Aus Natur und Landschaft im Saarland

Auswirkungen von
Luftverunreinigungen auf
Fichtenwaldökosysteme
im Saarland

mit Beiträgen von Christoph Horras und Martin Paulus

Schriftenreihe "Aus Natur und Landschaft im Saarland"

zugleich

Abhandlungen der DELATTINIA 17/1987

Herausgegeben vom Minister für Umwelt, Raumordnung und Bauwesen des Saarlandes und der DELATTINIA – Arbeitsgemeinschaft für tier- und pflanzengeographische Heimatforschung im Saarland e.V.

Abh. DELATTINIA	17 1–181	Saarbrücken 1987	ISSN 0344-645x
-----------------	----------	------------------	----------------

SCHRIFTLEITUNG DR. HARALD SCHREIBER

DRUCK:
OFFSETDRUCKEREI UND VERLAG
CHR. ESCHL
BEETHOVENSTRASSE 5
6683 SPIESEN-ELVERSBERG

VERLAG: EIGENVERLAG DER DELATTINIA FACHRICHTUNG BIOGEOGRAPHIE UNIVERSITÄT DES SAARLANDES 6600 SAARBRÜCKEN 11

ERSCHEINUNGSORT: SAARBRÜCKEN

Inhalt

	Seite
Beziehungen zwischen den Makronährstoffen Magnesium, Kalzium, Kalium und Schwefel in Fichtennadeln und Waldschadsymptomen im Saarland	
von Christoph Horras	5
Immissionsbedingte Veränderungen von Arthropodenzönosen in saarländischen Fichtenbeständen	
von Martin Paulus	93



BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN MAKRONÄHRSTOFFEN MAGNESIUM, KALZIUM, KALIUM UND SCHWEFEL IN FICHTENNADELN UND WALDSCHAD-SYMPTOMEN IM SAARLAND

von

Christoph HORRAS



Inhalt		Seite
1.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	9
2.	METHODEN	10
2.1	Wahl des Untersuchungsobjektes	10
2.2	Wahl des Untersuchungsgebietes	11
2.3	Festlegung der Probenahmestandorte	11
2.4	Alter der beprobten Fichtenbestände	12
2.5	Auswahl der Probebäume	12
2.6	Probenahmeverfahren	12
2.7	Beschreibung der Standorte und der Schadsymptome	14
2.7.1	Beschreibung der Probenahmestandorte	14
2.7.2	Beschreibung der Schadsymptome	14
2.7.2.1	Schädigungen am Stamm	14
2.7.2.2	Schädigungen der Krone bzw. der Äste	15
2.7.2.3	Schädigungen der Nadeln	16
2.7.2.4	Beschreibung des Probeastes	17
2.8	Analyseverfahren	19
2.8.1	Probenvorbereitung	19
2.8.2	Aufschlußverfahren	19
2.8.2.1	Aufschluß zur Schwefelanalyse	19
2.8.2.2	Aufschluß zur Analyse von Mg, Ca und K	19
2.8.3	Analysemethoden	19
2.8.3.1	Schwefelanalyse	19
2.8.3.2	Analyse von Mg, Ca und K	20
2.8.3.3	Meßwertabsicherung der AAS-Analysen	20
2.9	Statistische Auswertung	21
2.9.1	Korrelationsanalysen	22
2.9.2	Multivariate Verfahren	22
3.	KURZBESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	23
4.	ERGEBNISSE	26
4.1	Verteilung der Schadsymptome im Kronenraum	26
4.2	Beziehungen zwischen den Makronährstoffen und	
	Schadsymptomen	27
4.2.1	Magnesium	27
4.2.2	Charakterisierung der Magnesiummangelbäume	32

4.2.3	Kalzium	32
4.2.4	Kalium	32
4.2.5	Charakterisierung der chlorotischen Fichten	34
4.2.6	Schwefel	36
4.3	Beziehungen zwischen den Konzentrationen der	
	untersuchten Nährstoffe	37
4.4	Verbreitung der analysierten Nährstoffgehalte	37
4.5	Beziehungen zwischen den untersuchten Schadsymptomen	41
4.6	Verbreitung der Schadsymptome	50
4.7	Ergebnisse der Clusteranalyse	64
4.8	Ergebnisse der Schwerpunktstandorte	67
5.	DISKUSSION	73
6.	ZUSAMMENFASSUNG	79
7.	LITERATURVERZEICHNIS	80
	Anhang: Aufnahmebögen Schwerpunktstandorte	88

1. EINFÜHRUNG UND FRAGESTELLUNG

Seit Mitte der siebziger Jahre sind in Mitteleuropa neuartige Waldschäden weit ab von industriellen Ballungsräumen fast gleichzeitig aufgetreten und haben sich seitdem ständig weiter ausgebreitet und verstärkt. Neuartig sind die weite geographische Verbreitung der Schadsymptome, das nahezu gleichzeitige, nur um wenige Jahre verschobene Auftreten der Schäden an mehreren Baumarten sowie das rasche Fortschreiten und das lange Anhalten der Erkrankung (BMFT 1985 b). Die komplexe Natur dieser Walderkrankung zeigt sich darin, daß trotz intensiver Forschung seit nunmehr fast einem Jahrzehnt die Ursache dieser "neuartigen Waldschäden" nicht eindeutig geklärt werden konnte. Der Verdacht einer wesentlichen Beteiligung von Luftverunreinigungen im komplexen Wirkungsgeschehen dieser emittentenfernen Walderkrankung hat sich jedoch ständig weiter erhärtet.

"Um neuartige Schäden richtig beurteilen zu können, müssen klar abgegrenzte Symptome mit bekannten Ursachen in der Differenzialdiagnostik gesondert erfaßt werden" (Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen in BMFT 1985 b). Der RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN für UMWELTFRAGEN (1983) schlägt hierzu eine Abtrennung der klassischen Immissionsschäden (Rauchschäden) mit ihren seit mehr als einem Jahrhundert bekannten Schadbildern und Wirkungszusammenhängen (vgl. STOCKHARDT 1850, VAN HAUT & STRATMANN 1970, DÄSS-LER 1981, WENTZEL 1985) und forstpathologisch und standortskundlich bekannten emittentenfernen Waldschäden (vgl. SCHWERDTFEGER 1970) vor. Zur Erfassung direkter Immissionsbelastung, insbesondere durch Schwefeldioxid und Fluorwasserstoff, wurde von KNABE (1981) die Immissionsökologische Waldzustandserfassung entwickelt, auf die in der vorliegenden Arbeit in modifizierter Form zurückgegriffen wurde.

Als maßgeblich mitwirkender Faktor der "neuartigen" Waldschäden konnte die Nährstoffunterversorgung der geschädigten Bäume, vor allem der Elemente Magnesium und Kalzium, ermittelt werden (vgl. EVERS 1981, PRINZ et al. 1982, BOSCH et al. 1983, REHFUESS 1983 a, b, ZECH & POPP 1983, ZÖTTL & MIES 1983, BAULE 1984, BUCHNER & ISERMANN 1984, HÜTTL & ZÖTTL 1985, ZÖTTL & HÜTTL 1985). Neben Nadelverlusten treten bei den "neuartigen" Waldschäden typische Vergilbungen auf der Oberseite sonnenexponierter Zweige der Fichte in den Hochlagen der Mittelgebirge (Hochlagenerkrankung der Fichte) auf, die ZÖTTL & MIES (1983), ZECH & POPP (1983) und BOSCH et al. (1983) auf Magnesiummangel zurückführen konnten.

Gestützt auf diesen Kenntnisstand soll die vorliegende Arbeit Anworten auf die folgenden Fragen liefern:

- Sind im Saarland die Symptome der sogenannten Hochlagenerkrankung der Fichte zu beobachten
- Welche Waldschadenssymptome der Fichte treten im Saarland auf und wie sind sie verbreitet
- Welche Beziehungen bestehen zwischen den untersuchten Waldschadenssymptomen und den analysierten N\u00e4hrstoffgehalten
- Inwieweit existiert ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der einzelnen Schadsymptome im Untersuchungsraum
- Bestehen Zusammenhänge zwischen den Schadsymptomen bzw. Nährstoffgehalten und dem geologischen Untergrund, dem Grad der Exponiertheit, der Höhenlage und dem Alter der untersuchten Waldbestände
- Wie hoch liegt die Schwankungsbreite der N\u00e4hrstoffgehalte innerhalb der einzelnen Untersuchungsstandorte bzw. im gesamten Untersuchtungsraum
- Inwieweit ist eine Typisierung der Schädigung anhand der erhobenen Daten möglich

Die Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachrichtung Biogeographie der Universität des Saarlandes im Jahr 1984 im Freiland und 1985 im Labor durchgeführt.

