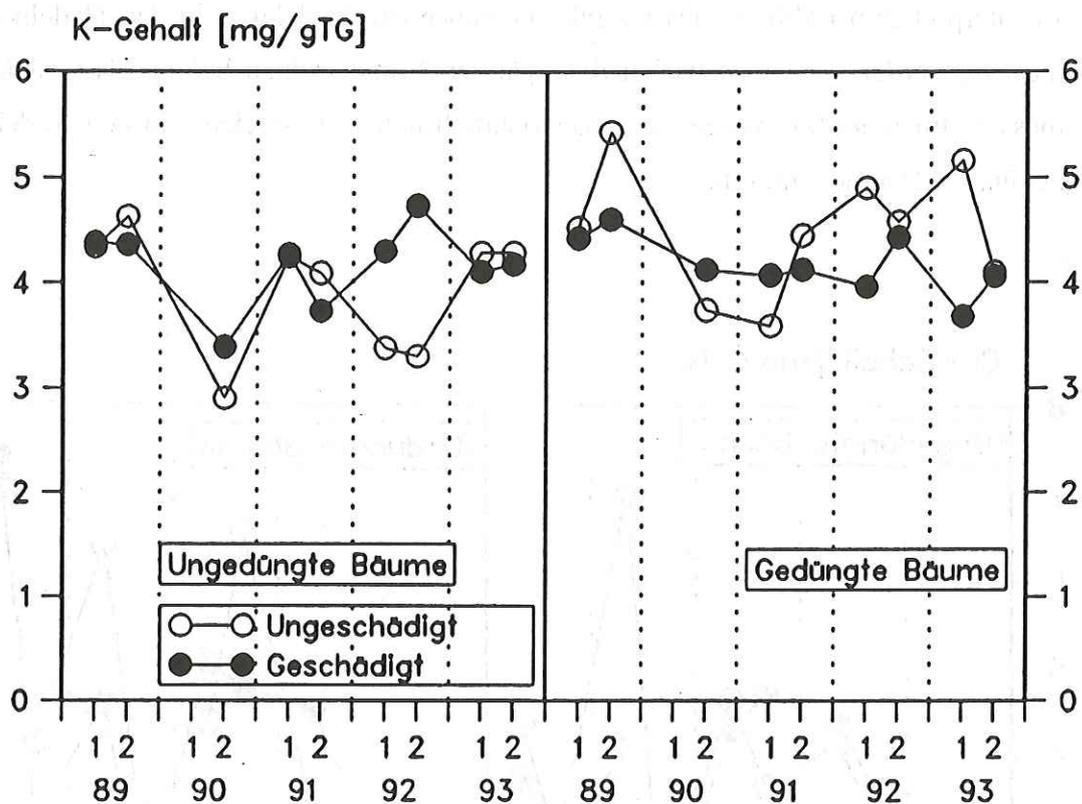


Abb. 4: Entwicklung der Kaliumgehalte an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1989 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

Die folgende Tabelle gibt die Mineralstoffgehalte am zweiten Erntetermin des Jahres 1993 - vier Jahre nach der Düngemaßnahme - wieder. Die jeweils zweiten Erntetermine eines Jahres (Ende Oktober / Anfang November) sind zur Interpretation des Nährstoffstatus besser geeignet, da sie in oder nahe an der Zeitspanne der Vegetationsruhe liegen, welche aufgrund der geringsten Schwankungsbreite für Mineralstoffanalysen als am günstigsten betrachtet wird (EVERS 1986).

Element	Mangelbereich	Ausreichende Versorgung	D-U	D-G	D+U	D+G
N	<13	15-25	12,450	12,550	12,100	15,650
Ca	<1,0-2,0	2,0-3,0	4,327	3,719	7,056	7,385
K	<4,0-4,5	4,5-6,0	6,835	4,998	4,101	4,057
Mg	<0,6	0,8-1,0	0,367	0,236	1,062	0,524
Mn	<0,02	0,08-0,5	1,998	1,909	2,052	1,301
Fe	<0,017		0,095	0,131	0,170	0,226
Zn	<0,013	0,015-0,025	0,012	0,013	0,038	0,015

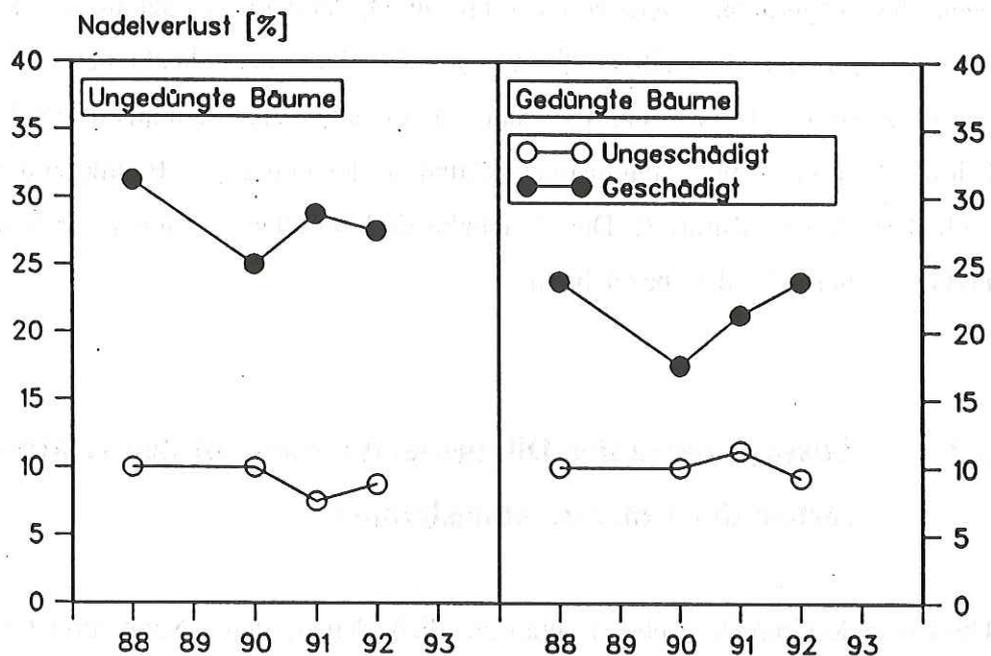
Tab. 1: Mineralstoffversorgung des Jahres 1993 am Standort Leisel, sowie Grenzwerte, abgeschätzt nach HÜTTL (1991) für den diesjährigen Nadeljahrgang; alle Angaben in [mg\*gTG<sup>-1</sup>].

Nach den beigefügten Grenzwerten muß die Mg-Versorgung der ungedüngten Bäume als ausgesprochen mangelhaft, die Variante D+G als noch leicht unterversorgt angesprochen werden. Die Ca- und K-Gehalte sind in allen Varianten ausreichend, wobei sich beim Kalium eine etwas ungünstigere Situation der gedüngten Bäume andeutet (Ca/K-Aufnahme-Antagonismus ?). Die N-Gehalte sind bei allen Varianten mit Ausnahme von D+G als unteroptimal zu bezeichnen.

### **3.2 Auswirkungen der Düngemaßnahmen auf den relativen Nadelverlust der Untersuchungsbäume**

Die folgende Graphik (Abb. 5) veranschaulicht den mittleren Nadelverlust der vier Untersuchungsbäume der vier Varianten nach den Schadansprachen der Jahre 1988, 1990, 1991 und 1992. (In den Jahren 1989 und 1993 wurde keine okulare Schadansprache durchgeführt).

Während bei den ungeschädigten Bäumen praktisch keine Veränderung des Schadenszustandes zu beobachten war, wurde bei den geschädigten Bäumen im Jahr 1990 das geringste Schadausmaß ermittelt. Der mittlere Nadelverlust der geschädigten Bäume stieg in den Folgejahren jedoch praktisch wieder auf das Ausgangsniveau des Jahres 1988 an. Aufgrund der ähnlichen Reaktion beider Düngewarianten erscheint ein ursächlicher Einfluß der Düngemaßnahme auf die Verringerung des prozentualen Nadelverlustes der Bäume der Variante D+G im Jahr 1990 als nicht wahrscheinlich. Weiterhin ist festzustellen, daß die Bäume der Variante D+G von Anfang an einen geringeren mittleren Nadelverlust aufwiesen als die Bäume der Variante D-G. Ein Erfolg der Düngemaßnahme auf den okularen Zustand der gedüngten Bäume kann somit bislang nicht gefunden werden.



**Abb. 5:** Mittlerer prozentualer Nadelverlust der vier Untersuchungsbäume der vier untersuchten Varianten im Verlauf der Jahre 1988-1993. Datenbasis: FVA Rheinland-Pfalz, mündl. Mitteil.

### 3.3 Auswirkungen der Düngemaßnahmen auf biochemische Parameter

Die Reaktion verschiedener biochemischer Indikatoren soll im folgenden anhand dreier Beispiele - dem Gesamt-Chlorophyllgehalt, dem Gesamt-Ascorbatgehalt und der Aktivität des Enzyms PEPC wiedergegeben werden.

Niedrige **Chlorophyllgehalte** der vorjährigen und älteren Nadeljahrgänge sind charakteristisch für Fichten mit dem Symptom der montanen Vergilbung (SIEFERMANN-HARMS 1993; WILD et al. 1993). Standorte mit diesem Schadbild sind zumeist neben einer Belastung mit hohen Ozonkonzentrationen durch niedrige Verfügbarkeit von Mg gekennzeichnet. Infolge einer Mg-betonen Düngung sollte es bei mit Mg mangelversorgten Bäumen zu einer Steigerung des Chlorophyllgehaltes kommen. Die Entwicklung der Chlorophyllgehalte im Verlauf des Untersuchungszeitraums ist in Abb. 6 dargestellt. Die niedrigen Chlorophyllgehalte am 1. Erntetermin 1988 sind durch den frühen Zeitpunkt der Probennahme im Mai bedingt (KÖSTNER et al. 1990). Eine Differenzierung

der Chlorophyllgehalte von gedüngten und ungedüngten Bäumen ist aufgrund der Schwankungen nicht augenfällig. Im ungedüngten Kollektiv waren die Chlorophyllgehalte der geschädigten Bäume seit 1991 durchweg gegenüber den ungeschädigten Bäumen erniedrigt und unterschritten häufig die Marke von  $2 \text{ mg} \cdot \text{gTG}^{-1}$ . Bei den gedüngten Bäumen bestanden zuletzt keine deutlichen Unterschiede zwischen geschädigten und ungeschädigten Bäumen, jedoch wiesen die geschädigten Bäume in den Jahren 1990/91 höhere Chlorophyllgehalte als die ungeschädigten Bäume auf.

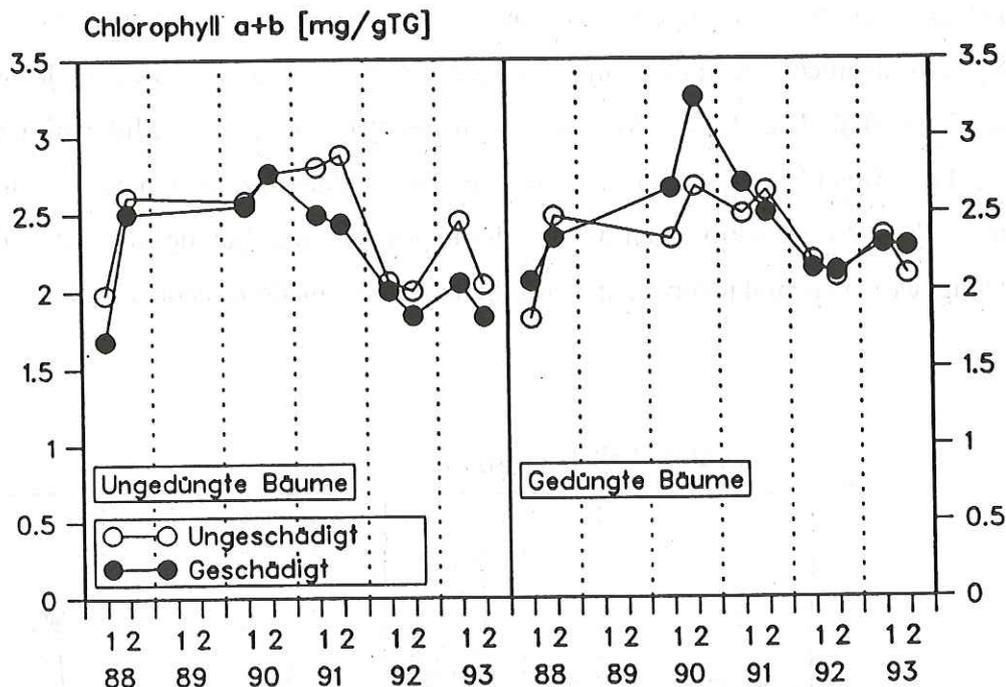
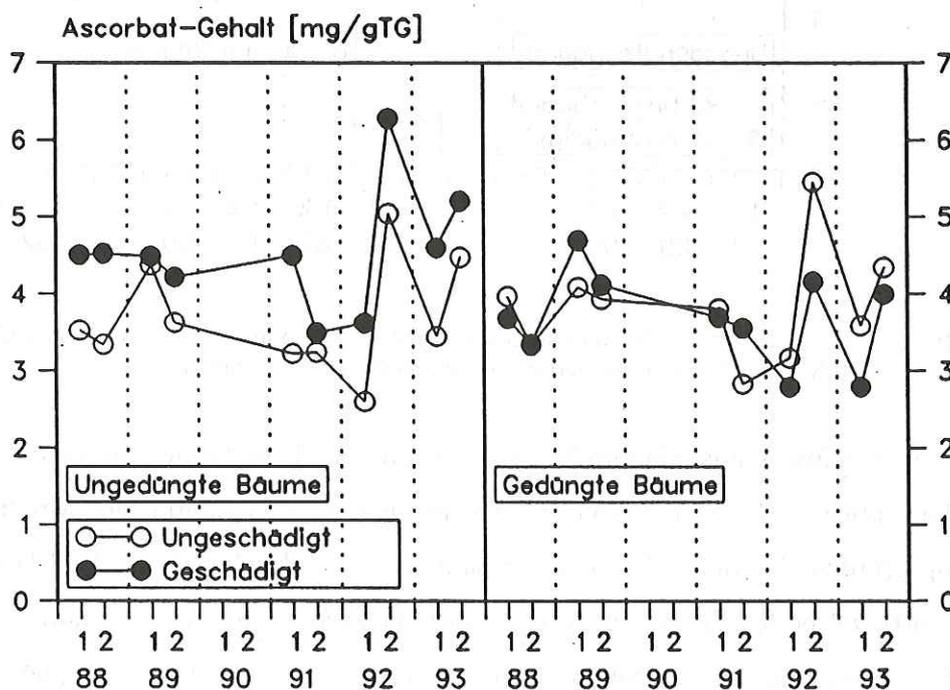


Abb. 6: Entwicklung der Gesamt-Chlorophyllgehalte an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1988 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