Danksagung

Hiermit möchte ich allen, die am Zustandekommen dieser Arbeit beteiligt waren, meinen Dank aussprechen.

In erster Linie danke ich meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. rer. nat. P. Müller, für die Überlassung des Themas, wertvolle Hinweise und die bereitwillige finanzielle Unterstützung, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Herrn Dr. W. Flacke danke ich für die Einführung in die Bedienung der Rechenanlage und für die Hinweise zur statistischen Auswertung der Daten.

Weiterhin möchte ich Dr. G. Wagner und Ing. G. Altmann sowie dem Laborpersonal für die Hilfe bei den chemischen Analysen meinen Dank aussprechen.

Der Forstverwaltung des Saarlandes, inbesondere FOR G. Kalbhenn, danke ich für die Genehmigung der Untersuchung und die Einsicht in forstliche Standortskarten.

Mein besonderer Dank gilt allen Freunden und Kommilitonen, die mich bei meiner Freilandarbeit unterstützt haben.

2. METHODEN

2.1 Wahl des Untersuchungsobjektes

Die Fichte (*Picea abies*) stellt in der Bundesrepublik Deutschland, wie auch im Saarland, die flächenmäßig und ökonomisch bedeutenste Baumart dar (vgl. Wald- und Forstwirtschaft im Saarland, AFZ 1983), obwohl sie im Saarland nicht auf autochtonen Standorten vertreten ist. (vgl. WALTER & STRAKA 1970).

Neben Tanne (Abies alba Mill.) und Kiefer (Pinus silvestris L.) war die Fichte (Picea abies Karsten) 1983 mit 41% Schadensanteil eine der am stärksten von Waldschäden betroffenen Baumarten. Da die Fichte die absolut größte Schadensfläche einnimmt, und sich eine stetige Zunahme des Schadensausmaßes erkennen läßt, bot sie sich als Untersuchungsobjekt in Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit an.

DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1983) empfiehlt in seinem Gutachten "bei der Erfassung der Waldschäden nach Schadbildern, Standortbedingungen und (vermuteten) Ursachen einen Schwerpunkt bei der Fichte zu setzen."

Die Fichte (*Picea abies* Karsten) eignet sich zur Bioindikation von Luftschadstoffen (RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN 1983), da ihre Reaktionen auf Immissionen als Ausdruck der Standortbelastung verstanden werden kann (Umweltbericht Saarbrücken 1978/1979).

Im Rahmen der Immissionsökologischen Waldzustandserfassung (vgl. KNABE 1981, STRE-LETZKI, H.W. 1983, HEIDINGSFELD 1985) benutzt man die Fichte als Akkumulationsindikator zur Feststellung des Schadstoffgehaltes in ein- und zweijährigen Nadeln und zum passiven Monitorring durch Ermittlung der Anzahl der Nadeljahrgänge am siebten Astquirl.

"Der Ernährungszustand der Bäume ist am besten durch Nadelanalysen erkennbar. Vergleichende Analysen des Ernährungszustandes können daher zum Aufdecken der Wirkungskette, die zu Waldschäden führen, beitragen" (ZÖTTL & HÜTTL 1985).

Zur Bestimmung der Makronährstoffe bei Nadelbäumen werden im allgemeinen einjährige Nadeln (ZECH & POPP 1983, ZÖTTL & HÜTTL 1985) bzw. zur Bestimmung von akkumulierten Luftschadstoffen ein- und zweijährige Nadeln (KNABE 1981 und WAGNER, G. 1985) verwendet.

Da in der vorliegenden Untersuchung insbesondere die äußere Verfärbung der Nadeln mit den Nährstoffgehalten in Beziehung gesetzt werden soll, solche Verfärbungen jedoch vor allem an älteren Nadeljahrgangen auftreten (u. a. ZÖTTL & HÜTTL 1985, eigene Voruntersuchungen) wurde der dritte Nadeljahrgang für die Untersuchung gewählt, da hier bereits Schadsymptome zu erwarten sind (vgl. Schadbeschreibung), jedoch noch in allen Fällen Nadelmasse in ausrei-

chendem Maße für die Analysen zur Verfügung steht.

An zwei ausgewählten Standorten (vgl. Kap. 4.8.) wurden alle vorhandenen Nadeljahrgänge auf Mg, K und Ca hin analysiert. HÜTTL & ZÖTTL (1985) unterstreichen die Forderung, neben Nadeln des ersten Quirls zum Nachweis mangelhafter Ernährung auch die einzelnen Nadeljahrgänge an älteren Zweigen zu untersuchen.

Die Probenahme erfolgte in Anlehnung an das Verfahren zur "Immissionsökologischen Waldzustandserfassung" (KNABE 1981) am siebten Astquirl. Auf dieses standardisierte Verfahren wurde zurückgegriffen, da wegen der häufigen Anwendung diesr Methode eine große Anzahl von Vergleichswerten und Ergebnissen zur Verfügung stehen (KNABE 1984). Die Probenahme wurde während des Sommerhalbjahres 1984 durchgeführt. Die Nadelernte im Frühsommer bringt den Vorteil mit sich, daß bedingt duch den Neuaustrieb die größten Unterschiede im Nährelementgehalt zu erwarten sind (ZÖTTL & MIES 1983, ALCUBILLA et al. 1985.)

Dieser Zeitraum kann jedoch den Nachteil mit sich bringen, daß in Abhängigkeit von klimatischen Verhältnissen des Entwicklungsstadium der Vegetation auf den verschiedenen Standorten nicht völlig vergleichbar ist. Darauf wurde durch die Reihenfolge der Probenahme – in höheren Lagen (Wuchsgebiet II, siehe Kap. 3) mit später einsetzender Vegetationszeit gegen Ende der Probenahmezeit – Rücksicht genommen. Zur Nadelernte wurden nur Zweige von der Oberseite der Äste herangezogen, da es durch beschattete Zweige zu einer Verfälschung der Ergebnisse, vor allem in Hinsicht auf belichungsabhängige Effekte, z. B. Gelbfärbung der Nadeln. kommen könnte.

2.2 Wahl des Untersuchungsgebietes

Da die Anwendung dieser Standortwahl auf das gesamte Saarland den Rahmen einer Diplomarbeit sprengen würde, konnte lediglich ein bestimmter Teilraum bearbeitet werden. Der Warndt als großes geschlossenes Waldgebiet im Bereich des industriellen Ballungsraumes und der Schwarzwälder Hochwald als industriefernes "Reinluftgebiet" boten sich an, um einen Querschnitt des unterschiedlichen Grades der direkten Immissionsbelastung und der verschiedenen Höhenstufen des Saarlandes zu erfassen. Von diesen Voraussetzungen ausgehend wurde ein Transekt von 12 km Breite von der französischen Grenze im Süden des Warndts in Nord-Südrichtung bis zur Nordgrenze des Saarlandes im Schwarzwälder Hochwald festgelegt. Dies entspricht den Meßtischblättern Lauterbach im Warndt, Ludweiler, Saarlouis, Reimsbach und Losheim (1: 25 000).

2.3 Festlegung der Probenahmestandorte

Als Bezugssystem zur Lokalisierung der Probestandorte wurde das UTM-Gitternetz zugrunde gelegt. Die Gitterschnittpunkte innerhalb des Untersuchungsraumes wurden entsprechend der TA-Luft (BMI 1983) im Abstand von 1 km festgelegt. Sie wurden im folgenden Arbeitsschritt daraufhin überprüft, ob sich an diesen Kreuzungspunkten zur Probenahme geeignete Fichtenbestände befinden. Diese Überprüfung wurde anhand von Kartenmaterial bzw. vor Ort durchgeführt. Da die Proben möglichst genau an den Koordinatenpunkten entnommen wurden, sind Bestandesränder, wie auch geschützte Lagen in geschlossenen Waldbeständen, erfaßt worden. Diese Methode wurde gewählt, da sie eine zufällige Stichprobe gewährleistet und damit, auch auf Grund der relativ hohen Zahl der Standorte und des geringeren Abstandes der Bestände, ein repräsentatives Bild der Schadenssituation im Untersuchungsraum liefern kann.

Abweichend von dieser Methode wurden nur 6 Standorte im Warndt bearbeitet, die nach dem Kriterium der unterschiedlichen Immissionsbelastung und standörtlichen Vergleichbarkeit im Rahmen der Arbeit von PAULUS (1985) ausgewählt und in dieser Untersuchung mitbearbeitet wurden.

2.4 Alter der beprobten Fichtenbestände

Im Untersuchungsraum wurden nach der beschriebenen Methode 43 Probenahmestandorte festgelegt und 135 Fichten im Alter zwischen 25 und 70 Jahren beprobt (siehe Karte 1). Das Durchschnittsalter der Probebäume betrug etwa 50 Jahre.

Zur Nadelernte herangezogen wurden Fichten im Alter von 30 – 70 Jahren (abweichend von KNABE 1981), die Ausnahme bildete ein 25jähriger Fichtenbestand im nördlichen Saarland, der Symptome der Hochlagenerkrankung der Fichte aufwies. Diese Altersspanne wurde mit der Erwartung gewählt, bei diesen Bäumen die gesamte Variationsbreite der Schadsymptome vorzufinden.

Jüngere Bestände erleichtern zwar die Probenahme, zeigen aber meist noch keine sichtbaren Schäden (ARBEITSKREIS Chemische Industrie 1983). Lediglich in "Reinluftgebieten" beobachtet man inzwischen, wie auch im Saarland, bereits Schadsymptome an sehr jungen Pflanzen (vgl. PRINZ et al. 1982, MIES & ZÖTTL 1985). Ältere Bestände sind im Saarland nur in relativ geringer Anzahl vorhanden und führen zu größeren Schwierigkeiten bei der verwendeten Methode der Probengewinnung.

2.5 Auswahl der Probebäume

Je Bestand wurden 3 herrschende Fichten der Stammklasse 2 nach Kraft (siehe Abb. 1, Kap. 2.7.2.4) ausgewählt, wobei möglichst ein Baum, der die Mehrheit der vorhandenen Fichten repräsentiert, ein Baum in schlechtem Zustand und ein Baum in relativ gutem Zustand beprobt wurde. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß möglichst alle vorhandenen Schadsymptome und ein Querschnitt der Ernährungssituation des Bestandes erfaßt werden können (vgl. Kap. 4.8.). Zur Absicherung des Verfahrens wurde durch eine größere Probenzahl (je 7 Probebäume) an zwei ausgewählten Standorten – ein Bestand im Bereich des Industrieballungsraumes, ein weiterer im industriefernen "Reinluftraum" – die Variationsbreite der Nährelementegehalte ermittelt

Ihre Lokalisierung erfolgte gegen Ende der Probenahme im jeweiligen Großraum, um durch die Festlegung einen mit der Mehrheit der Standorte vergleichbaren Bestand zu finden.

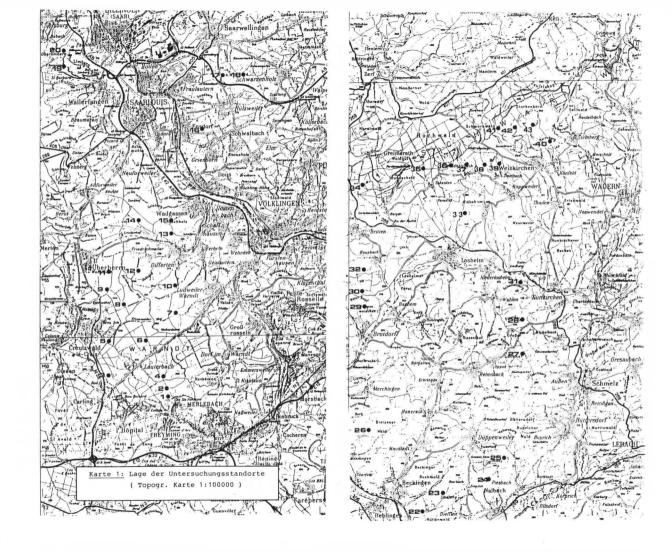
2.6 Probenahmeverfahren

Zur Nadelernte wurden die ausgewählten Probebäume mit Hilfe einer ca. 7 m langen Aluleiter bestiegen, der siebte Astquirl durch Abzählen der Nadeljahrgänge festgestellt und drei Äste dieses Quirls mit einer Baumschere geschnitten. Die Auswahl der beiden anderen Probebäume erfolgte vom Baum aus, da diese Position einen sehr guten Einblick in den Kronenraum erlaubte.

Das angewendete Verfahren bringt Vorteile, aber auch Nachteile mit sich:

- Beim Besteigen der Bäume ist eine genauere Beschreibung der Schadsymptome möglich als vom Boden aus
- Beim Fällen der Bäume ist von höherem organisatorischen Aufwand abgesehen eine mehrmalige Beprobung nicht möglich; das Fällen der Bäume führt zu einer Auflichtung des Bestandes, was negative Folgen für die übrigen Bäume mit sich bringt (vgl. SPELSBERG 1983)
- Bäume, deren erste tragende Äste erst oberhalb von 8 m Höhe beginnen, sind mit der angewandten Methode nicht zu besteigen, was dazu führt, daß auf Bäume mit relativ weit herabreichender Krone zurückgegriffen werden muß.

Eine Alternative zu dieser Methode besteht in der Verwendung von Steigeisen oder aber, wie derzeit in der Schweiz praktiziert, die Probenahme vom Hubschrauber aus.



2.7 Beschreibung der Standorte und der Schadenssymptome

2.7.1 Beschreibung der Probenahmestandorte

Die Standort- und Schadensbeschreibung wurde anhand eines Aufnahmebogens durchgeführt (siehe Anhang), um an jedem Standort eine einheitliche Bearbeitung zu garantieren. Der Aufnahmebogen orientierte sich in erster Linie an den Schadbeschreibungen des Sonderdrucks der ALLGEMEINEN FORSTZEITSCHRIFT "Zum Erkennen von Immissionsschäden an Waldbäumen" (AFZ 1983) und wurde durch eigene Beobachtungen ergänzt.

Die Numerierung der Standorte verläuft fortlaufend von Süden nach Norden. Die Benennung der Untersuchungsbestände bezeichnet – falls vorhanden – Forstamt und Abteilungsnummer, andernfalls wurde der Lokalname aus den Meßtischblättern 1:25 000 entnommen.

Das geologische Ausgangsgestein wurde aus der Geologischen Karte des Saarlandes im Maßstab 1 : 50 000 übernommen.

Zur Charakterisierung des jeweiligen Standortes wurde auch die Vegetation im Unterwuchs des Bestandes erfaßt. Auf eine systematische Auswertung nach ELLENBERG (1974) wurde jedoch wegen des häufigen Fehlens des Unterwuchses in dichteren Fichtenbeständen verzichtet. Die verwendete Nomenklatur der Pflanzen richtet sich nach ROTHMALER (1976).

Das Alter der Bestände wurde entweder aus den Forstwirtschaftskarten ermittelt oder durch Abzählen der Astquirle vor Ort bestimmt. Die Höhe der Bäume wurde geschätzt.

2.7.2 Beschreibung der Schadsymptome

Die Schadbeschreibung der Untersuchungsbestände ist auf zwei Ebenen durchgeführt worden, wobei jeweils die gleichen Symptome eingeschätzt wurden. Einerseits bezieht sich die Schadbeschreibung auf die Häufigkeit und Intensität des Auftretens der eingeschätzten Schäden im Untersuchungsbestand, d.h. in der Umgebung der beprobten Fichten. Andererseits handelt es sich um eine genaue Beschreibung der Intensität der auftretenden Schadsymptome am Probebaum. In den Aufnahmebögen wurde zur Raumeinsparung die Schadensbeschreibung der Einzelbäume mit der Nummerierung der Gesamtbeschreibung codiert (z. B. 10.2 bedeutet Gelbfärbung, deutlich erkennbar). Die Einschätzung der Bestandesschäden beruht somit auf einer relativ subjektiven Schätzung, die lediglich durch die gute Übersicht und den besseren Einblick in den Kronenraum vom Baumgipfel aus und die Bonitierung der einzelnen Probebäume in gewissem Maße verbessert wird. Aus diesem Grund wurde auf eine Einbeziehung dieser Daten in die statistische Auswertung verzichtet und stattdessen die Standortmittelwerte bzw. Einzelbeschreibungen der Probebäume hierfür herangezogen.