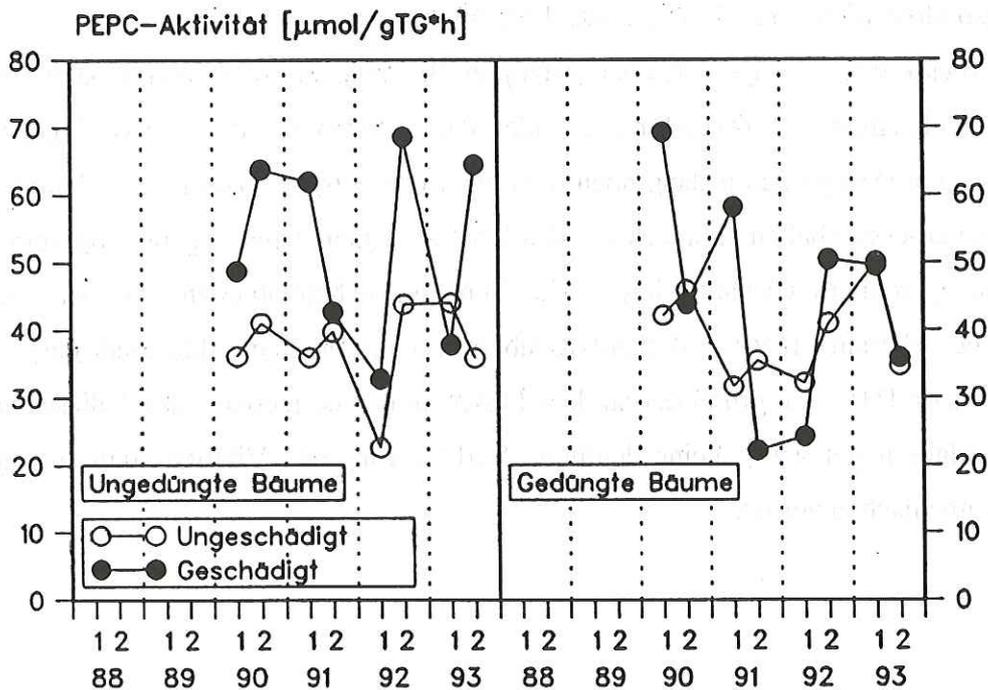
Die **Ascorbinsäure** ist eine im Pflanzenreich ubiquitär verbreitete antioxidativ wirksame Schutzsubstanz. In Nadeln von Fichten mit dem Schadsymptom der Montanen Vergilbung wurden deutlich erhöhte Ascorbatgehalte beschrieben (OSSWALD et al. 1987; SCHMIEDEN & WILD 1994). Mit einer Verbesserung des Mg-Status wäre folglich eine Verringerung des Ascorbatgehaltes zu erwarten. Die Entwicklung des Ascorbatgehaltes der Bäume am Standort Leisel von 1988 bis 1993 ist in Abb. 7 wiedergegeben. Die geschädigten Bäume der ungedüngten Variante weisen im gesamten Untersuchungszeitraum erwartungsgemäß höhere Ascorbatgehalte auf als die ungeschädigten. Bei den gedüngten Bäumen sind die Verhältnisse dagegen weniger eindeutig; in den Jahren

1992/93 sind überraschenderweise die ungeschädigten Bäume durch höhere Ascorbatgehalte gekennzeichnet.

Die Aktivität des Enzyms **Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC)** schließlich stellt einen weiteren biochemischen Indikator für einen Streß auf zellulärer Ebene dar. Im Freiland wurden bei geschädigten Fichten häufig erhöhte PEPC-Aktivitäten beschrieben (TIETZ & WILD 1991). Gesteigerte PEPC-Aktivitäten in gestreßten und geschädigten Pflanzen beruhen auf einem gesteigerten Bedarf an Metaboliten des Citratzyklus vermutlich aufgrund eines gesteigerten Turnovers von Proteinen (Reparaturmechanismen). Abb. 8 veranschaulicht die Entwicklung der PEPC-Aktivitäten ab dem Beginn der Messungen im Jahr 1990. Die PEPC-Aktivitäten sind generell von starken Fluktuationen gekennzeichnet. Dennoch weisen die Nadeln geschädigter Bäume zu den meisten Erntezeitpunkten höhere PEPC-Aktivitäten auf als die ungeschädigter Bäume. Zwischen den beiden Düngevarianten sind jedoch keine auffälligen Unterschiede zu beobachten.



**Abb. 7:** Entwicklung der Gesamt-Ascorbatgehalte an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1988 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

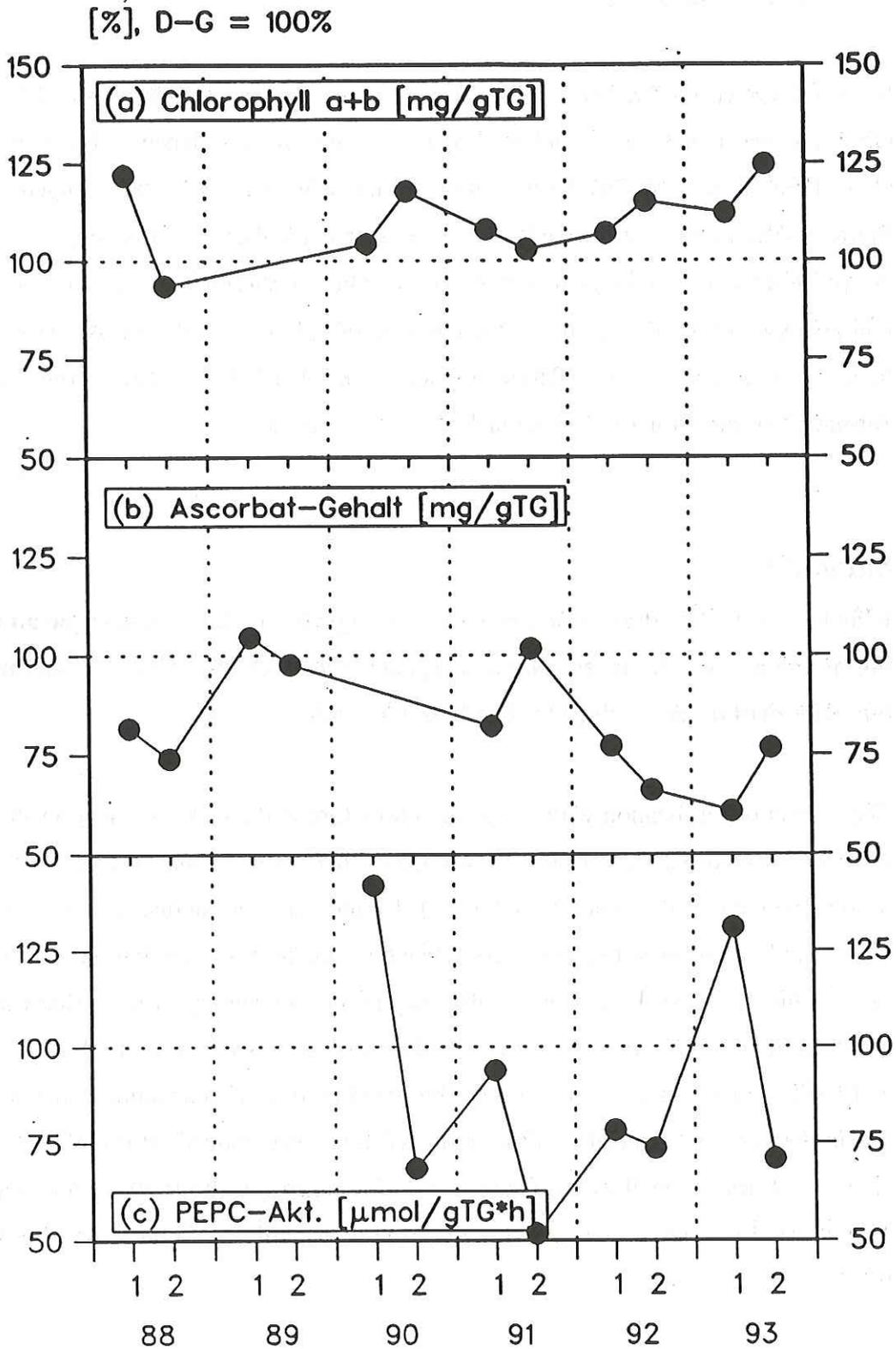


**Abb. 8:** Entwicklung der PEPC-Aktivitäten an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1988 bis 1993, differenziert nach den untersuchten Varianten.

Zur Abschätzung des Düngererfolgs bezüglich der biochemischen Parameter erscheint ein Vergleich der geschädigten Bäume beider Düngevarianten sinnvoller als der Vergleich der ungeschädigten Bäume. Theoretisch sollten insbesondere bei den geschädigten und gedüngten Bäumen infolge der Düngemaßnahme eine Verbesserung des Vitalitätsstatus erfolgen. Im Laufe der Zeit sollte daher die Differenz zwischen den ungedüngten und gedüngten geschädigten Bäumen zunehmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das Kollektiv der geschädigten und gedüngten Bäume unabhängig von der Düngemaßnahme nach ihrem okularen Zustand eine günstigere Ausgangsposition besaß.

Um den Einfluß verschiedener Randbedingungen auszuklammern, ist in der folgenden Graphik (Abb. 9) die Dynamik der drei angesprochenen biochemischen Parameter der Variante D+G relativ zu der zu jedem Erntetermin auf 100% gesetzten Variante D-G aufgetragen.

Der Chlorophyll- und Ascorbatgehalt der Variante D+G liegt dabei zumeist günstiger (höhere Chlorophyll- und niedrigere Ascorbatgehalte) als bei der Variante D-G. Insbesondere trifft dies für die Jahre 1992/93 zu, also die Jahre, in denen eine deutliche Verbesserung des Mg-Status der gedüngten Bäume gegenüber den ungedüngten Bäumen zu beobachten war. Da sich diese beiden Parameter in der Variante D+G gegenüber der Variante D-G jedoch bislang noch nicht über den Ausgangszustand des Jahres 1988 hinaus verbessert haben, läßt sich aus den biochemischen Daten gegenwärtig kein Nachweis einer gesteigerten Vitalität infolge der Düngemaßnahme ableiten. Die PEPC-Aktivitäten in der Variante D+G sind ebenfalls überwiegend günstiger (d.h. niedriger) als die der Variante D-G. Aufgrund der starken Fluktuationen ist jedoch anhand dieses Parameters ebenfalls gegenwärtig keine deutliche Verbesserung des Vitalitätsstatus der gedüngten Bäume nachzuweisen.



**Abb. 9:** Entwicklung (a) des Gesamt-Chlorophyllgehaltes, (b) des Gesamt-Ascorbatgehaltes und (c) der PEPC-Aktivität der Variante D+G relativ zur Variante D-G an den jeweils beiden Ernteterminen der Jahre 1988 bis 1993. Die Werte der Variante D-G sind zu jedem Erntetermin auf 100% gesetzt, die relativen Werte der Variante D+G als Kurvenzug dargestellt.

## 4. Zusammenfassung

Im Zeitraum von 1988 bis 1993 wurden an der Umweltkontrollstation (UKS) Idar-Oberstein an ungedüngten und gedüngten Fichten verschiedenen Schädigungsgrades physiologische und biochemische Untersuchungen durchgeführt. Die Düngemaßnahme führte insbesondere seit dem Jahr 1991 zu einer deutlichen Verbesserung der Mg-Nadelspiegelwerte der gedüngten Bäume. Diese sollten insbesondere bei den geschädigten und gedüngten Bäumen zu einer Vitalitätssteigerung führen. Bislang lassen sowohl okulare, als auch biochemische Parameter noch keine klare Vitalitätssteigerung über das Ausgangsniveau vor der Düngemaßnahme hinaus erkennen.

### Summary

**Effects of a fertilization measure on physiological and biochemical parameters of undamaged and damaged Norway spruce trees at the Umweltkontrollstation (environmental monitoring station) Idar-Oberstein**

The effects of fertilization with magnesium-lime (dolomitic rock powder) on the vitality of 120-years-old Norway spruce (*Picea abies*) trees growing on quartzite were studied during the course of 6 years (1988-1993). Besides nutrient status, several biochemical indicators for cellular stress and damage like the content of total chlorophyll, the content of ascorbic acid and the activity of the enzyme phosphoenolpyruvate carboxylase were assessed in previous year's needles of undamaged and damaged as well as unfertilized and fertilized trees. Two years after the fertilization measure a significant increase of the magnesium content in needles of the fertilized trees was noticed. However, biochemical stress indicators as well as the ocular state of damage (needle loss) do not show clear symptoms of increasing vitality of the fertilized trees until now (four years after fertilization).

*Keywords: Ascorbic acid, chlorophyll, fertilization trial, magnesium deficiency, Norway spruce, phosphoenolpyruvate carboxylase, Picea abies.*

*Schlagwörter: Ascorbinsäure, Chlorophyll, Düngeversuch, Fichte, Magnesiummangel, Phosphoenolpyruvat-Carboxylase, Picea abies.*

## Literatur

EVERS, F.-H. (1986): Die Blatt- und Nadelanalyse als Instrument der Bioindikation. *Allgemeine Forst-Zeitschrift* **41**, 6-9.

HARBORNE, J.B. (1973): *Phytochemical Methods*. London.

HÜTTL, R.F. (1991): Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen* **28**, Freiburg, 440 p.

KÖSTNER, B.; CZYGAN, F.-C.; LANGE, O.L. (1990): An analysis of needle yellowing in healthy and chlorotic Norway spruce (*Picea abies*) in a forest decline area of the Fichtelgebirge (N.E. Bavaria). I. Annual time-course changes in chloroplast pigments for five different needle age classes. *Trees* **4**, 55-67.

OSSWALD, W.F.; SENGER, H.; ELSTNER, E.F. (1987): Ascorbic acid and glutathione contents of spruce needles from different locations in Bavaria. *Z. Naturforsch.* **42c**, 879-884.

SCHMIEDEN, U.; WILD, A. (1994): Changes in levels of  $\alpha$ -tocopherol and ascorbate in spruce needles at three low mountain sites exposed to  $Mg^{2+}$ -deficiency and ozone. *Z. Naturforsch.* **49c**, 171-180.

SIEFERMANN-HARMS, D. (1993): The yellowing of spruce in polluted atmospheres. *Photosynthetica* **27**: 323-341.

TIETZ, S.; WILD, A. (1991): Investigations on the phosphoenolpyruvate carboxylase activity of spruce needles relative to the occurrence of novel forest decline. *J. Plant Physiol.* **137**, 327-331.

WILD, A.; SCHMITT, V. (1995): Diagnosis of damage to Norway spruce (*Picea abies*) through biochemical criteria. *Physiol. Plant.* **93**, 375-382.

WILD, A.; STROBEL, P.; FLAMMERSFELD, U. (1993): Studies of components of the thylakoid membrane of undamaged and damaged spruce trees at different mountain sites. *Z. Naturforsch.* **48c**, 911-922.

### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Aloysius WILD, Dr. Volker SCHMITT, Dr. Ralph SCHEUERMANN  
Institut für Allgemeine Botanik  
Johannes Gutenberg-Universität  
Saarstr. 21  
55099 Mainz

# **Auswirkungen von Dolomit-Kalkung und Kalium-Düngung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität der Krautschicht des Waldökosystems an der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein**

von Willy Werner  
Fachbereich VI/Geobotanik der  
Universität Trier

## **1. Einleitung**

Veränderungen im Artengefüge der Vegetation (Artenzusammensetzung und Massenverteilung) sind in den letzten Jahren durch Eintrag von Luftverunreinigungen in Waldökosysteme hervorgerufen worden (WITTIG et al. 1985, WITTIG & WERNER 1986, WILMANS & BOGENRIEDER 1986, FALKENGREN-GRERUP 1986, 1989, KUHN et al. 1987, ROST-SIEBERT & JAHN 1988, FALKENGREN-GRERUP & TYLER 1991). Als Monitor, um solche Veränderungen zu registrieren, eignet sich am besten die Krautschicht von Wäldern, da sie spontan auf die Umweltbedingungen reagiert und am wenigsten menschlicher Nutzung unterliegt.