Alle Parameter der Schadensbeschreibung im gesamten Bestand wurden in einer Schätzskala von 0 = nicht vorhanden bis 4 = sehr stark bzw. sehr hoch beurteilt. Die Schätzungen wurden jeweils mit Begleitpersonen abgesprochen.

Bei der Schadensaufnahme erfolgte eine Unterteilung der Beschreibung in Merkmale, die am Stamm, an den Ästen und an den Nadeln auftreten (siehe Aufnahmebögen; Anhang).

Zusätzlich sind biologische Schädlings- und Schadsymptome, soweit sie eindeutig zuzuordnen waren, berücksichtigt worden, da ihre Auswirkung möglichst von den übrigen Schäden getrennt betrachtet werden soll (RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1983).

2.7.2.1 Schädigung am Stamm

1. Harzfluß:

Das Auftreten von Harztropfen am Stamm als Reaktion des Baumes auf Attacken von rindenbrütenden Käfern, in erster Linie des Buchdruckers *lps typographus* L. (Scolytidae) (vgl. PAULUS 1985).

Skala: 0 - nicht vorhanden

- 1 vereinzelt einige Harztropfen
- 2 viele Harztropfen Symptom deutlich zu sehen
- 3 Stamm ist mit Harztropfen übersät

2. Borkenrisse:

Unter Borkenrissen ist ein Aufplatzen der Rinde mit Harzfluß und in schweren Fällen ein schuppiges Abblättern der oberen Rindenschichten zu verstehen (vgl. KLEIN 1985).

Skala: 0 - nicht vorhanden

- 1 Aufplatzen der Rinde an einzelnen Stellen
- 2 Borkenrisse und schuppiges Abblättern der Rinde

Bäume mit mechanischen Verletzungen, wie Rücke- oder Fälleschäden bzw. Wildschäden sind nicht zur Probenahme herangezogen worden.

3. Zweigipfeligkeit bzw. Kronenbruch:

Das Auftreten von Kronenbrüchen mit nachfolgendem Neuaustrieb (vgl. BML/LAI in RAT von SACHVERSTÄNDIGEN 1983).

Skala: 0 - nicht vorhanden

1 - vorhanden

2.7.2.2 Schädigung der Krone bzw. der Äste

4. Lamettabildung:

Ausgehend von der Beobachtung, daß häufig in Zusammenhang mit Kronenverlichtung ein starkes Herabhängen der Äste zweiter Ordnung, die hierbei durch ihre fortschreitende Entnadelung das Bild eines lamettabehangenen Baumes bieten (vgl. NAUHAUSER 1983, PRINZ et al. 1984, BMFT 1985 a), wurde die Verzweigungsform der Fichten in die Schadensbeschreibung integriert.

Ohne gleichzeitige Entnadelung bzw. Verlichtung der Fichte handelt es sich hierbei keinesfalls um eine Schädigung, sondern lediglich um einen unterschiedlichen Verzweigungstyp von der Plattenfichte über die Bürstenfichte bis hin zur Kammfichte (vgl. SCHMIDTVOGT 1977). SCHRÖTER & ALDINGER (1985) weisen jedoch darauf hin, daß mit zunehmendem Schädigungsverlauf eine Entwicklung von Platten- und Bürstenfichten zu Kammfichten stattfinden kann.

Skala: 0 - Zweige waagerecht abgespreizt (Plattenfichte)

- 1 Zweige nicht mehr voll abgespreizt, ältere Zweige leicht herabhängend (Bürstenfichte)
- 2 Zweige leicht herabhängend ältere Zweige im oberen Kronenbereich stärker herabhängend
- 3 Zweige stark hängend
- 4 Alle Zweige senkrecht nach unten hängend (Kammfichten)

Die Numerierung entspricht der Schadensbeschreibung innerhalb der Aufnahmebögen (s. Anhang)

5. Fensterbildung:

Die Fensterbildung wurde in Anlehnung an die Abbildungen des Sonderdrucks der Allgemeinen Forstzeitschrift "Zum Erkennen von Immissionsschäden an Waldbäumen" (1984) (vgl. auch SCHRÖTER & ALDINGER 1983) als Maß für den Grad der Verlichtung der Krone eingesetzt.

Die Skalenstufen 1 und 2 entsprechen in etwa der Schadstufe 1, die Skalenstufe 3 der Schadstufe 2, die Skalenstufe 4 der Schadstufe 3 dieses Sonderdruckes.

Skala: 0 - geschlossene Krone - keine Lücken vorhanden

- 1 kleine "Fenster" im Kronenraum noch sehr dicht wirkend
- 2 Krone mit größeren "Fenstern" Verlichtung erkennbar
- 3 Krone lückig durchscheinend wirkend
- 4 sehr starke Kronenverlichtung

6. Harztropfen:

Vorhandensein von Harztropfen (entspricht 1) oder das Fehlen von Harztropfen (entspricht 0) an den Ästen (vgl. AFZ 1984).

7. Angsttriebe:

Das Symptom "Angsttriebe" beschreibt die Häufigkeit des Austreibens von Adventiv – und Proventivknospen auf der Oberseite der Äste (vgl. REHFUESS 1983 c, SCHRÖDER & ALDINGER 1985) als mögliche Reaktion auf Nadelverluste (vgl. Kap. 4.5.).

- Skala: 1 vereinzelt einjährige Triebe auf der Oberseite der Äste
 - 2 vermehrtes Auftreten von ein- und zweijährigen Angsttrieben
 - 3 häufiges Auftreten von mehrjährigen Angsttrieben stellen bereits einen relativ hohen Anteil der Blattmasse
 - 4 verstärktes Auftreten von mehrjährigen Angsttrieben auf der Astoberseite
 stellen einen großen Teil der Blattmasse

8. Triebschäden

Der Begriff "Triebschäden" bezeichnet das Vorkommen von starker Verkürzung der Austriebslänge bzw. der einzelnen Nadeln (Kleinnadeligkeit) (s. AFZ 1984). Das Symptom wurde nicht quantitativ, sondern lediglich in einer Schätzskala von 0 = nicht vorhanden bis 4 = stark ausgeprägt, erfaßt.

2.7.2.3 Schädigung der Nadeln

9. Goldspitzigkeit:

Die Goldspitzigkeit zeigt sich in einer goldbraunen Färbung der Nadelspitzen, vor allem an älteren Nadeljahrgängen (vgl. Kap. 4.1.).

Die Ausprägung dieses Symptoms entspricht der fotographischen Darstellung in der Sonderausgabe der Allgemeinen Forstzeitschrift (AFZ 1984).

Skala: 1 - ältere Nadeln goldspitzig

2 – Goldspitzigkeit, als Goldschimmer an den Zweigen der mittleren und älteren Nadeljahrgänge erkennbar 3 – starke Goldspitzigkeit, durch ockergelbe F\u00e4rbung der mittleren und \u00e4lteren Nadeljahrg\u00e4nge zu erkennen

10. Gelbfärbung:

Hierbei handelt es sich um eine intensiv quittengelbe Färbung an der Oberseite lichtexponierter Nadeln – das Symptom der "Hochlagenerkrankung der Fichte" (vgl. PRINZ et al. 1982. REHFUESS 1983 a. AFZ 1984. BMFT 1985 a. b).

- Skala: 1 einzelne Bereiche mit leichter Gelbfärbung an den Spitzen der Nadeln (1/8 1/4 der Nadeloberfläche)
 - 2 deutlich erkennbare Gelbfärbung der Zweigoberseiten
 - 3 starke Gelbfärbung der Zweigoberseiten
 - 4 Gelbfärbung von mehr als 50% der Nadeloberfläche

11. Punktchlorosen:

Vor allem an älteren Nadeln konnten häufig ca. 1 mm durchmessende helle Punkte festgestellt werden, die als Punktchlorosen bezeichnet wurden (vgl. REHFUESS 1983 b; Kap. 5.).