Auch nach Kompensationskalkung sind Veränderungen des Artengefüges und der Vitalität der Pflanzen der Krautschicht zu erwarten, denn durch die Kalkung werden die chemischen Bodenbedingungen im Oberboden stark verändert. Dies hat einerseits direkte Auswirkungen auf die Pflanzenernährung, indem die gedüngten Nährelemente im höheren Maße verfügbar sind und aufgenommen werden und andererseits indirekte Auswirkungen, weil durch die Kalkung auch das chemische Milieu der Mikroorganismen beeinflusst wird und somit veränderte Mineralisationsraten zu erwarten sind. Viele Autoren beschreiben für saure Waldböden eine gegenüber basenreichen Böden gehemmte Nitrifi-

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr. 32/1995;106-130  
Die Untersuchungen wurden mit finanzieller Unterstützung der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz durchgeführt. Mein Dank gilt den studentischen Hilfskräften Jutta Busse und Stefan Hausmann, die an der Durchführung des Projektes beteiligt waren.

kation (Zusammenfassung bei ELLENBERG 1977 und BEESE 1986). KRIEBITZSCH (1978), SCHÄFER (1986) und LANG (1986) berichten über enge Beziehungen zwischen zunehmendem Nitrifikationsgrad und steigenden Gehalten an austauschbarem K, Ca und Mg im Boden.

Es ist deshalb zu erwarten, daß durch eine Düngung dieser Elemente die Qualität und vielleicht auch die Quantität des wichtigsten Mineralnährstoffes, des Stickstoffs, beeinflußt wird. Ein Monitoring der Auswirkungen von Kompensationskalkungen muß demnach neben den Veränderungen der Vitalität und des Artengefüges auch die direkt und indirekt veränderten bodenchemischen Bedingungen mit berücksichtigen.

## 2. Material und Methoden

Um die Auswirkung von Kompensationskalkungen auf die Krautschicht der Wälder zu untersuchen, wurde im Hunsrück auf der Umweltmeßstation Idar-Oberstein (Forstrevier Leisel) in einem bodensauren Fichtenforst ein Düngungsversuch auf jeweils 10 m \* 10 m großen Flächen mit folgenden Düngergaben angelegt:

- **Kalk-Gabe (Ca+Mg)** von 3 t/ha Dolomitkalk (Wellener Kalk, Hubschrauberqualität),
- **Kalium-Gabe (K)** von 360 kg Kalium (aufgetragen als  $K_2SO_4$ ),
- **Kalk- und Kalium-Gabe (K+Ca+Mg)** von 3 t/ha Dolomitkalk (Wellener Kalk, Hubschrauberqualität) und 360 kg Kalium (aufgetragen als  $K_2SO_4$ ) sowie
- **Kontrolle (Kon.)** ohne jegliche Düngung.

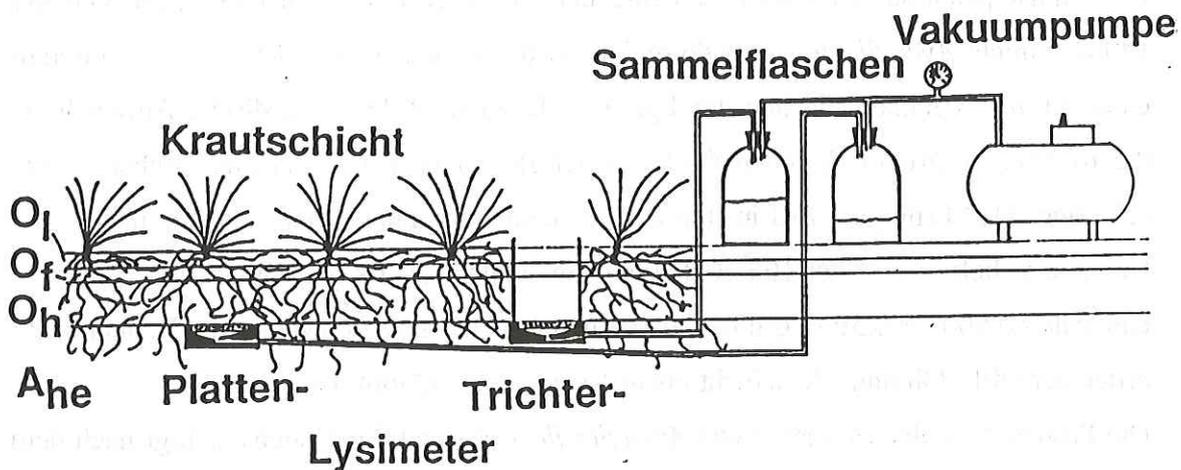
Bei Kalkungsversuchen im Gewächshaus mit Stickstoffzeigern auf Böden aus Fichtenforsten und Buchenwäldern aus Rheinland-Pfalz fiel der Kalium-Mangel des Standortes Idar-Oberstein auf (WERNER 1990). Aus diesem Grunde wurde bei der Anlage eines Kalkungsversuches in Idar-Oberstein auch gleichzeitig die Untersuchung der Auswirkung einer Kalium-Düngung ins Auge gefaßt.

Der Dolomitkalk und das  $K_2SO_4$  wurden trocken auf die Bodenoberfläche aufgebracht.

Auf diesen gedüngten Flächen werden seit 1991 fortlaufend folgende Untersuchungs- und Probenahmemethoden durchgeführt:

- Fortlaufende Gewinnung (mit Ausnahme der Wintermonate) von Bodensickerwasser unterhalb des Ah-Horizontes mit Hilfe von Platten- und Trichterlysimetern (vgl. Abb. 1).
- Kleinräumige Kartierung aller in der Krautschicht vorkommenden Arten zur Charakterisierung des Artengefüges jeweils Anfang August.
- Ernte der oberirdischen Biomasse der dominierenden Krautschichtart *Avenella flexuosa* (Drahtschmiele) jeweils Anfang August zum Zeitpunkt der optimalen Biomasseentwicklung (vgl. EBER in ELLENBERG et al. 1986).
- Zählung der von *Avenella flexuosa* angelegten Halme zur Charakterisierung der generativen Vitalität (jeweils Anfang August).
- Entnahme von Proben aus den Schichten der organischen Auflage und des Ah-Horizontes zur Charakterisierung der Kationenaustauscher-Belegung im Jahr 1991 vor der Kalkung und 1992 und 1993 nach der Ernte der oberirdischen Biomasse der Drahtschmiele.

Bei dem Versuch sollen die eintretenden Veränderungen über mehrere Jahre hinweg beobachtet werden. Dazu ist es notwendig, in gewissen Zeitabständen Boden- und Pflanzenproben zu entnehmen. Da eine solche Entnahme immer mit einer Störung verbunden ist, wurden zwei verschiedene Typen von Flächen pro Düngungsstufe angelegt. Zum einen jeweils eine Fläche, auf der destruktive Methoden zugelassen werden und zum anderen je eine Fläche, die nicht betreten werden darf, sondern auf der lediglich Beobachtungen, Zählungen und die Entnahme von Bodensickerwasser durchgeführt werden.



**Abb. 1:** Unterdruck-Kleinlysimeteranlage bestehend aus Plattenlysimetern (mit Wurzelzutritt) und Trichterlysimetern (vegetationsfrei), Sammelflaschen und Vakuumpumpe (vgl. MEIWES et al. 1984 b). Die Lysimeter sind zwischen Humusauflage und Mineralboden installiert. Aus der Differenz der Ionengehalte der Trichter- und Plattenlysimeter läßt sich die Ionenaufnahme der Pflanzen kalkulieren.

Auf den Dauerbeobachtungspartellen wird weiterhin eine Unterdruck-Kleinlysimeteranlage betrieben, um an der Grenze zwischen Humusauflage - dem Hauptwurzelschicht der Krautschicht - und dem Mineralboden kontinuierlich Bodensickerwasser zu gewinnen, das auf seine ionare Zusammensetzung untersucht wird. Es werden pro Düngungsvariante jeweils fünf Platten- und fünf Trichterlysimeter eingesetzt (Abb. 1). In der Humusauflage oberhalb des Plattenlysimeters haben die Pflanzenwurzeln (auch Baumwurzeln) freien Zutritt zur Bodenlösung. Der Humuskörper der Trichterlysimeter wird vegetationsfrei gehalten, so daß keine Ionenaufnahme durch Pflanzen stattfinden kann. Mit den Trichterlysimetern werden deshalb nur solche Ionenkonzentrationen erfaßt, die mit dem Sickerwasser an den Mineralboden weitergeleitet werden. Aus der Differenz der Ionengehalte beider Lysimetertypen kann die Nährstoffaufnahme der Pflanzen quantifiziert werden.

Im Bodensickerwasser der Platten- und Trichterlysimeter werden fortlaufend im 14-tägigem Abstand die Kationen-Konzentrationen von  $\text{NH}_4$ , K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn und H sowie die Anionen-Konzentrationen von Nitrat, Sulfat und Chlorid mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie (Ca, Mg, Fe und Mn) bzw. der Ionenchromatographie

(NH<sub>4</sub>, K, Nitrat, Sulfat und Chlorid) gemessen. Die H-Ionen-Konzentration im Sickerwasser wird mit einer Einstabglaselektrode festgestellt.

Im August jeden Jahres wird eine Ernte der Biomasse der Krautschicht, die von der Drahtschmiele *Avenella flexuosa* dominiert wird, auf den für die destruktiven Untersuchungen vorgesehenen Flächen durchgeführt. Dazu wird der oberirdische Aufwuchs in 0.5 m \* 0.5 m großen Rahmen direkt an der Bodenoberfläche mit einer Schere abgeschnitten. Das Erntegut wird im Labor per Hand von anhaftender Nadelstreu und von Holzresten befreit und bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen. Unter den 0.50 m \* 0.50 m großen, abgeernteten Flächen wird jeweils eine Bodenmischprobe der Ol/f-, Oh und Ah-Schicht bis in 10 cm Tiefe entnommen.

Die Probenahme der Biomasse von *Avenella flexuosa* und des Bodens erfolgt nach dem Zufallsprinzip. Dazu wurden die jeweils 10 m \* 10 m großen Untersuchungsflächen vor Beginn der 1. Probenahme in 400 0.5 m \* 0.5 m große Raster unterteilt und jedes der Raster numeriert. Mit Zufallszahlengenerator wurden dann 100 Zahlen gezogen, die als Probenahmeflächen von jeweils 25 Wiederholungen pro Jahr für die Jahre 1991-1995 festgelegt wurden. Diese Raster werden dann auf der Fläche eingemessen, die Biomasse geerntet und danach die Bodenproben entnommen. Falls ein Baum oder Baumstumpf auf dem Raster steht, wird keine Probe genommen. Fehlt die Bedeckung mit *Avenella flexuosa*, wird nur die Bodenprobe entnommen. So ist es möglich, daß nicht für alle Untersuchungsjahre 25 Parallelproben vorhanden sind.

Für die chemischen Analysen wird das trockene Pflanzenmaterial staubfein gemahlen. Der Nachweis von K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al und Zn erfolgt nach Aufschluß mit konzentrierter HNO<sub>3</sub> in Druckbomben und anschließender Messung am Atomabsorptionsspektrometer. Die Bestimmung der Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalte geschieht mit einem Elementaranalysator (CHN-Rapid, Heraeus). Die Bodenproben werden auf ihre Kationenaustauschkapazität und Kationenbelegung (K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn und H) mit Hilfe des NH<sub>4</sub>Cl-Perkolationsverfahrens (MEIWES et al. 1984 a) untersucht.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Der gedüngte Dolomitmalk liegt zum größten Teil noch drei Jahre nach der Gabe als Ca- und Mg-Karbonat in den Auflage-Humusschichten fest. Eine Tiefenverlagerung ist kaum festzustellen. Dies kann an der wesentlich höheren effektiven Kationenaustauschkapazität (KAKeff) der Ol/f- und Oh-Schichten sowie einer hohen Ca+Mg-Sättigung des Kationenaustauschers im Vergleich zu den gleichen Schichten auf der Kontrollfläche abgelesen werden, während in den Ah-Horizonten keine Veränderungen hinsichtlich KAKeff und (Ca+Mg)-Belegung festzustellen ist (Abb. 2). Die K-Düngung beeinflusst die K-Sättigung in der Ol/f Schicht kaum, nur in der Oh-Schicht ist ein Anstieg der K-Sättigung zu bemerken.

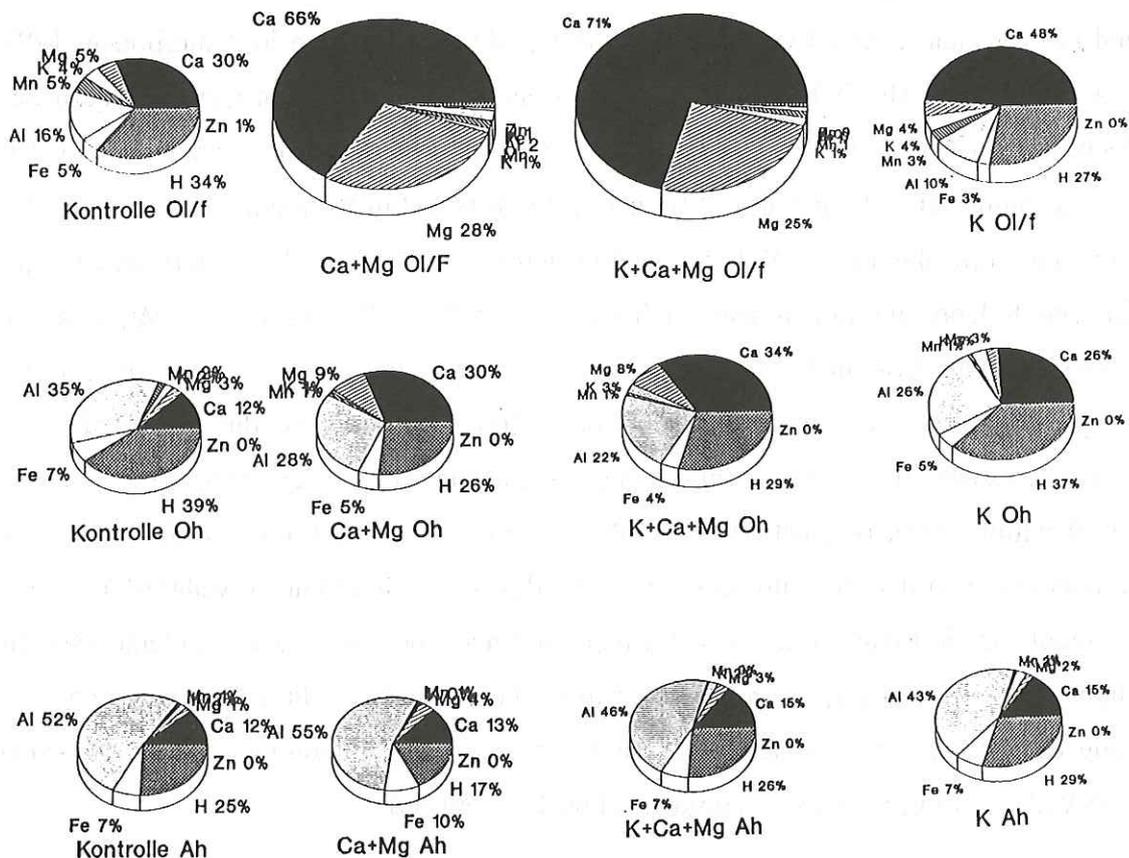


Abb. 2: Vergleich der Kationen-Austauscher-Belegung im Jahr 1992 (zwei Jahre nach der Düngung) zwischen der Kontroll- und den Düngungsvarianten. Der Durchmesser der Kreise der einzelnen Schichten ist proportional zur Größe der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAKeff).

Die K-Konzentrationen der **Bodenlösungen** aus den Trichterlysimetern der Kalium-Düngungsvarianten im Jahr 1991 war gleich nach der Düngung sehr hoch, fiel aber im Verlaufe des Jahres steil ab. Die Kalium-Düngung löste einen Versauerungsschub aus. Direkt nach der Aufbringung sank der pH-Wert der Bodenlösung in den Trichterlysimetern auf Werte unter pH 3 (Kontrolle pH 3.5) und stieg im Jahr 1991 nur langsam wieder auf pH-Werte um 3.5 an. Dieser Versauerungsschub ist dadurch zu erklären, daß durch die Kalium-Düngung die am Austauscher gebundenen Kationen abgetauscht wurden und in die Bodenlösung übertraten (vgl. MATZNER 1985). Da es sich hierbei überwiegend um säurebildende Kationen handelt, ist der Anstieg der H-Ionenkonzentration in der Bodenlösung schlüssig zu erklären. Da die K-Ionen am Kationenaustauscher nicht stark sorbiert werden, nahm ihr Anteil am Austauscher des Oberbodens stetig ab, was gleichzeitig mit einer Abnahme der K-Konzentration in der Bodenlösung einherging. Auch MATZNER (1985) beobachtete nach K-Düngung hohe Verluste durch Auswaschung und nur ein kleiner Anteil verblieb in der austauschbaren Fraktion im Unterboden. 1992 und 1993 zeigt sich die K-Konzentration auf einem wesentlich niedrigerem Niveau, jedoch war noch klar die Abstufung der einzelnen Düngungsstufen zu erkennen. In den Untersuchungsjahren stand den Pflanzen in der K+Ca+Mg-Düngungsstufe und der K-Düngungsstufe das meiste Kalium zur Verfügung, gefolgt von der Kontrolle. Die geringsten K-Konzentrationen wurden immer in der Bodenlösung der Ca+Mg-Variante gemessen. Die Ca- und Mg-Konzentrationen der Bodenlösungen sind in der K-Düngungsvariante am geringsten. In der Ca+Mg-Stufe sind die höchsten Mg-Konzentrationen zu messen, gefolgt von der Kontrolle und der K+Ca+Mg-Stufe. In der Kombinations-Düngungsstufe (K+Ca+Mg) ist im Jahre 1993 ein Anstieg der Mg-Konzentrationen der Bodenlösung der Trichterlysimeter zu erkennen, während das Mg-Angebot für die Pflanzen in der K-Variante und der Kontroll-Variante äußerst schlecht bleibt. Aus dem Anstieg ist zu folgern, daß bei kombinierter Kalium-Düngung und Kalkung das Mg später freigesetzt wird als bei einer reinen Dolomitkalkung, bei der sich eine Verbesserung der Mg-Versorgung schon 1991 einstellte.

	Kontrolle		Ca + Mg		K + Ca + Mg		K	
	Platte	Trichter	Platte	Trichter	Platte	Trichter	Platte	Trichter
1991								
NH <sub>4</sub> -N	1.05	8.92	1.11	9.80	0.96	7.13	0.55	4.46
NO <sub>3</sub> -N	2.19	19.39	2.89	21.46	6.64	12.02	2.09	5.32
Nmin	3.24	28.31	4.00	31.26	7.60	19.15	2.64	9.78
%NO <sub>3</sub>	67.5	68.5	72.3	68.6	87.4	62.8	79.2	54.4
1992								
NH <sub>4</sub> -N	0.64	1.83	0.56	1.54	0.91	1.83	0.41	0.59
NO <sub>3</sub> -N	1.83	13.67	3.60	14.56	4.64	9.09	1.80	6.79
Nmin	2.47	15.50	4.16	16.10	5.55	10.92	2.21	7.38
%NO <sub>3</sub>	74.1	88.2	86.5	90.4	83.6	83.2	81.4	92.0
1993								
NH <sub>4</sub> -N	0.99	1.33	0.57	0.86	0.78	1.52	0.59	0.89
NO <sub>3</sub> -N	8.25	16.03	4.57	19.52	7.83	14.86	0.96	13.80
Nmin	9.24	17.06	5.14	20.38	8.61	16.38	1.55	14.69
%NO <sub>3</sub>	89.3	94.0	88.9	95.8	90.9	90.7	61.9	93.9

**Tab. 1:** Mittlere wöchentliche Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung der Platten- und Trichter-Lysimeter in mg/l

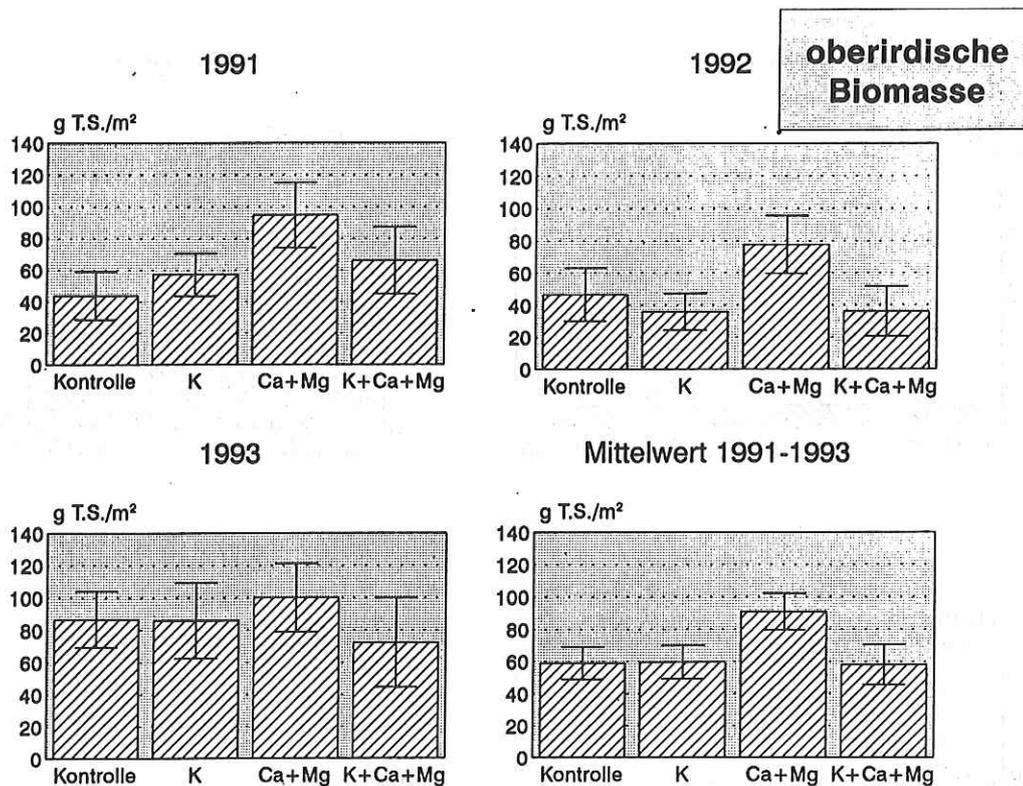
Die Kalkung mit Dolomit (Ca+Mg-Variante) führte zu einem erhöhten N-Angebot in der Humusaufgabe. In allen Untersuchungsjahren wurden in dieser Variante die höchsten Mineralstickstoff (Nmin)-Konzentrationen gemessen (Tab. 1). Die niedrigsten Nmin-Konzentrationen waren in den Bodenlösungen der K-Düngungsvarianten zu finden. Möglicherweise ist durch den Versauerungsschub auch die Aktivität der Mikroorganismen beeinträchtigt worden. Die Stickstoffqualität, d.h. der Anteil von NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N an der Nmin-Konzentration der Trichterlysimeter, war 1991 in der K-Variante zugunsten des Ammoniums verschoben. In den Folgejahren waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngungsvarianten nicht mehr festzustellen (Tab. 1). Betrachtet man die Stickstoff-Aufnahme des Pflanzenbestandes aus der Humusaufgabe (Differenz zwischen den Konzentrationen der Trichter- und Plattenlysimeter), so ist zu erkennen, daß das Nitrat die wichtigere N-Quelle ist (Tab. 2). Nur 1991 scheint in der K-Variante das Ammonium zu überwiegen. Dies ist jedoch 1992 und 1993 nicht mehr festzustellen. Möglicherweise sind die Messungen aus dem Jahr 1991 bedingt durch Störungen (frisch eingebaute Lysimeter und noch ungenügend konditionierte Lysimeterplatten) als Artefakte zu bewerten.

	Kontrolle	Ca + Mg	K + Ca + Mg	K
<b>1991</b>				
NH <sub>4</sub> -N-Aufnahme	7.87	8.70	6.17	3.91
NO <sub>3</sub> -N-Aufnahme	17.20	18.57	5.38	3.23
Nmin-Aufnahme	25.07	27.26	11.55	7.14
%NO <sub>3</sub> -Aufnahme	68.6	68.1	46.6	45.2
<b>1992</b>				
NH <sub>4</sub> -N-Aufnahme	1.22	0.98	0.93	0.31
NO <sub>3</sub> -N-Aufnahme	11.92	10.96	4.45	5.08
Nmin-Aufnahme	13.14	11.94	5.38	5.39
%NO <sub>3</sub> -Aufnahme	90.7	91.8	82.7	94.1
<b>1993</b>				
NH <sub>4</sub> -N-Aufnahme	1.22	0.98	0.93	0.31
NO <sub>3</sub> -N-Aufnahme	11.92	10.96	4.45	5.08
Nmin-Aufnahme	13.14	11.94	5.38	5.39
%NO <sub>3</sub> -Aufnahme	90.7	91.8	82.7	94.1

**Tab. 2:** Mittlere wöchentliche Stickstoffkonzentration (mg/l), die von den Pflanzen aufgenommen wurde.

Die **Biomasse** von *Avenella flexuosa* variiert von Jahr zu Jahr stark. 1993 waren für alle Varianten die höchsten Biomassen festzustellen (Abb. 3). Durch Varianzanalysen ist zu belegen, daß im Mittel in der Ca+Mg-Variante die höchsten Biomassen zu finden sind. Die anderen Varianten lassen sich statistisch nicht differenzieren.

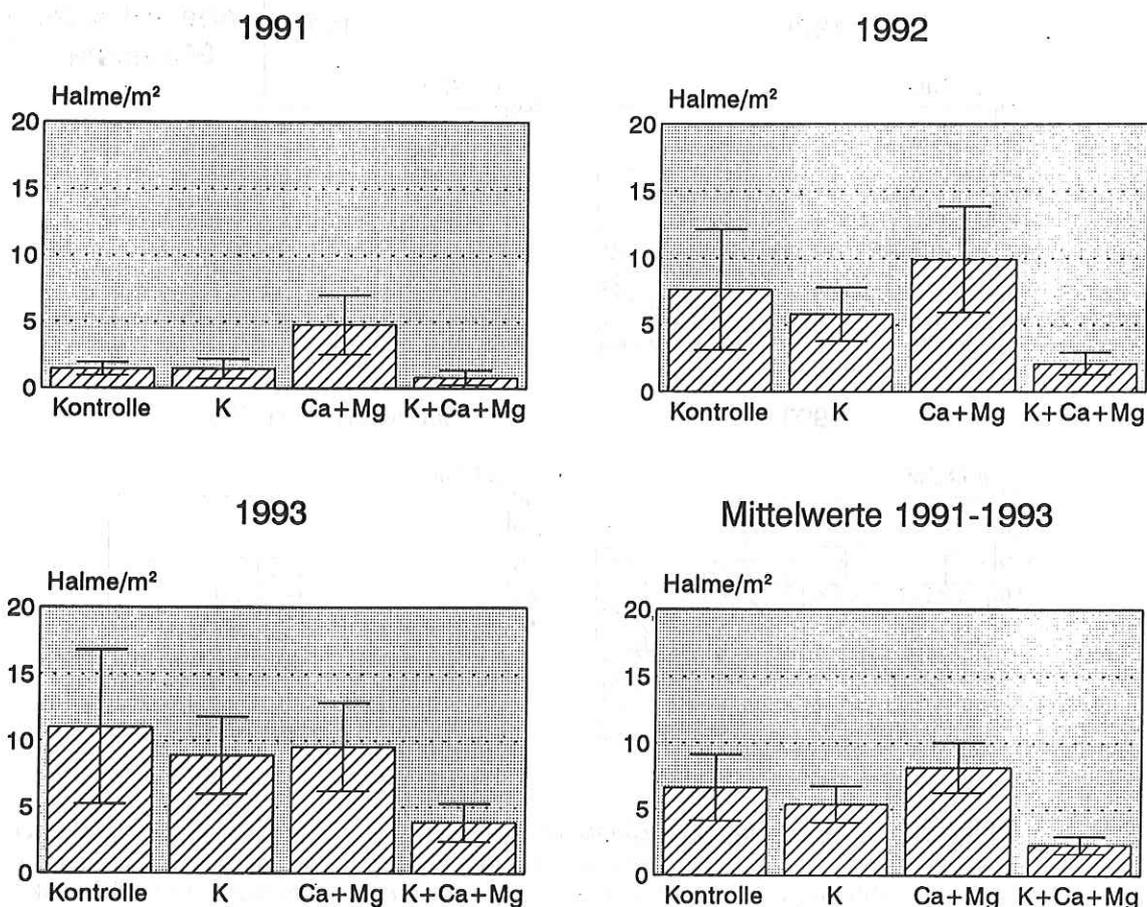
Im Vergleich zu Angaben anderer Autoren ist die oberirdische Biomasse der Drahtschmiele auf dem Standort Idar-Oberstein sehr hoch (Tab. 3). Aus dem im IBP intensiv untersuchten Sauerhumus-Buchenwald im Solling werden wesentlich geringere Biomassen genannt (EBER 1986). Jedoch stimmen die vorliegenden Angaben sehr gut mit den Werten überein, die BLOCK (1993) auf dem gleichen Standort ermittelt hat. Demnach weist der dichte Drahtschmielenrasen Biomassen auf, die in ihrer Größenordnung nur wenig niedriger sind als die Biomassen des Bärlauchs in einem Kalk-Buchenwald (*Allium-Fazies*) im Göttinger Wald (EGGERT 1985). Welcher Standortfaktor zu einer solch hohen Biomasse von *Avenella flexuosa* führt, kann nur spekulativ beantwortet werden. Es ist aber anzunehmen, daß ein hoher Lichtgenuß der Krautschicht im wesentlichen dafür verantwortlich ist.