Skala: 0 - nicht vorhanden

- 1 vereinzelte Punktchlorosen an älteren Nadeln
- 2 höhere Dichte der punktförmigen Chlorosen an älteren Nadeln
- 3 Punktchlorosen sehr häufig auch an jüngeren Nadeln (3 4jährig) stärker auftretend

Bei näherer Untersuchung (60fache Vergrößerung) wies die Nadeloberfläche im Bereich der Punktchlorosen keine sichtbare Verletzung (z. B. Einstiche oder Risse) der Cuticula auf. Sie sind somit keine Folge mechanischer Beschädigung durch Schadinsekten.

12. - 16. Biotische Schäden:

Die Erfassung der Fichtenparasiten und ihrer Schadbilder wurde nur vorgenommen, wenn eine eindeutige Ansprache oder Zuordnung möglich war (Ausfluglöcher bei Borkenkäfern (Scolytidae), eindeutiger Pilzbefall, Auftreten von Fichtengallen oder Fichtenwollaus, Einstiche saugender Insekten, Käferfraßschäden an Nadeln). Die Ansprache der biotischen Schäden erfolgte nach SCHWERDTFEGER (1970) und REISCH (1974).

2.7.2.4 Beschreibung des Probeastes

Die vorhergehende Beschreibung bezieht sich auf den gesamten Kronenbereich des Probebaumes und muß mit der Beschreibung des beprobten Astes nicht übereinstimmen, da viele Symptome im unteren Teil des oberen Kronenbereiches besonders ausgeprägt sind (vgl. Kap. 4.1.), jedoch am 7. Astquirl nicht oder nicht gleichermaßen intensiv vorhanden sein müssen (insbesondere Goldspitzigkeit und Gelbfärbung).

Nadelbonitierung des Probeastes:

Die Nadelbonitierung wurde nach KNABE (1981) durchgeführt.

Als Ergebnis erhält man die Gesamtbenadlung als Prozentsumme von sieben Jahrestrieben, die als "Nadeljahrgänge" innerhalb der Tabellen bezeichnet wird. Das Verfahren ist in Abbildung 1 beschrieben.

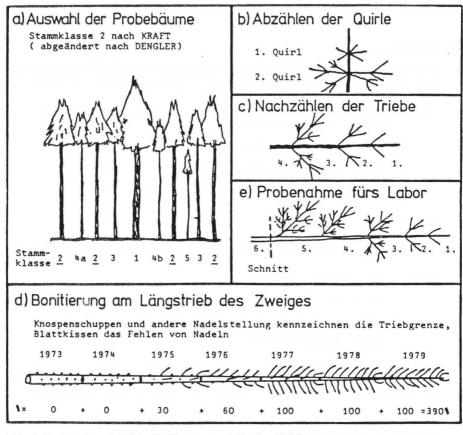


Abb. 1: Probenahmerichtlinie für Fichten nach Knabe (1981)

Nadelfärbung:

Auf Grund der möglichen Zusammenhänge zwischen Nährelementgehalt und Nadelverfärbung wurde der Zustand der Nadeln jedes Nadeljahrganges möglichst genau erfaßt.

Goldspitzigkeit der Probenadeln

- Skala: 1 sehr leicht goldspitzig (Abk. slgo), sehr schwache Aufhellung an den Nadelspitzen
 - 2 leicht goldspitzig (Abk. Igo), ockergelbe Färbung der äußersten Nadelspitzen
 - 3 goldspitzig (Abk. go), ockergelbe Färbung der Nadelspitzen
 - 4 stark goldspitzig (Abk. stgo), goldbraune Färbung der Nadelspitzen

Gelbfärbung der Probenadeln

Skala: 1 - 1/8 bis 1/4 der Nadeloberseite gelb (Abk. 1/4 g)

- 2 1/2 der Oberseite gelb (Abk. 1/2 g)
- 3 3/4 der Nadeloberseite gelb (Abk. 3/4 g)
- 4 die gesamte Nadel ist gelb (Abk. g)

Chlorosen (vgl. REHFUESS 1983 b und Kap. 4.1.)

- Skala: 1 leicht chlorotisch (Abk. Ich), hellgrüne Färbung der Nadeln in eine grüngelbe Färbung übergehend
 - 2 chlorotisch (Abk. ch), fahlgelbe Nadelfärbung

Die in Klammer aufgeführten Abkürzungen entsprechen den in den Aufnahmebögen verwendeten Bezeichnungen.

2.8 Analyseverfahren

2.8.1 Probevorbereitung

Die ca. 220 Einzelproben wurden in Pergamentpapiertütchen 48 Stunden bei 80° C im Trokkenschrank getrocknet. Nach der Trocknung lassen sich die Nadeln und Zweige sehr leicht voneinander trennen.

2.8.2 Aufschlußverfahren

2.8.2.1 Aufschluß zur Schwefelanalyse

Zur Schwefelanalyse wurden die Nadelproben in Anlehnung an das Verfahren der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (vgl. BARTELS & PHAM 1980) in der SCHÖNINGER-Verbrennungsapparatur verascht. Dabei wurden ca. 100 mg der homogenisierten Nadelproben in schwefel- und aschefreiem Filterpapier in reiner Sauerstoffatmosphäre verbrannt und in 10 ml 6% $\rm H_2O_2$ – Lösung nach einer Wartezeit von 15 min vollständig absorbiert. Die Probelösung wurde mit $\rm H_2O$ – Bidest. auf 20 ml aufgefüllt und zur Analyse verwandt.

2.8.2.2 Aufschluß zur Analyse von Magnesium, Kalzium und Kalium

Der Aufschluß erfolgte in Druckbomben nach TÖLG (vgl. KOTZ et al. 1972). Dabei wurden ca. 300 mg der gemahlenen Fichtennadeln in spezielle Teflongefäße eingewogen und 3 ml HNO₃ suprapur als Oxidationsmittel zur Zerstörung der organischen Matrix zugegeben.

Danach wurden die Proben 5 Stunden bei hohem Druck und einer Temperatur von ca. 180°C aufgeschlossen. Die Probelösung wurde auf ca. 12 ml mit H₂O – Bidest. aufgefüllt und bis zur Analyse in Polyethylengefäßen gelagert.

2.8.3 Analysemethoden

2.8.3.1 Schwefelanalyse

Abweichend von dem LIS-Verfahren (vgl. BARTELS & PHAM 1980) wurden die Probelösungen jeweils 1:5 und 1:10 mit $\rm H_2O$ verdünnt, je 1 ml dieser Lösung mit 6 ml Farbreagenz versetzt und nach einer Schüttelzeit von 2,5 Stunden photometrisch (Photometer: 550 S UV/VIS Spectrophotometer der Fa. PERKIN-ELMER) bei einer Wellenlänge von 655 nm gegen $\rm H_2O$ gemessen.

Das Farbreagenz setzte sich zusammen aus:

- 200 ml H₂O Bidest.
- 5 ml 1 M KNO₃
- 6 ml 0,01 M Ba (ClO₄)₂
- 5 ml 0,01 M Dimethysulfonazo III

- 10 ml CH₃COOH konz.
- 1,25 ml 0,01 M K₂SO₄
- mit Ethanol auf 1 Liter aufzufüllen

Die Meßwerte wurden anhand der Regressionsgerade der vier Eichpunkte errechnet. Die Werte wurden nur verwendet, wenn die Korrelationskoeffizienten der Eichwerte höher als r=0,9999 und die Ergebnisse der beiden zugesetzten Verdünnungen innerhalb eines Schwankungsbereichs von $\pm\,10\%$ lagen. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden Mehrfachanalysen durchgeführt.

Die Meßreihe ergab eine Schwankungsbreite von 7,2% zwischen den einzelnen Aufschlußlösungen und dem Mittelwert (vgl. BARTELS & PHAM 1980). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Mittelwertschwankung bei gleicher Ausgangsmatrix auftritt. Bei Routinemessungen ist deshalb mit größeren Schwankungen zu rechnen (etwa ± 10%). Diese Fehlerspannen sind bei der Interpretation der Einzelbaumwerte zu berücksichtigen. Bei den Mittelwerten der Standorte ist mit einer geringeren Schwankung zu rechnen, da diese Werte sich auf mindestens 6 Einzelmessungen stützen.