**Abb. 3:** Oberirdische Biomasse von *Avenella flexuosa* in g TS \* m<sup>-2</sup>. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 25 Stichproben) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

<b>Sauerhumus-Buchenwald</b> EBER (1986)	Solling, B1	max. Biomasse	1969 0.30 g TS*m <sup>-2</sup> 1970 0.34 g TS*m <sup>-2</sup>
<b>Fichtenforst</b> BLOCK (1993)	Idar-Oberstein		min.-max. in 1989
	Kontrolle		64 - 153 g TS*m <sup>-2</sup>
	3 t Dolomitkalk/ha		84 - 127 g TS*m <sup>-2</sup>
	360 kg K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /ha		61 - 116 g TS*m <sup>-2</sup>
<b>WERNER</b> vorliegende Arbeit	Idar-Oberstein		Mittel ± 95 % VB
Untersuchungsjahre	Kontrolle		59.1 ± 10.1 g TS*m <sup>-2</sup>
1991 - 1993	K-Variante		59.7 ± 10.5 g TS*m <sup>-2</sup>
	Ca+Mg-Variante		90.9 ± 11.2 g TS*m <sup>-2</sup>
	K+Ca+Mg-Variante		58.0 ± 12.5 g TS*m <sup>-2</sup>
<b>Allium ursinum</b> Kalk-Buchenwald Allium-Fazies EGGERT (1985)	Göttingen	Mittel	110 g TS*m <sup>-2</sup>

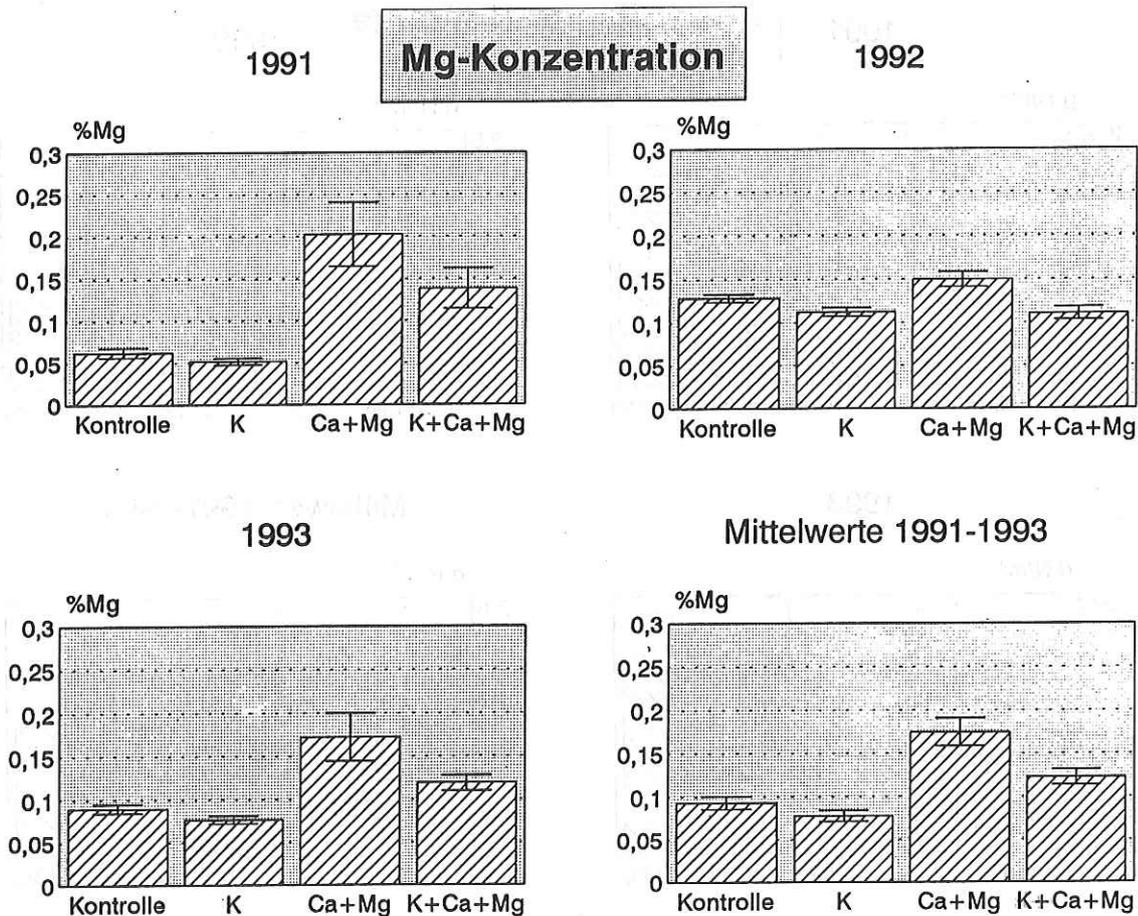
**Tab. 3:** Vergleich der oberirdischen Biomasse von *Avenella flexuosa* mit Angaben anderer Autoren.



**Abb. 4:** Anzahl der Halme pro  $m^2$  von *Avenella flexuosa*. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 20 Teilflächen à 10 m) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

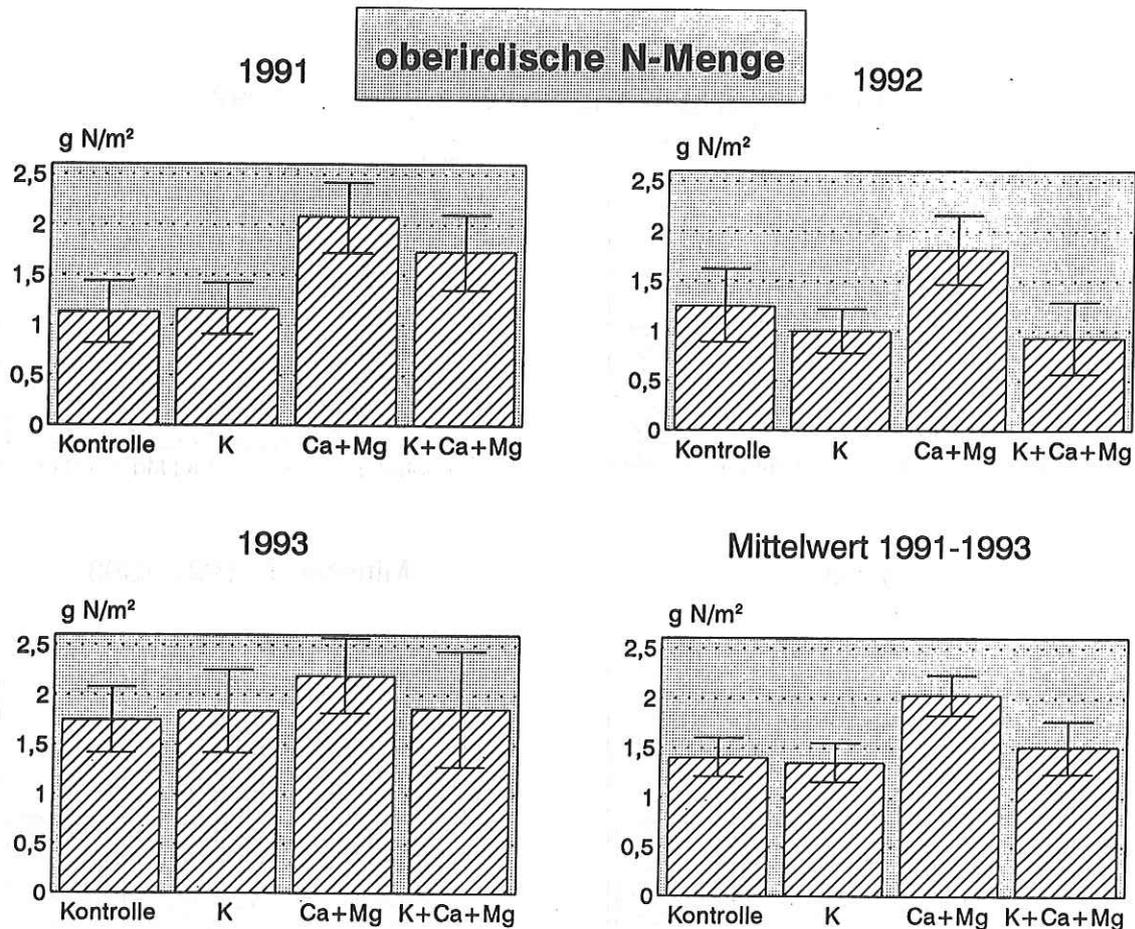
Eine noch höhere Varianz ist in der Zahl der Blütenstände zwischen den Untersuchungsjahren festzustellen (Abb. 4). Jedoch ist auch hier der Trend erkennbar, daß in der gekalkten Variante (Ca+Mg) mehr Blütenstände angelegt werden und damit eine höhere generative Vitalität der Drahtschmiele vorhanden ist als in den anderen Düngungsvarianten. Dieser Effekt ist jedoch nur im Jahr 1991 statistisch abzusichern.

Die Kalkung hat natürlich auch Auswirkungen auf die Pflanzenernährung. Dies ist deutlich an den höheren Magnesiumgehalten in der oberirdischen Biomasse der Drahtschmiele in den gekalkten Varianten im Vergleich zur Kontrolle zu erkennen (Abb. 5) und geht mit der höheren Mg-Sättigung des Kationenaustauschers in der Ol/f und Oh-Schicht einher. Das gleiche trifft auch für die Ca-Gehalte der Drahtschmiele und die Ca-Sättigung des Kationenaustauschers der Humusaufgabe zu. Die höchsten K-Gehalte in der Drahtschmiele sind in den mit Kalium gedüngten Varianten zu finden (K und K+Ca+Mg), die niedrigsten in der Dolomitskalk-Variante (Ca+Mg). Jedoch sind die Gehalte im Jahr 1993 nicht mehr signifikant unterschieden.



**Abb. 5:** Mg-Konzentration in % der Trockensubstanz der oberirdischen Biomasse von *Avenella flexuosa*. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 25 Stichproben) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Die Stickstoff-Konzentrationen der oberirdischen Biomasse von *Avenella flexuosa* sind in allen Düngungsvarianten gleich groß. An der N-Konzentration der Drahtschmiele ist das höhere Stickstoff-Angebot in der Ca+Mg-Variante nicht zu erkennen. Betrachtet man aber die in der oberirdischen Biomasse der Drahtschmiele festgelegte N-Menge, dann tritt die Ca+Mg-Variante hervor (Abb. 6). Das bedeutet, daß das erhöhte Stickstoff-Angebot von der Drahtschmiele ausgenutzt und in eine höhere Biomasse umgesetzt wird.



**Abb. 6:** N-Menge ( $\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}$ ), die in der oberirdischen Biomasse von *Avenella flexuosa* festgelegt ist. Dargestellt sind die Mittelwerte pro Düngungsvariante und Untersuchungsjahr (Mittelwert aus jeweils 25 Stichproben) sowie der Mittelwert über alle Untersuchungsjahre als Balkendiagramm. Die Fehlerbalken geben die 95% Vertrauensbereiche der Mittelwerte an.

Besonders auffällig sind Veränderungen im Artengefüge (Artenzusammensetzung und Massenverteilung) der Krautschicht in den gekalkten Varianten. Auf diesen beiden Flächen tauchen schon seit 1991 vermehrt Keimlinge von Kahlschlagarten (*Epilobium angustifolium* und *Senecio sylvaticus*) auf. Besonders im Jahr 1993 ist das Hinzutreten einiger Stickstoffzeiger wie *Moehringia trinervia* und *Stellaria media* in der Ca+Mg-Variante auffällig, die sonst eher in Unkrautfluren (*Stellaria media*) bzw. in Waldsäumen (*Moehringia trinervia*) beheimatet sind (Tab. 4). Diese Arten treten allerdings nur vereinzelt und in geringer Individuenzahl auf. Auffällig ist jedoch ihre Existenz nur in den gekalkten (Ca+Mg und K+Ca+Mg) Varianten. Das Auftreten dieser Stickstoffzeiger (vgl. Tab. 4) kann in einen Zusammenhang mit der im Jahr 1992 verbesserten Nitratversorgung gebracht werden; ein Durchbrechen der Samenruhe durch die verbesserte Basenversorgung ist auch nicht auszuschließen. Beides ist in den Untersuchungen nicht voneinander trennbar.

Die Veränderungen im Artengefüge der Krautschicht lassen sich auch flächenhaft darstellen (Abb. 7) und demonstrieren so noch eindrucksvoller die eingetretenen Änderungen. Dabei sind zwei wesentliche Aspekte zu unterscheiden:

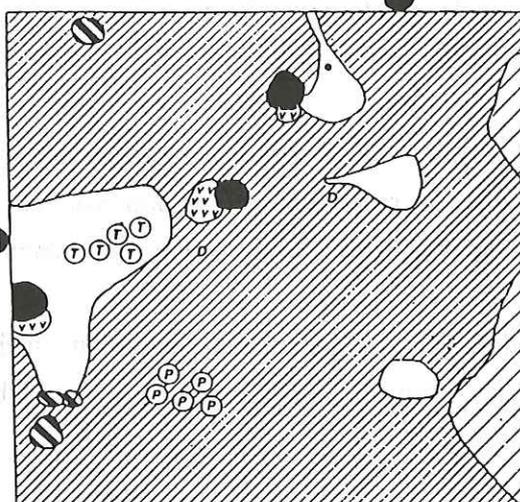
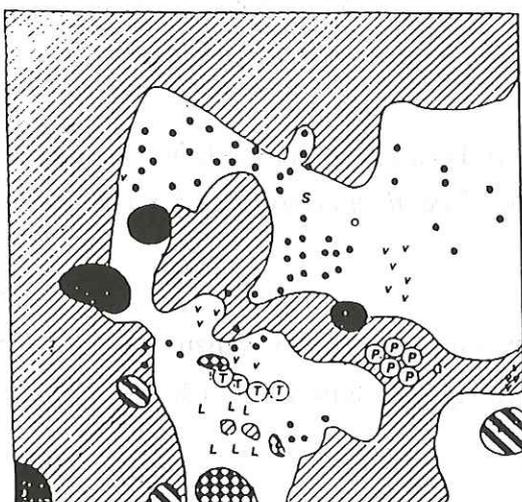
- einerseits treten Populationsschwankungen auf. Dies äußert sich z.B. in einem häufigerem Auftreten von *Galium hircynicum* und *Vaccinium myrtillus*. Dieser Effekt ist auch auf den Kontrollparzellen zu beobachten.
- andererseits treten auf den gekalkten Flächen einige neue Arten hinzu. Das sind vor allem Arten, die auf Kahlschlägen ihr Verbreitungsoptimum haben, nämlich *Epilobium angustifolium* und *Senecio sylvaticus*.

19.8.1991

a

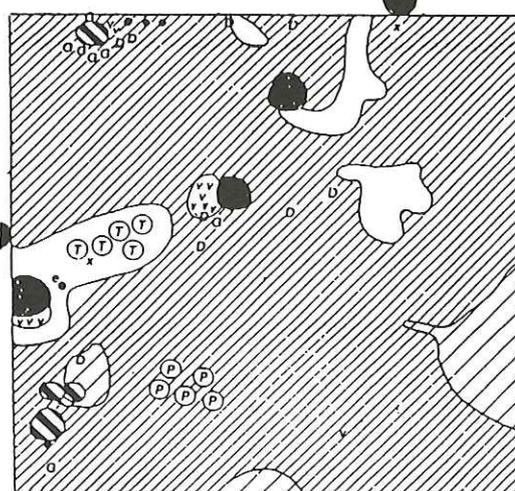
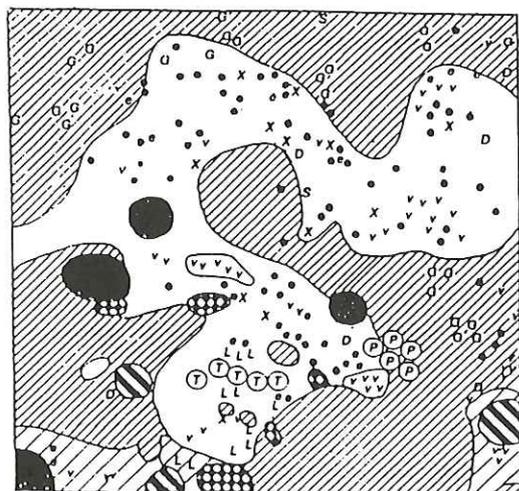
Kalkungsfläche (3 t Dolomitkalk/ha)  
Ca + Mg

Kontrollfläche



0 1 2 m

4.8.1992



D	<i>Dryopteris carthusiana</i>	/ / / / /	<i>Avenella flexuosa</i> (dichter Rasen)
e	<i>Polytrichum formosum</i>	G	<i>Avenella flexuosa</i> (lockerer Rasen)
o	<i>Epilobium ang.</i> Keimling	L	<i>Galium hircynicum</i>
•	<i>Fagus sylvatica</i> Keimling	v	<i>Luzula luzuloides</i>
•	<i>Picea abies</i> Keimling	x	<i>Vaccinium myrtillus</i>
/ / / / /	Baumstamm <i>Picea abies</i>	S	<i>Senecio sylvaticus</i>
Fag.	Baumstamm <i>Fagus sylvatica</i>	(P)	<i>Sorbus aucuparia</i> juv.
▲	<i>Digitalis purpurea</i>	(T)	Lage eines Plattenlysimeters
R	<i>Rubus fruticosus</i> agg.		Lage eines Trichterlysimeters
A!	<i>Agrostis tenuis</i>		

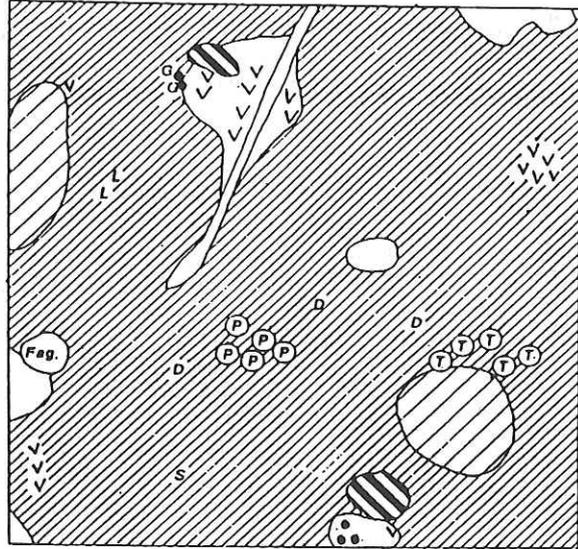
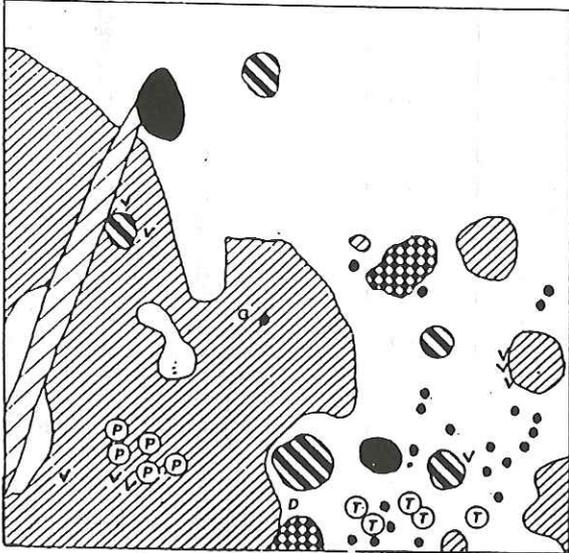
**Abb. 7a:** Vegetationskarten des Kalkungsversuches in den Jahren 1991 und 1992 (aus WERNER 1993).  
Vegetationskarte der gekalkten Variante (Ca+Mg) und der Kontrollfläche (Kontrolle) im Jahr 1991 und 1992

19.8.1991

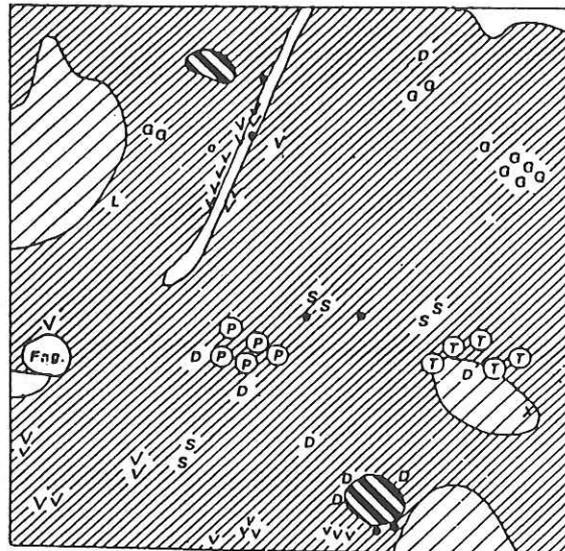
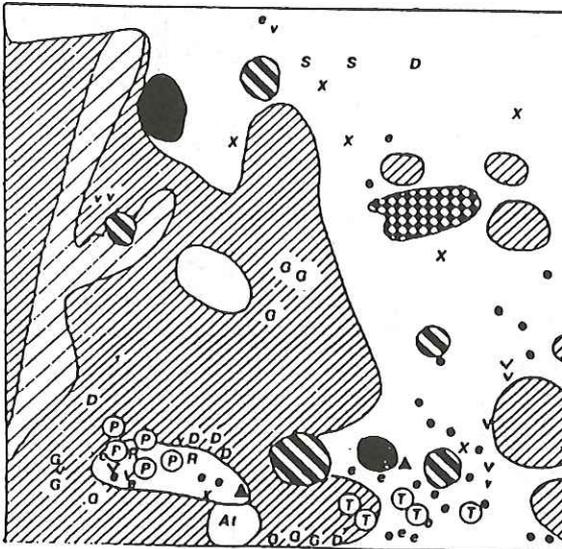
Kaliumdüngung und Kalkung  
(3 t Dolomittkalk/ha + 300 kg K/ha)  
K + Ca + Mg

Kaliumdüngung (300 kg K/ha)  
K

b



4.8.1992



**Abb. 7b:** Vegetationskarten des Kalkungsversuches in den Jahren 1991 und 1992 (aus WERNER 1993).  
Vegetationskarte der mit Kalium (K) und mit Kalk und mit K (K+Ca+Mg) gedüngten Varianten im Jahr 1991 und 1992

a	b	LTKFRN	Artnamen	c														
				Kontrolle		K-Variante		Ca+Mg-Variante		K+Ca+Mg-Variante								
				I	II	I	II	I	II	I	II							
				Jahre	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
6x2x23	Deschampsia flexuosa	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555	555
5x5x23	Vaccinium myrtillus	112	111	112	111	111	112	111	111	112	111	111	111	111	111	111	111	111
4x4x34	Luzula luzuloides	+1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
752523	Galium saxatile	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11
5x3x43	Dryopteris carthusiana	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11	+++	+11
6xxx4x	Sorbus aucuparia juv.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
536xxx	Picea abies Kljg.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
3525xx	Fagus sylvatica Kljg.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3525xx	Fagus sylvatica juv.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8x558	Epilobium angustifolium	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
86358	Senecio sylvaticus	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
453567	Moehringia trinervia	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7x3x44	Agrostis tenuis	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7x5x7	Taraxacum officinale	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7x35x6	Dactylis glomerata	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
86x4x5	Conyza canadensis	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6xxx78	Stellaria media	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Moose:																		
42562	Polytrichum formosum	211	+++	211	+++	211	+++	211	+++	211	+++	211	+++	211	+++	211	+++	211
54542	Dicranella heteromalla	...	+++	...	+++	...	+++	...	+++	...	+++	...	+++	...	+++	...	+++	...

Erläuterung zu den Zeigerwerten (a):

L-Lichtzahl: bewertet die Lichtansprüche der Pflanze (1-Tiefschattenpflanze, 9-Volllichtpflanze)

T-Temperaturzahl: bewertet die Temperaturanforderungen (1-Kältezeiger, 9-Extremwärmzeiger)

K-Kontinentalitätszahl: bewertet das Vorkommen im Kontinentalitätsgefälle (1-eurozeanisch, 9-eukontinental)

F-Feuchtezahl: bewertet die Feuchteansprüche (1-Starktrockniszeiger, bis 12-Unterwasserpflanze)

R-Reaktionszahl: bewertet die Basenansprüche (1- Starksäurezeiger bis 9-Basen- und Kalkzeiger)

N-Stickstoffzahl: bewertet die Stickstoffansprüche (1-Stickstoffmangelzeiger, 9-übermäßig stickstoffreiche Standorte zeigend)

**Tab. 4:** Pflanzensoziologische Tabelle des Düngungsversuches. Sie enthält die Artnamen (b), Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1992) (a) und die Deckungsgrade der Arten geschätzt nach der Skala von BRAUN-BLANQUET (c); I-Fläche für destruktive Methoden, II-Fläche für nicht destruktive Methoden in den verschiedenen Untersuchungs Jahren (1-1991, 2-1992, 3-1993).

#### 4.      **Schlußfolgerungen**

Die Kalkung von 3t Dolomitkalk pro ha führt zu einer Erhöhung der Ca- und Mg-Sättigung des Kationen-Austauschers in den Humusschichten. Da der Kalk schlecht wasserlöslich ist, dauert es ca. 2 bis 3 Jahre, bis sich eine höhere Ca+Mg-Sättigung auch im Ah-Horizont bemerkbar macht. Der Rest des Kalkes liegt in mineralischer Form in den oberen Humusschichten fest. Entsprechend der schlechten Löslichkeit verläuft ein Übertritt in die Bodenlösung nur langsam. Aufgrund seines geringeren Löslichkeitsproduktes geht das Magnesiumkarbonat des Dolomites schneller in Lösung als das Kalziumkarbonat, was sich an dem früheren Übertritt des Magnesiums in die Bodenlösung und an der besseren Mg-Ernährung von *Avenella flexuosa* ablesen läßt.

Die Düngung mit leicht wasserlöslichem Kaliumsulfat führt dazu, daß die K- und Sulfationen sofort in die Bodenlösung übertreten. Dieses hohe K-Angebot führt zur Konkurrenz mit den am Austauscher adsorbierten Ionen und zum Abtausch der vor der Düngung dominierenden, säurebildenden Kationen. Somit wird durch die K-Düngung ein plötzlicher Versauerungsschub ausgelöst. Die nicht sehr fest am Austauscher adsorbierten Kaliumionen werden in die Tiefe verlagert oder ausgewaschen (MATZNER 1985). Eine Erhöhung der K-Sättigung an der Kationenaustauschkapazität ist 2-3 Jahre nach der Düngung nicht mehr feststellbar. Direkt nach der Düngung ist eine hohe K-Konzentration in der Bodenlösung zu finden, welche aber im Laufe des ersten Jahres stetig abnimmt.

Die Kombinationsdüngung aus Kalium und Dolomitkalk führte direkt nach der Gabe auch zu einem Versauerungsschub, dessen Auswirkung jedoch aufgrund der puffernden Wirkung der Dolomitkalkung nicht so gravierend war wie bei der reinen K-Düngung. Bei einem Vergleich der Kalkung und der K-Düngung ist festzustellen, daß die Kalkung wegen der geringeren Wasserlöslichkeit des Kalkes wesentlich nachhaltiger ist.

Die Dolomitkalkung bewirkt weiterhin eine Stärkung der Vitalität der Pflanzen in der Krautschicht. Die Biomasse der dominierenden Art *Avenella flexuosa* nimmt zu, die generative Vitalität wird zumindest in den ersten drei Jahren gesteigert und die Mg- und Ca-Ernährung verbessert, was an den steigenden Konzentrationen in der Biomasse abzulesen ist. Im gleichen Maße wie die Ca- und Mg-Ernährung steigt, wird die K-Versorgung schlechter. Dieser K-Ca-Antagonismus, der bereits von EHRENBERG (1919) beschrieben wurde, führt bei schlecht mit Kalium versorgten Pflanzen mit gesteigerter Kalkzufuhr zu einer geringeren Kaliumaufnahme. Dies ist an den K-, Ca- und Mg-Gehalten in der Biomasse von *Avenella flexuosa* nachzuvollziehen (WERNER 1993, vgl. auch Abb. 5).

Durch den Versauerungsschub, ausgelöst durch die K-Düngung, erleiden die Pflanzen eine Minderung ihrer Wuchsleistung. Dies läßt an der geringeren oberirdischen Biomasse

selbst bei der säuretoleranten Drahtschmiele nachweisen. Die zusätzliche Minderung ihrer generativen Vitalität wird durch eine geringere Halmzahl gekennzeichnet.

Nach der Kombinationsdüngung von Dolomitkalk und Kalium (K+Ca+Mg) ist eine verbesserte Mg-Ernährung, jedoch keine Steigerung der Biomasse und der generativen Vitalität wie bei der reinen Dolomitkalkanwendung (Ca+Mg) in der Krautschicht festzustellen.

Ebenso wichtig wie die verbesserte Mg-Ernährung bei Dolomitkalkung ist die verbesserte N-Versorgung. Die Nitrifikation in stark sauren Waldböden wird auf die Tätigkeit heterotropher Nitrifikanten zurückgeführt (LANG 1986), die allerdings keine so hohe Nitrifikations-Leistung erbringen, wie autotrophe Nitrifikanten. Dies macht sich in sauren Böden durch niedrigere Nitrifikationsraten bemerkbar. Besonders der durch die Kalium-Düngung verursachte Versauerungsschub führte im Jahr 1991 zu einer geringeren Nitrifikationsrate. Durch die Wirkung des Dolomitkalkes können sich andere Arten oder andere Dominanzverhältnisse der Mikroflora herausbilden (vgl. LANG & BEESE 1985), die besser an die basenreicheren Verhältnisse adaptiert sind und eventuell zu einer höheren Nitrifikationsrate oder sogar zu einer höheren Mineralisationsrate führen. Eine Umstrukturierung der Mikroorganismenflora wird auch von anderen Autoren in künstlich angelegten Versauerungsexperimenten diskutiert (TAMM 1976, BÅÅTH et al. 1979, STRAYER & ALEXANDER 1981) und gilt in Bezug auf die Wirkung von Kalkungen und die Nitrifikation in den Humusaufgaben saurer Waldböden als nachgewiesen. Eine Steigerung der N-Mineralisation muß jedoch nicht unbedingt eine zwangsläufige Folge einer Kalkung sein (LANG & BEESE 1985, LANG 1986).

Es stellt sich nun die Frage, ob die verbesserte Vitalität der in der Krautschicht dominierenden Drahtschmiele auf die verbesserte Mg- und Ca-Ernährung zurückzuführen ist oder, ob sie eine indirekte Wirkung des verbesserten N-Angebotes oder beides ist. Eine ertragssteigernde Wirkung ist vor allem vom Stickstoff bekannt (MENGEL 1979).

Das Hinzutreten von Stickstoffzeigern in das Artengefüge der Krautschicht auf den mit Dolomitkalk gekalkten Flächen ist ein Anzeichen für einen veränderten Stickstoffhaushalt. In der Humusaufgabe sind durch die Kalkung mehr Basen verfügbar. Dadurch hat auch die Nitratversorgung zugenommen. Es kommt zur Keimung von Diasporen und zur Entwicklung von Jungpflanzen, die gewöhnlich nicht in der Krautschicht von Fichtenforsten zu finden sind. Jedoch gelangen sie mit Ausnahme von *Senecio sylvaticus* nie in ein Entwicklungsstadium, in dem sie sich generativ vermehren können. Ihre Vitalität ist sehr gering, sie überleben nicht lange und können sich somit nicht langfristig in der Biozönose etablieren. Es ist vermutlich nur der Schwellenwert überschritten, an dem eine Keimungsstimulation erreicht wird, die Lichtverhältnisse in dem geschlossenen Waldbestand sind aber für diese Kahlschlag- oder Grünlandarten so schlecht, daß die Individuen nicht den Energiegewinn erzielen können, den sie für eine Fruktifikation benötigen.