2.8.3.2 Analyse von Magnesium, Kalzium und Kalium

Die Analysen wurden am Atom-Absorptions-Spectrometer 5 000 der Fa. PERKIN-ELMER & CO GMBH durchgeführt. Alle Messungen erfolgten auf Grund von Viskositätsschwankungen der Probelösungen nach dem Standardadditionsverfahren (PERKIN-ELMER-Handbuch).

Die Meßwerte der 3-Punkt-Standardaddition wurden durch Berechnung des X-Achsendurchgangs der Regressionsgerade ermittelt, wobei Messungen mit einem Korrelationskoeffizient der Einzelwerte r = 0,999 wiederholt wurden. Den Meßlösungen zur Magnesium-und Kalziumbestimmung wurde eine 0,5%-Lanthanlösung zur Vermeidung chemischer Interferenzen zugesetzt. Den Meßlösungen zur Kaliumbestimmung wurde zur Beseitigung von Ionisationsstörungen 0,5% NaCI-Lösung zugegeben.

Die Analysen von Magnesium, Kalzium und Kalium wurden in einer mageren oxidierenden Luft-Acetylen-Flamme mit Laminarbrennerkopf durchgeführt. Die Meßzeit betrug 2,5 s; aus jeweils 3 Messungen wurde der Mittelwert gebildet. Wenn hohe Abweichungen (Variationskoeffizient größer 2) zwischen den 3 Einzelwerten auftraten, wurde die Messung wiederholt. Jeder Meßwert ist also durch mindestens 9 Einzelmessungen abgesichert.

Die genaue Geräteeinstellung siehe Tabelle 1.

2.8.3.3 Meßwertabsicherung der AAS-Analysen

Die Korrektheit der Meßwerte und ihre Reproduzierbarkeit wurde durch mehrfache Analysen eines zertifizierten Standards ähnlicher Matrix (Orchead Leaves) und durch Doppelbestimmungen in unterschiedlichen Meßreihen überprüft. Es ergaben sich dabei Meßfehler von etwa ± 5% (vgl. WAGNER, G. 1985).

Element	Magnesium	Kalzium	Kalium		
Wellenlänge(nm)	285,2	422,7	404,4		
Spaltbreite(nm)	0,7 н	0,7 н	0,7 н		
Lichtquelle(Typ)	HKL(P.E.)	HKL(P.E.)	HKL (Beckmann)		
Stromstärke(mA)	15	15	5-6		
Untergrundkomp.	ja	ja	ja		
Meßart	HOLD	HOLD	HOLD		
Meßzeit	3x2s	3x2s	3x2s		
Meßverfahren	Std.Add.	Std.Add	Std.Add		
Eichlösung(mg/l)	0;5;10;	0;50;100;	0;50;100;		
Nullösung	0,5%La;H ₂ O	0,5%La;H ₂ O	0,5%NaCl;H2O		
"Brenner	Laminar	Laminar	Laminar		
Gasströmung C ₂ H ₂ /Luft	35/50	35/50	35/50		
Probenzusätze	0,5%La	0,5%La	0,5%NaCl		
Brennerstellung	quer	quer	normal		

Tab. 1: Einstellung und Meßverfahren der AAS-Analysen

2.9 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurden die erhobenen Daten in die Datenbank des Instituts für Biogeographie eingegeben und am Rechenzentrum der Universität des Saarlandes und dem Rechner des Biogeographischen Instituts bearbeitet.

Zur mathematischen Auswertung wurden lediglich 18 Paramater der Einzelbaumbeschreibung bzw. die daraus gebildeten Standortmittelwerte herangezogen. Bei diesen 18 Parametern handelt es sich um die Daten, die am intensivsten und exaktesten erhoben werden konnten (vgl. Kap. 2.7.2.). Die sich daraus ergebende Meßwertgruppe besteht aus folgenden Meßbzw. Schätzwerten:

Magnesium in mg/kg TG Kalium in % TG Kalzium in % TG Schwefel in % TG

Nadeljahrgänge in Prozentsumme der Gesamtbenadelung (vgl. KNABE 1981)

Goldspitzigkeit der Fichtennadeln Gelbfärbung der Fichtennadeln Clorosen der Fichtennadeln Lamettabildung

Fensterbildung

Angsttriebe Triebschäden Goldspitzigkeit des Baumes Gelbfärbung des Baumes

Punktchlorosen

Pilze

Höhe des Standortes Alter der Fichte Statistische Auswertungen setzen eine zufällige Stichprobe voraus (vgl. SACHS 1978), um zu einem repräsentativen Ergebnis zu gelangen. Dies wurde durch die Anwendung einer an Rasterkoordinaten orientierten Probenahme erfüllt. Zur Erkennung von Beziehungen und Trends wurden die Probebäume in Gruppen untergliedert, wobei folgende Gruppierungskriterien einzeln und in beliebiger Kombination verwendet wurden:

- Färbung der Nadeln
- Geologie des Standortes
- Höhenlage des Standortes
- Exposition des Standortes
- Alter der Bäume
- Auftreten von Punktchlorosen

Hierbei wurden die Mittelwerte, der Median, die Extrema, die Streuung, die Häufigkeitsverteilung und die Varianz der einzelnen Parameter berechnet. Die Gruppierungen wurden daraufhin getestet, ob sie für ausgewählte Meßwerte (z.B. Nährstoffe, Nadeljahrgänge, Gelbfärbung) eine signifikante Aufgliederung darstellen. Dies wurde durch Varianzanalyse und F-Test geprüft.

2.9.1 Korrelationsanalysen

Korrelations- und Regressionsanalysen sind dazu geeignet, die Art und den Grad des Zusammenhangs zwischen 2 Variablen zu untersuchen. Der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizient errechnet einen linearen Zusammenhang zwischen 2 Zufallsvariablen; er setzt hierfür eine Normalverteilung der Grundgesamtheit, der die Stichproben entstammen, voraus. Dies ist bei biologischem Material nicht vorauszusetzen, jedoch sind Signifikanztests, insbesondere der verwendete F-Test, für größere Stichproben sehr robust gegen solche Verletzungen der Voraussetzungen (GREEN 1979). Die Korrelationen wurden in einer Matrix (18x18) der Meßwerte durchgeführt, d.h. jede der 18 Variablen wurde mit den übrigen in Beziehung gesetzt und auf Signifikanz mittels F-Test geprüft. Dies wurde mit der Gesamtheit der Probebäume und in ausgewählten Gruppen berechnet:

- gesamtes Datenmaterial	135 Probenbäume
- Ballungsraum (Standort 1-20)	63 Probenbäume
- Hochwald (Reinluftraum, Standort 29-43)	49 Probenbäume
- gelbgefärbte Bäume	12 Probenbäume
- chlorotische Bäume	24 Probenbäume

Außerdem wurden anhand der Standortmittelwerte die Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten berechnet und die Regressionsgeraden gezeichnet. Zur Absicherung wurde auch der SPEARMAN'sche Rangkorrelationskoeffizient als verteilungsfreies Abhängigkeitsmaß zur Kontrolle interessanter Korrelationen verwendet und auf Signifikanz geprüft. Die Ergebnisse beider Korrelationskoeffizienten lagen auf vergleichbarem Signifikanzniveau.

2.9.2 Multivariate Verfahren

Da 18 unterschiedliche Variablen zur Verfügung standen, boten sich multivariate Analyseverfahren zur Auswertung an. Mit ausgewählten Zielvariablen wurden multivariate Regressionsanalysen durchgeführt, jeweils mit dem gesamten Datenmaterial und getrennt in den bereits oben aufgeführten Gruppen. Dem verwendeten Programm liegt die Beschreibung von DRAPER & SMITH (1966) zugrunde.

Die Standortmittelwerte wurden zu einer hierarchischen Clusteranalyse verwendet (für Einzelbäume nicht möglich, da Rechner-Kapazitätsprobleme vorhanden waren), wobei alle Varia-

blen und Standorte einbezogen wurden. Die Clusteranalyse liefert eine Gruppierung der Standorte nach dem Grad ihrer Ähnlichkeit hinsichtlich der erhobenen Parameter. Ihr Ergebnis ist graphisch in einem Ähnlichkeitsdiagramm dargestellt, wobei die Übereinstimmungen mit steigendem y-Wert abnehmen.

3. KURZBESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich vom Südwesten des Saarlandes – dem Warndt – bis zum Schwarzwälder Hochwald im Norden.

Der Warndt, im Süden des Untersuchungsgebietes, ist ein flachwelliges und fast geschlossen bewaldetes Hügelland des Mittleren Buntsandsteins mit kollinem Charakter (185 bis 323 m über NN). Im Süden und Norden wird der Warndt von Industriegebieten eingegrenzt. Klimatisch hebt sich dieser Bereich durch seine besondere Spätfrostgefährdung und seine relativ niedrigen Niederschlagssummen hervor. In diesem Teilraum liegen die Standorte 1 bis 15.

Im Norden schließt sich das Saartal mit seiner hohen Besiedlungs- und Industriedichte an. Die Standorte 16, 21, 22 liegen im Bereich der quartären Ablagerungen der Saar. Auf den randlichen Höhen findet sich wieder der Mittlere Buntsandstein (Standorte 17 und 20) und auf den Plateaus der Schichtstufen streift der Untersuchungsraum die, durch den Muschenkalk geprägten, Gaulandschaften (Standort 19: Unterer Muschelkalk, Standort 20: Oberer Buntsandstein mit Muschelkalkeinfluß, Standort 26: Oberer Muschelkalk, Peripher erreicht das Transekt den Saarbrücker Sattel, der sich aus dem Karbon aufbaut (Standort 18: Obere Heusweiler Schichten). Eingelagert in den Buntsandstein treten rhyolitische Magmatite auf, wie der Litermont, an dessen Fuß die Standorte 22 und 25 liegen (vgl. MÜLLER; G, 1982).

Die bisher aufgeführten Standorte gehören, bis auf die Muschelkalkbereiche (IC), dem Wuchsgebiet IB, dem Saarbecken Buntsandsteinbereich (siehe Karte 3), an, der auch im nördlichen Teil des Untersuchungsbietes im Bereich der Standorte 29 und 30 (Buntsandstein) wiederauftritt.

Zwischen den bisher beschriebenen Räumen der Wuchsgebiete IB und IC (Gaulandschaften) und dem Schwarzwälder Hochwald schiebt sich ein Ausläufer des oberen Rotliegenden, der zum Wuchsgebiet Saarbergland (IA) gezählt wird. Die hier am Standort 27 auftretenden Kreuznacher Schichten weisen lithologisch eine sehr große Ähnlichkeit zu dem darüberlagernden Mittleren Buntsandstein auf, der an den Standorten 28 und 31 das Ausgangsgestein stellt (vgl. KUHLMANN 1983).

Die Waderner Schichten des Rotliegenden (Standort 32), eine sandig-tonige Grundmasse mit eingebetteten devonischen Quarziten und Vulkaniten, greifen aufgrund der Hunsrück-Südrand-Störung auch auf das Devon des Hunsrücks über. Diese Schichten treten an den Standorten 38, 39 und 40 auf.

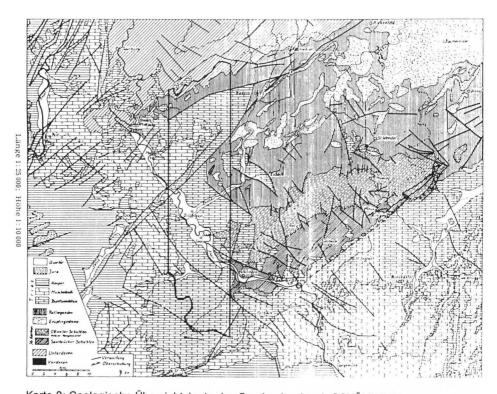
Neben quartären Bildungen an den Standorten 34 und 43 werden die Böden des Schwarzwälder Hochwaldes hauptsächlich aus Taunusquarziten (Abk. ds) gebildet, wie an den Standorten 36, 37, 41 und 42. Am Standort 35 tritt der Mittlere Buntsandstein als Ausgangssubstrat wieder auf.

Die Höhenlage des Hunsrückrandes (Wuchsgebiet II A) liegt zwischen 400 und 700 m über NN, und die dadurch bedingte klimatische Sonderstellung innerhalb des Saarlandes führt zu einer klaren Abtrennung dieses Teilraumes.

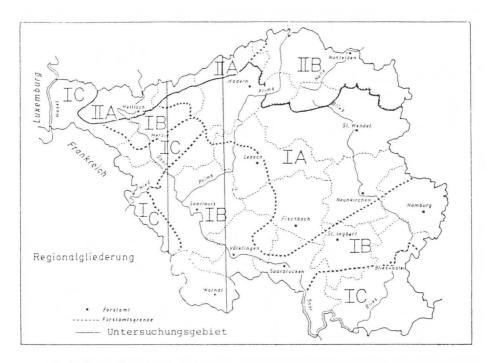
Im Schwarzwälder Hochwald herrscht das kühlste und feuchteste Klima im Saarland. Davon unterscheidet sich das ebenfalls zu diesem Wuchsgebiet zählende "Saar-Ruwer-Hunsrück-Gebiet" zwischen Hellendorf und Britten, das kaum über 450 m über NN ansteigt (Standort 43). Eine kurze Charakterisierung dieser Gebiete wird in den Wuchsgebietsbeschreibungen wiedergegeben (Karte 3).

Karte 4 beinhaltet die mittlere Temperaturverteilung des Untersuchungsraumes und Karte 2 gibt die Geologischen Formationen wieder.

Eine differenzierte Beschreibung der naturräumlichen Gliederung dieses Raumes unter Berücksichtigung von Klima, Vegetation und Nutzung gab SCHNEIDER (1972).



Karte 2: Geologische Übersichtskarte des Saarlandes (nach SCHÖMER R.)



Ubersicht über die Wuchsgebiele im Saarland: Wuchsgebiet I: Saar-Hügel- und -Bergland

Laubwälder der kollinen bls unteren submontanen Stufe

Wuchshezirk: A: Saarbergland B: Saarbecken und Bunt-C: Gaulandschaften sandsteinbereich Regionalgesellschaft submontaner El-Buchenwald kolliner Laubwald mit Kiefer kolline Kalklaubwälder Klimabereiche untere submontane kolline Stufe kolline Stufe Stufe (tlw. planar) submontane Stufe Mittl. Höhenlage 300-450 m a NN 170-300 m 0. NN 200-400 m 0. NN Mittl Jahresniederschlag 800-900 mm 700-800 mm 750-850 mm Mittl Jahrestemperatur 9-8° C 9,6-8° C ± 90 C Vegetationszeit (10° C) 155-165 Tage 165-175 Tage 160-170 Tage Vorherrsch. Geologie Karbon, unteres Muschelkalk, Keuper, Buntsandstein. Rotliegendes, Vulkanite Diluvium, Alluvium Diluvium Vorherrsch. Ukoserien Lehmsand, Glanzlehm, Alluvialboden, Quarzsand, Mergeltonböden, Muschelkalk-Kohlenlehm, Vulkanitböden, schluffiger Diluvialsand. lehm, Muschelsandsteinboden, Vulkanitmischböden diluvialer Feinlehm Feinlehm ü. Muschelkalkgestein

B: Prims - Nahe - Bergland

obere submontane Stufe

400-600 m 0. NN

900-950 mm

148-155 Tage

8-7.5° C

submontaner Ahorn-Buchenmischwald

Vulkanite, oberes Rotliegendes

Wuchsgebiet II: Hunsrück und Hunsrückvorland

Submontane bis montane Buchen-Mischwälder

Wuchsberirk: A: Hochwald

Regionalgesellschaft submontaner bis montaner Buchenmischwald

Klimaberelche obere submontane und untere montane Stufe

Mittl. Höhenlage 400—700 m ü. NN Mittl. Jahresniederschlag 900—1 050 mm

Mittl. Jahresniederschlag
Mittl. Jahrestemperatur
Vegetallonszeit (10° C)
Vorherrsch. Geologie

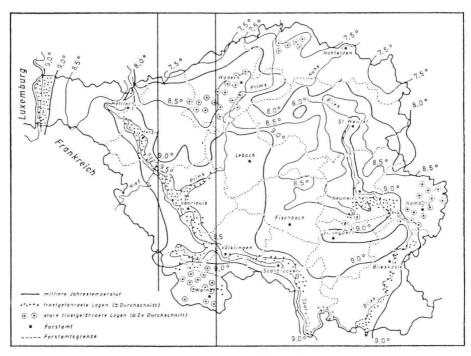
Mittl. Jahresniederschlag

8-7,5° C

142–155 Tage
Devon, oberes

Vorherrsch. Geologie Devon, oberes Rotliegendes, Buntsandstein

Vorberrsch. Ukoserien diluvialer Feinlehm, Tonlehm, Quarzitboden, Quarzitmischlehm, Schieferlehm boden, Vulkanitmischlehm, Porphyrboden



Karte 4: Karte der mittleren Jahrestemperaturen 1950 - 1959 (aus Wagner 1965)

4. ERGEBNISSE

4.1 Verteilung der Schadsymptome im Kronenraum

Allgemein ließ sich feststellen, daß Schäden, insbesondere die Nadelfärbungen, innerhalb der Baumkrone etwa zwischen dem 9. bis 18. Astquirl, also im oberen Kronendrittel, am stärksten ausgeprägt sind (vgl. SCHRÖDER & ALDINGER 1985).