Ein infolge der Kalkung erhöhter Austrag von Stickstoff aus dem Ökosystem in Form von Ammonium oder Nitrat war bislang nicht festzustellen (BLOCK 1994). Der Pflanzenbestand verbraucht den zusätzlich mineralisierten Stickstoff vollständig. Jedoch hat sich das N-Angebot im Oberboden, in dem die Arten der Krautschicht wurzeln, verändert. Für diese Tatsache kann das Auftreten der Stickstoffzeiger als Anzeiger gelten. Stickstoffzeiger haben in der Regel einen höheren N-Bedarf. Deshalb stellt sich die Frage, ob die Krautschicht durch die Veränderung der Artenzusammensetzung in der Lage ist, den mehr mineralisierten Stickstoff aufzunehmen und in ihrer Biomasse festzulegen. Der Anteil der Nettoproduktion der Krautschicht an der Nettoproduktion von Wäldern ist in der Regel gering (vgl. Tab 5). Schätzt man den Anteil der Nettoproduktion der Krautschicht des Fichtenforstes Idar-Oberstein mit Hilfe der relativ hohen Biomasse von *Avenella flexuosa* mit 10 bis 20 g TS\*m<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup> ein, so liegt der Beitrag der Krautschicht an der Gesamtproduktion zwischen 1.2-2.9%, wenn die Netto-Produktion der Baumschicht mit 700-800 g\*m<sup>-2</sup>\*a<sup>-1</sup> angesetzt wird.

		Netto-Produktion [gTS*m <sup>-2</sup> *a <sup>-1</sup> ]		
		Bäume	Krautschicht (KS)	Anteil der KS am ges. Bestand
<b>Sauerhumus-Buchenwald</b> ELLENBERG et al. (1986)	Solling, B1	ca. 1 000	ca. 2.2	0.22 %
<b>Fichtenforst</b> ELLENBERG et al. (1986)	Solling, F1, F2, F3	650-810	nicht untersucht	
<b>Kalk-Buchenwald</b> DONITA (1974)	Göttinger Wald	ca. 1 000	ca. 12	1.2 %
<b>Kalk-Buchenwald (Allium-Fazies)</b> EGGERT (1985)	Göttinger Wald		Kohlenstoff Stickstoff	10-20 % 20-30 %

**Tab. 5:** Nettoproduktion der Baumschicht und der Krautschicht und der prozentuale Anteil der Krautschicht an der Nettoproduktion von Waldökosystemen.

Berechnet man den Anteil der Krautschicht an bestimmten Bioelementen am Gesamtbestand dieses Elementes in der Phytomasse, so kann sich der Anteil der Krautschicht erhöhen, wenn in ihr dieses Element in höherem Maße akkumuliert wird als in der Baumschicht. Dies trifft z.B. für den Stickstoff zu. EGGERT (1985) gibt für die Krautschicht eines Kalk-Buchenwaldes (Allium-Fazies) einen Beitrag von 20-30% an dem ökosystemaren Stickstoffumsatz der Streu an. Da die Biomasse und sicherlich auch die Produktion der Krautschicht des bodensauereren Fichtenforstes niedriger einzuschätzen ist, wird auch der Beitrag der Krautschicht am N-Umsatz geringer sein. Selbst bei einem höheren Anteil von Arten, die einen größeren N-Bedarf haben (Stickstoffzeigern) wird sich der

Beitrag der Krautschicht an dem N-Umsatz der Phytomasse kaum über 30% steigern. Es ist deshalb nur schwer vorstellbar, daß bei einer Erhöhung des N-Bedarfs der Krautschicht aufgrund des Auftretens von Stickstoffzeigern eine bessere Ausnutzung und Festlegung des durch die Kalkung freigesetzten Nitrates erreicht wird.

Vielmehr ist aus den vorliegenden Untersuchungen abzuleiten, daß das Auftreten von N-Zeigern in der Krautschicht nach einer Kalkung ein verändertes N-Angebot anzeigt. In solchen Fällen ist zu fordern, daß Austragsmessungen des Stickstoffs im Sickerwasser des Ökosystems vorgenommen werden, um festzustellen, ob Nitrat ausgewaschen wird.

## 5. Zusammenfassung

Um die Auswirkungen von Dolomitmalkung und Kalium-Düngung auf die Krautschicht eines bodensauren Fichtenforstes zu untersuchen, wurde im Jahr 1990/91 auf der Umweltkontrollstation Idar-Oberstein ein Düngungsversuch angelegt. Dazu wurden 10 m \* 10 m große Flächen abgegrenzt und mit 3 t/ha feingemahlten Dolomitmalk (Ca+Mg), 360 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ha (K) und einer Kombinationsdüngung aus 3 t Dolomitmalk/ha und 360 kg K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ha (K+Ca+Mg) behandelt. Bei dem Versuch soll das Artengefüge der Krautschicht, die Biomasse der dominierenden Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*), deren Ernährung mit Mineralstoffen und die Veränderung der bodenchemischen Parameter über mehrere Jahre beobachtet werden, um einen Zusammenhang zwischen diesen Größen aufzuzeigen. Um Störungen durch die Probenahme auf das Artengefüge zu vermeiden, wurden je Düngungsvariante eine Fläche, auf der destruktive Methoden zugelassen werden und eine Fläche, auf der lediglich Beobachtungen und Zählungen durchgeführt werden, angelegt.

Der zugeführte Dolomitmalk liegt zwei Jahre nach der Ausbringung zu einem großen Teil in mineralischer Form in der Ol und Of Schicht vor. Eine Erhöhung der (Ca+Mg)-Sättigung ist nur bis in den Oh-Horizont zu beobachten. Die Kalium-Düngung führte zu einem Versauerungsschub und zu erhöhten K-Konzentrationen in der Bodenlösung, die nach der Düngung kontinuierlich sanken.

Hinsichtlich der Biomasse und der Ausbildung von Blütenorganen der Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*) waren auf der gekalkten Fläche die höchsten Werte zu messen, während bei der K- und der Kalk-Kalium-Düngung geringere Werte zu finden waren.

Die Kalkung hat direkte Auswirkungen auf die Pflanzenernährung, die an den deutlich höheren Magnesiumgehalten in der oberirdischen Biomasse der Drahtschmiele abzulesen sind, sowie indirekte Auswirkungen, wie ein erhöhtes Nitratangebot und eine höhere Nitrataufnahme durch den Pflanzenbestand.

Diese für die Vitalität des Pflanzenbestandes förderlichen Aspekte der höheren Biomasse und der besseren Mg- und Stickstoff-Versorgung sind jedoch in Verbindung mit Veränderungen des Artengefüges der Krautschicht zu sehen. Das Auftreten von Stickstoffzeigern in den gekalkten Varianten (Ca+Mg und K+Ca+Mg), ist als Indikator für einen verbesserten Stickstoffhaushalt der Krautschicht zu werten. Es müßte deshalb auf weiteren gekalkten Waldflächen untersucht werden, ob das Auftreten von N-Zeigern in der Krautschicht dieser Wälder ein geeigneter Anzeiger ist, um das Risiko einer erhöhten Nitrifikationsrate und möglicher Nitrat auswaschung nach Kalkung zu beurteilen.

## Summary

### **Effects of dolomite liming and potassium fertilization on the uptake of nitrate, growth and vitality of the herb vegetation in the forest ecosystem at the monitoring plot IDAR- OBERSTEIN**

A fertilizing experiment with lime and potassium application was established in 1990 in a spruce forest on acid soil in the Hunsrück mountains (Idar-Oberstein). The 10 m x 10 m large plots were fertilized with 3 t/ha ground magnesium rich lime (dolomite), 360 kg/ha potassium (given as potassium sulphate) and a combination of 3 t/ha lime and 360 kg/ha potassium.

The aim of the investigation is to survey over time:

- changes in the ion concentration of the soil solution (especially ammonium and nitrate) in the humus layer with the aid of lysimeters.
- changes in vitality (biomass and „reproductive effort“ by means of numbers of inflorescences) and nutrition state of the dominant species *Deschampsia flexuosa*,
- changes in species composition of the herb layer, in the sequence of several years.

To avoid disturbances of species composition in the cause of sampling, two plots for each fertilizing treatment were established. One for destructive sampling methods like plant harvesting methods and soil sampling and the other for recording methods like species composition, counting of inflorescences and sampling of soil solution with lysimeters.

Liming increased the nitrification rate in the humus layer. Mineralized nitrogen was fully taken up by plants, as indicated by the lack of nitrate in seepage water and the higher

nitrogen amount of *Deschampsia flexuosa* biomass, compared with the plot without liming.

In limed plots the vitality of *Deschampsia flexuosa* was higher, indicated by increasing biomass and the trend of increasing numbers of inflorescences. Liming had also a direct influence on increasing magnesium contents of *Deschampsia flexuosa*.

Fertilizing with potassium sulphate caused an acidification of soil solution in response to application and a decrease of biomass and inflorescences of *Deschampsia flexuosa*.

Species composition changed markedly. This could be observed by the germination of some nitrogen indicators like *Epilobium angustifolium*, *Senecio sylvaticus*, *Stellaria media*, *Dactylis glomerata*, which have their main phytosociological distribution in clear cutting communities (Epilobietea), weed- and grassland communities. Most of the approaching species grew poorly, did not flower probably because of lack of light. None of these species was able to establish and most individuals died within the vegetation period. The germination of nitrogen indicators is related to changes in nitrogen and base budget within the upper soil layers.

*Keywords: forest fertilizing, liming, herb layer, species composition, permanent plots, nitrogen mineralization*

*Schlagwörter: Walddüngung, Kompensationskalkung, Krautschicht, Artengefüge, Dauerquadrat, Stickstoffnachlieferung*

## 6. Literatur

BÅÅATH, E.; LUNDGREN, B.; SÖDERSTRÖM, B., (1979): Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 23, 737-740

BEESE, F., (1986): Parameter des Stickstoffumsatzes in Ökosystemen mit Böden unterschiedlicher Acidität. Göttinger Bodenkundl. Berichte 90, 344 S.

BLOCK, J. (1993): Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen. Mitteilung aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz 24/93, 287 S.

BLOCK, J., (1994): Stoffbilanzen ungekalkter und gekalkter Teilareale der Waldökosysteme an den Umwéltkontrollstationen Merzalben und Idar-Oberstein. Mitteilung aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, gleiches Heft

DONITA, N. (1974): Die oberirdische Biomasse eines Kalkbuchenwaldes bei Göttingen (B.R.D.), Rev. Roum. Biol. 19, 151-157.

EBER, W., (1986): Jahresrhythmus und Produktion der Kraut- und Moosschicht. In ELLENBERG H., MAYER R. & SCHAUERMANN J. 1986: Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986, 127-136.

EGGERT, A., (1985): Zur Ökologie der Krautschichtvegetation in einem Bärlauch-Kalkbuchenwald. Diss. Universität Göttingen 222 S.

EHRENBERG, P., (1919): Das Kalk-Kali-Gesetz. Berlin (Parey).

ELLENBERG, H., (1977): Stickstoff als Standortfaktor, insbesondere für mitteleuropäische Pflanzengesellschaften. Oecol. Plant. 12(1), 1-22

ELLENBERG, H.; WEBER, H.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W.; PAULIßEN D.; (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica XVIII, 2. Aufl. 258 S.

FALKENGREN-GRERUP, U.; (1986): Soil acidification and vegetation changes in deciduous forests in southern Sweden. Oecologia 70, 339-347.

FALKENGREN-GRERUP U. 1989: Soil acidification and its impact on ground vegetation. Ambio 18, 179-183.

FALKENGREN-GRERUP U. & TYLER G. 1991: Dynamic floristic changes of swedish beech-forest in relation to soil acidity and stand management. Vegetatio 95, 149-158.

KRIEBITZSCH W.U. 1978: Stickstoffnachlieferung in sauren Waldböden Nordwestdeutschlands. Scripta Geobotanica 14, 66 S.

KUHN N., AMIET R. & HUFSCHEID N. 1987: Veränderungen in der Waldbodenvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 158, 77-84.

LANG E. 1986: Heterotrophe und autotrophe Nitrifikation untersucht an Bodenproben von drei Buchenstandorten. Göttinger Bodenkundl. Berichte 89, 199S.

LANG E. & BEESE F. 1985: Die Reaktion der mikrobiellen Bodenpopulation eines Buchenwaldes auf Kalkungsmaßnahmen. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 43, 1166-1169.

MATZNER E. 1985: Auswirkungen von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in zwei Waldökosystemen im Solling. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 43, 1143-1147.

MEIWES K.J., KÖNIG N., KHANA P.K., PRENZEL J. & ULRICH B., 1984 a: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen 7, 1-67.

MEIWES K.J., HAUHS M., GERKE H., ASCHE N., MATZNER E. & LAMMERS-DORF N. 1984 b: Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen - Konzept und Methodik. Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben, Göttingen 7, 68-139.

MENGEL K. 1979: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 5. Aufl. Stuttgart, New York (G. Fischer), 465 S.

ROST-SIEBERT K. & JAHN G. 1988: Veränderung der Waldvegetation während der letzten Jahrzehnte - Eignung zu Bioindikation von Immissionswirkungen? *Forst und Holz* 43, 75-81.

SCHÄFER H. 1986: Streuabbauverzögerung durch Akkumulation von Schadstoffen in Buchenwäldern. *Verh. Ges. Ökol.* XIV, 309-318

STRAYER, R.F. und ALEXANDER, M. (1981): Effects of simulated acid rain on glucose mineralization and some physicochemical properties of forest soils. *J. Environ. Qual.* 10(4), 460-465

TAMM, C.O. (1976): Acid precipitation: Biological effects in soil and forest vegetation. *Ambio* 5, 235-238

WERNER W. 1990: Wirkung von Kalkung auf das Wachstum und die Vitalität von Eutrophierungs- und Ruderalisierungszeigern in der Krautschicht von Wäldern. Ergebnisbericht für die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, 65 S.

WERNER W. 1993: Wirkung von Kalium-Düngung bei Kalkung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität von Stickstoff-, Kalk- und Säurezeigern in der Krautschicht von Wäldern. Forschungsbericht für die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, 142 S.

WILMANS O. & BOGENRIEDER A. 1986: Veränderungen der Buchenwälder des Kaiserstuhls im Laufe von vier Jahrzehnten und ihre Interpretation - Pflanzensoziologische Tabellen als Dokumente. *Abh. Landesmuseum Naturkde. Münster/Westf.* 48 (2-3), 55-88.

WITTIG R. & WERNER W. 1986: Beiträge zur Belastungssituation des Flattergras-Buchenwaldes der Westfälischen Bucht. - Eine Zwischenbilanz. *Düsseldorfer Geobot. Kolloq.* 3, 33-70.

WITTIG R., BALLACH H.-J. & BRANDT C.J. 1985: Increase of number of acid indicators in the herb layer of the Millet Grass Beech-Forest of the Westphalian Bight. *Angew. Bot.* 59, 219-232.

Anschrift des Verfassers: Dr. habil. Willy WERNER  
Universität Trier  
Fachbereich VI/ Geobotanik  
54286 Trier

## **Berichte und Veröffentlichungen zu Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz**

### **Kronenzustand**

FRAUDE, H.-J., SOMMER, U., HEIDINGSFELD, N. (1985): Ergebnisse der Schadansprache auf den Beobachtungsflächen des Sondermeßprogramm Wald. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 40. Jg., Nr. 25/26, 626-628.

FRAUDE, H. J., (1987): Zur Anzahl der Nadeljahrgänge der Waldkiefer - Untersuchungen im Rahmen der Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz. *Der Forst- und Holzwirt*, 42. Jg., 415-417.

FRAUDE, H. J., (1988): Entwicklung der Benadelung der Waldkiefer von 1985 bis 1987 auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. *Forst und Holz*, 43. Jg., Nr. 15, 373-379.

SCHRÖCK, H.W., (1994): Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. - Entwicklung und Einflußfaktoren -. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 28/94, 229 Seiten und Anhang.

SCHRÖCK, H.W., (1995): Zusammenwirken natürlicher und anthropogener Streißfaktoren. (Langzeitbeobachtungen des Kronenzustandes auf Dauerbeobachtungsflächen). *Allgemeine Forstzeitschrift*, 50. Jg., Nr. 2/1995, 91-94

### **Mykologische Untersuchungen**

ARENDHOLZ, Dr. W.-R. (1987, 1988): Berichte zur Untersuchung von Nadelstreuproben auf Pilzbefall. Sachstandsberichte zur Methode und Diskussion der bisherigen Ergebnisse (unveröffentlicht).

### **Bodenzustand**

ZOTH, R.; BLOCK, J. (1993): Untersuchung des Standes und der Entwicklung der Bodenversauerung und des Nährstoffgehaltes in Waldgebieten anhand von Bodendauerbeobachtungsflächen. Schlußbericht zum EG-Forschungsvorhaben Nr. 90.60 DL.012.0, 71 Seiten und Anhang (unveröffentlicht).

## **Bodenvegetation**

WERNER, W. (1990): Wirkung von Kalkung auf das Wachstum und die Vitalität von Eutrophierungs- und Ruderalisierungszeigern in der Krautschicht von Wäldern. Ergebnisbericht, 65 S. (unveröffentlicht).

WERNER, W. (1993): Wirkung von Kalium-Düngung bei Kalkung auf die Nitratausnutzung, das Wachstum und die Vitalität von Stickstoff-, Kalk- und Säurezeigern in der Krautschicht von Wäldern. Abschlußbericht, 143 S. (unveröffentlicht).

ZOLDAN, J.-W. (1989): Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen und Kartierung der Waldbodenvegetation in ausgewählten Waldbeständen des Landes Rheinland-Pfalz. Abschlußbericht mit Methode und Ergebnisdarstellung (unveröffentlicht).

## **Flechtenkartierung**

JOHN, V. (1988): Flechten der Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. Abschlußbericht mit Methode und Ergebnisdarstellung (unveröffentlicht).

## **Morphologische, physiologische und biochemische Untersuchungen**

- Diplomarbeiten, Dissertationen und Berichte zu Untersuchungen der Arbeitsgruppe WILD an den Umweltkontrollstationen Idar-Oberstein (Düngeversuch Leisel) und Merzalben (Düngeversuch Merzalben).-

### **1. Diplomarbeiten**

BALTES, R. (1991): Vergleichende Untersuchungen zum Gehalt an Polyaminen in Fichtennadeln, Buchen- und Eichenblättern im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

ENGEL, Ch. (1993): Vergleichende Untersuchung von gekalkten und ungekalkten Eichen (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) am Standort Merzalben; Meßgrößen: Glutaminsynthetase (GS), NADH-Glutamatdehydrogenase (GDH) und lösliche Proteine. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

FELDMANN, R. Ch. (1989): Untersuchung des Phenolgehaltes verschiedener Pflanzenspecies unter besonderer Berücksichtigung unterschiedlich stark geschädigter Fichten. Vergleich und Optimierung der dazu geeigneten Methoden. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

GILL, J. (1991): Untersuchungen zur Aktivität der Gesamtperoxidasen (POD) und der Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) bei unterschiedlich geschädigten und unterschiedlich belasteten Waldbäumen. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

HEPPE, K. (1994): Aspekte (Gehalt, Leaching, Rückverlagerung) des Mineralstoffhaushaltes von Fichten (*Picea abies*), Tannen (*Abies alba*), Buchen (*Fagus sylvatica*) und Eichen (*Quercus petraea*) unter Berücksichtigung der neuartigen Waldschäden. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

LOEWEN, U. (1992): Vergleichende Untersuchungen zum Gehalt an Ascorbat und Polyaminen in Fichtennadeln, Buchen- und Eichenblättern im Zusammenhang mit den "Neuartigen Waldschäden". Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

MAX, B. (1993): Untersuchung zur saisonellen Dynamik des Kohlenhydratgehaltes in einjährigen Asttrieben von Traubeneichen (*Quercus petraea*) im Zusammenhang mit den Neuartigen Waldschäden. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

MERGEL, Th. (1991): Untersuchungen zum Mineralstoffgehalt und zur Kationenauswaschung von Laub- und Nadelblättern. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

RIEMER, S. (1993): Untersuchungen über den Gehalt an Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette (P-700, Cytochrom f, Q<sub>B</sub>-Protein) bei Fichten und Eichen verschiedener Freilandstandorte. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

SCHNEIDER, S. (1991): Untersuchungen zur Aktivität des Enzyms Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) bei unterschiedlich geschädigten Fichten und Eichen. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

SIMON, A. (1993): Untersuchungen zum Mineralstoffgehalt in Nadeln und Blättern von Fichte (*Picea abies*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*) mittels AAS. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

STROBEL, P. (1989): Untersuchungen über den Gehalt von Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette (P-700, Cytochrom f, Q<sub>B</sub>-Protein) bei unterschiedlich geschädigten Fichten verschiedener Freilandstandorte. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

ZIMMER, C. (1990): Vergleichende Untersuchungen zum Gesamt-Ascorbinsäuregehalt und zur Aktivität der Katalase unterschiedlich geschädigter Freilandfichten (*Picea abies* (L.) Karst.). Diplomarbeit, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

## 2. Dissertationen

KLEINER, R.E.J. (1994): Untersuchung des Stickstoffstoffwechsels an Fichten (*Picea abies*), Buchen (*Fagus sylvatica*) und Eichen (*Quercus petraea*) im Zusammenhang mit dem Auftreten Neuartiger Waldschäden. Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

ROSENKRANZ, Th. (1991): Schutzsysteme gegen reaktive Sauerstoffspezies - Untersuchungen an Freilandfichten zur physiologischen Diagnostik "Neuartiger Waldschäden". Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

SCHEUERMANN, R.D. (1992): Vergleichende Untersuchungen der Chlorophyllfluoreszenz bei Buchen (*Fagus sylvatica*), Eichen (*Quercus petraea*) und Fichten (*Picea abies*) im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

STROBEL, P. (1993): Vergleichende Untersuchung zum Photosyntheseapparat an Fichten und Eichen unterschiedlicher Freilandstandorte im Zusammenhang mit den Neuartigen Waldschäden. Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

YANG, Ch. (1994): 1-Aminocyclopropan-1-carboxylsäure (ACC) und ihr Malonylkongugat (MACC): Vergleichende Untersuchungen an geschädigten und ungeschädigten Fichten und Buchen. Dissertation, Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

## 3. Berichte

WILD, A.; SCHMITT, V. (1992): Untersuchung der Auswirkungen einer Kalkungsmaßnahme auf physiologische und biochemische Parameter unterschiedlich geschädigter Fichten. Forschungsendbericht. Mainz (unveröffentlicht).

## Luftschadstoffmessungen

BLOCK, J. (1995): Luftschadstoffbelastung rheinland-pfälzischer Waldökosysteme. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 50. Jg., Nr. 2/1995, 85-87.

BORCHERT, H. (1986): Preliminary Results and Experiences with a new In-Situ-Measurement System of Rainfall Acidity in Forest Areas. In: GEORGII (Editor): Atmospheric Pollutants in Forest Areas. 165-176.

BORCHERT, H. (1987): Ferntransport von SO<sub>2</sub> über Rheinland-Pfalz. In: H.G. KÄMPF (Hrsg.): Aktuelle Probleme und Lösungsbeiträge zum Umweltschutz, Contex-Verlag, 6063 Obertshausen, 67-75.

BORCHERT, H. (1989): Fortlaufende Messungen von Luftschadstoffen in den Waldgebieten von Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 44. Jg., Nr. 35/36, 945-948.

BORCHERT, H. (1993): Der Eintrag von Luftschadstoffen in die Waldgebiete von Rheinland-Pfalz S. 5-21 in: Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Ministerium für Umwelt. 167 S.

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND GEWERBEAUF SICHT (Hrsg.): Monatsberichte über die Meßergebnisse des Zentralen Immissionsmeßnetzes - ZIMEN - für Rheinland-Pfalz, seit 1/84 fortlaufend.

### **Depositionsmessungen**

BLOCK, J., (1990): Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984-1989. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 14/90, 45 Seiten und Anhang.

BLOCK, J., (1993): Entwicklung der Schadstoffeinträge in Wäldern. S. 22-26 in: Waldschäden, Boden- und Wasserversauerung durch Luftschadstoffe in Rheinland-Pfalz. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Ministerium für Umwelt. 167 S.

### **Wasserhaushalts- und Bioelementbilanzierung**

BLOCK, J., (1993): Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngung . Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 24, 287 S.

BLOCK, J. (1995): Wo bleibt der Radiocäsium-Fallout in Waldökosystemen? *Allgemeine Forstzeitschrift*, 50. Jg., Nr. 2/1995, 97-100.

MANDERSCHIED, B. (1991): Schlußbericht zu dem Pilotprojekt Umweltkontrollstation (UKS) der FVA Rheinland-Pfalz. Interner Schlußbericht zur Wasserhaushaltssimulation an der UKS, 168 S. (unveröffentlicht).

### **Sonstiges**

BLOCK, J.; FRAUDE, H.J.; HEIDINGSFELD, N.; BOCKHOLT, B.; BORCHERT, H.; FINGERHUT, M., (1987): Sondermeßprogramm Wald - Zwischenbericht über die Untersuchungsergebnisse 1983 bis 1986. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 3, 74 S.

BLOCK, J.; HEIDINGSFELD, N.; SCHRÖCK, H.W.; BOCKHOLT, B.; BORCHERT, H.; FINGERHUT, M., (1991): Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr.16, 133 S.

GEIPEL, M. (1990): Zustandserfassung des Feinwurzelsystems eines Eichenbestandes mit Buchen-Unterstand auf Buntsandstein im Pfälzerwald. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Stuttgart, 110 Seiten und Anhang.

GREWING, C. (1992): Biogeographische Untersuchung zur Versauerung ausgewählter Quellen im Pfälzerwald - Vergleich und Bewertung chemisch-physikalischer Ökosystemfaktoren im Jahresverlauf -. Diplomarbeit, Fachrichtung Biogeographie, Universität des Saarlandes, 92 S.

REWITZER, P. (1992): Biogeographische Untersuchung zur Versauerung ausgewählter Quellen im Pfälzerwald - Biozönotische Struktur und deren Abhängigkeit von Umweltfaktoren -. Diplomarbeit, Fachrichtung Biogeographie, Universität des Saarlandes, 96 S.

MÜHLHAUS, B. (1985): Sondermeßprogramm Wald - Konzept, Kosten, Entwicklungstendenzen - *Allgemeine Forstzeitschrift*, 40. Jg., Nr. 25/26, 656-658.

Bisher sind folgende Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz erschienen:

1/1987	Jahresbericht 1984-1986 ISSN 0931 - 9662	
2/1987	BLOCK, STELZER: Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
3/1987	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, FRAUDE, HEIDINGSFELD: Sondermeßprogramm Wald (SMW) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
4/1987	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
5/1988	Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
6/1988	Jahresbericht 1987 ISSN 0931 - 9662	
7/1988	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
8/1988	GERECKE: Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz ISSN 0931 - 9662	DM 30,--
9/1989	Jahresbericht 1988 ISSN 0936 - 6067	
10/1989	HEIDINGSFELD: Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 25,--
11/1989	BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN: Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur Wipfelköpfung der Fichte ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
12/1989	Jahresbericht 1989 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
13/1990	SCHÜLER: Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun - angelegt 1959 - heute noch aktuell? ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
14/1990	BLOCK: Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984 - 1989 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
15/1990	Jahresbericht 1990 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
16/1991	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD, SCHRÖCK: Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983 - 1989 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is essential for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent data collection procedures and the use of advanced analytical techniques to derive meaningful insights from the data.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in data management and analysis. It discusses how modern software solutions can streamline data collection, storage, and processing, thereby improving efficiency and accuracy.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to mitigate these risks and ensure that the data remains reliable and secure throughout its lifecycle.

5. The fifth part of the document discusses the importance of data governance and the role of a dedicated team or department in overseeing data management practices. It emphasizes the need for clear policies and procedures to guide data handling and ensure compliance with relevant regulations.

6. The sixth part of the document explores the benefits of data-driven decision-making and how it can lead to improved organizational performance. It provides examples of how data analysis has been used to identify trends, optimize processes, and make strategic decisions.

7. The seventh part of the document discusses the future of data management and the emerging trends in the field. It highlights the growing importance of artificial intelligence, machine learning, and big data in shaping the future of data management.

8. The eighth part of the document provides a summary of the key points discussed and offers recommendations for organizations looking to improve their data management practices. It emphasizes the need for a holistic approach that integrates data management with overall organizational strategy.

9. The ninth part of the document includes a list of references and sources used in the document. It provides a comprehensive list of books, articles, and other resources that provide further information on the topics discussed.

10. The tenth part of the document is a conclusion that summarizes the main findings and reiterates the importance of data management in the modern business environment. It expresses the hope that the document will provide valuable insights and guidance to organizations seeking to optimize their data management practices.

17/1991	BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD, ZOTH: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
18/1991	SCHÜLER, BUTZ-BRAUN, SCHÖNE: Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
19/1991	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionsschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
20/1992	Jahresbericht 1991 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
21/1992	AUTORENKOLLEKTIV Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
22/1992	Jahresbericht 1992 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
23/1993	HEIDINGSFELD: Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden ISSN 0931 - 9662	DM 18,--
24/1993	BLOCK: Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
25/1994	WIERLING: Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes	DM 12,--
26/1994	Jahresbericht 1993 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
27/1994	OESTEN, ROEDER: Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
28/1994	SCHRÖCK: Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
29/1994	FISCHER: Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz ( <i>Pseudotsuga Menziesii</i> (Mirb.) Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen	DM 12,--
30/1994	SCHÜLER: Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988 bis 1992 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
31/1995	Jahresbericht 1994 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	

100

THE HISTORY OF THE UNITED STATES OF AMERICA

101

CHAPTER I. THE DISCOVERY OF AMERICA

102

SECTION I. THE EARLY DISCOVERERS

103

SECTION II. THE VOYAGE OF COLUMBUS

104

SECTION III. THE SETTLEMENTS

105

SECTION IV. THE STRUGGLE FOR INDEPENDENCE

106

SECTION V. THE CONSTITUTION

107

SECTION VI. THE UNION

108

SECTION VII. THE CIVIL WAR

109

SECTION VIII. THE RECONSTRUCTION

110

SECTION IX. THE PRESENT

111

SECTION X. THE FUTURE