Dies könnte auf eine Abnahme der Nährstoffe in den Fichtennadeln von der Kronenspitze zur Schattenkrone hin (vgl. Fiedler 1967) und mit der längeren Verweildauer von Nebel in diesem Kronenbereich zusammenhängen, was zu einer höheren Schadensdisposition führen könnte.

Nadelverluste, chlorotische Aufhellung der Nadeln und das Auftreten heller Flecken (Punktchlorosen) nehmen mit zunehmendem Nadelalter zu. Dies führt zu einer Verlichtung der Krone von innen nach außen (vgl. PRINZ et al. 1985).

Goldspitzigkeit: Die Goldspitzigkeit der Nadeln beginnt normalerweise mit einer leichten Aufhellung der Nadelspitzen, meist im Bereich des 2. bis 3. Nadeljahrganges,

und geht bei den älteren Nadeljahrgängen in eine goldbraune Färbung der Nadelspitze (AFZ 1984) über, die bei den ältesten Nadeljahrgängen bis zu Hälfte der Nadel reichen kann (vgl. Kap. 2.7.2.3 und 2.7.2.4).

Chlorosen, eine fahle Gelbfärbung der Nadeln, beginnen mit einer leichten

Aufhellung der älteren Nadeljahrgänge, die in eine blaßgelbe Farbe übergeht. In extremen Fällen kann sie bis zu den jüngsten Austrieben reichen.

Gelbfärbung: Im Gegensatz dazu ist die quittengelbe Färbung nicht allein vom Alter der Na-

deln abhängig, sondern es treten eindeutige Belichtungseffekte auf, die die Färbung beeinflussen (vgl. PRINZ et al. 1982, 1984, 1985, BOSCH et al. 1983). Beschattete Zweigteile und die Unterseite der Äste und Nadeln zeigen keine solche Gelbfärbung. Die beschatteten älteren Nadeljahrgänge weisen jedoch oft eine starke Goldspitzigkeit oder chlorotische Aufhellung auf.

Zwischen Goldspitzigkeit (gold-braune Färbung, s. AFZ 1984) und Gelbspitzigkeit (quittengelbe Färbung) muß klar unterschieden werden, da es sich um eindeutig differenzierbare Symptome handelt (vgl. Kap. 4.2.), die auch auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen sind. Die Goldspitzigkeit nach BERGMANN (1976 & 1983) und REHFUESS (1983 b) entspricht der Gelbspitzigkeit im Sinne der Definition in dieser Arbeit.

Außerdem bedarf es auch einer klaren Unterscheidung zwischen der fahl-gelben Färbung und der quitten-gelben Färbung, da es sich ebenfalls um ursächlich unterschiedliche Symptome handelt (vgl. ZÖTTL & HÜTTL 1985), die beim Vergleich von Untersuchungsergebnissen verschiedener Autoren möglicherweise zu Verwechslungen führen könnten (vgl. ELSTNER 1985, ZECH & POPP 1983 und REHFUESS 1983 b).

Rotfärbung (vgl. BUCHNER & ISERMANN 1984, REHFUESS & RODENKIRCHEN 1985 und SCHÜTT 1985) bzw. eine starke Verbraunung der Spitzen (vgl. VAN HAUT und STRATMANN 1970), die nicht auf Schüttepilze zurückzuführen waren, wurden während des Untersuchungszeitraumes (Sommer 1984) nur sehr vereinzelt bzw. überhaupt nicht festgestellt; eine Rotfärbung älterer Nadeljahrgänge war jedoch im Herbst 1984 im Warndt zu beobachten.

Allgemein konnte mit zunehmender Schädigung auch eine Depression der Krone, also eine Reduktion der Apikaldominanz (vgl. SCHÜTT et al. 1984), und bei sehr stark geschädigten Beständen auch häufig Kronenbrüche, die sich mehrmals wiederholen können, beobachtet werden (vgl. Schadbeschreibung in RAT von SACHVERSTÄNDIGEN 1983).

Kronendeformation im Wipfelbereich, wie sie von SCHULZ (1985) beschrieben wird, ließ sich in stärker geschädigten Beständen ebenfalls feststellen.

4.2 Beziehungen zwischen Makronährstoffen und Schadsymptomen

4.2.1 Magnesium

Die ermittelten Magnesiumgehalte der 3jährigen Fichtennadeln schwanken zwischen einem Minimum von 194 mg Mg/kg und einem Maximum von 2 560 mg Mg/kg Trockengewicht. Der Mittelwert der Magnesiumkonzentration liegt in den untersuchten Fichtennadeln bei 800 mg Mg/kg Trockengewicht (siehe Tabelle 2).

Bei 17 der 135 Probebäume wurden sehr niedrige Magnesiumgehalte (kleiner 400 mg/kg TG und bei 42 Probebäumen sehr hohe Gehalte (größer 1 000 mg/kg TG) gemessen (Richtwerte nach KNABE 1984). Innerhalb der Probenahmestandorte traten Streuungen bis zu 745 mg Mg/kg auf, die von einer sehr niedrigen bis zu einer sehr hohen Magnesiumversorgung der Bäume am gleichen Standort reichen (vgl. Abb. 8). Es tritt demzufolge neben der hohen Variabilität der Schädigung auch eine sehr hohe Schwankungsbreite der Nährstoffgehalte innerhalb eines Standortes auf.

An 14 Probebäumen wurde das Symptom der "Hochlagenerkrankung" der Fichte, eine leuchtend gelbe Färbung der Oberseite der Nadeln, beobachtet (entspricht Gelbfärbung der Probe in den Tabellen, vgl. Kap. 2.7.2.), die signifikant mit den Magnesiumgehalten der Nadeln korreliert ist (0,1% Signifikanzniveau, siehe Tabelle 3).

Alle gelbgefärbten Nadeln zeigen niedrige bis sehr niedrige Magnesiumgehalte (vgl. ZECH & POPP 1983, ZÖTTL & MIES 1983, PRINZ et al. 1982), wobei eine signifikante (0,1%) Beziehung zwischen dem Grad der Gelbfärbung und dem Magnesiumgehalt der Nadeln besteht (siehe Tabelle 4 und Abb. 2).

```
0 135
        MESSWERTE
                 710.00000
0 MEDIAN =
O MITTEL =
                799.83691
 MINIMUM
                194.00000
                                       MAXIMUM =
                                                    2560.00000
 0.05 QUANTIL =
                    295.00000
 0.95 QUANTIL =
                   1520.00000
          295.00000
UNTER
                              WERTE
                                       4 . 4%
 UNTER
          417.50000
                         12
                              WERTE
                                       8 . 9%
          540.00000
                                      14.1%
 UNTER
                         19
                              WERTE
          662.50000
                         23
                                      17.0%
 UNTER
                              WERTE
          785.00000
                                      14.8%
 UNTER
                         2.0
                              WERTE
          907.50000
                                       9.6%
 UNTER
                         13
                              WERTE
UNTER
         1030.00000
                         1 1
                              WERTE
                                       8 . 1%
                                       6.740
         1152.50000
 UNTER
                          9
                              WERTE
         1275.00000
 UNTER
                          4
                              WERTE
                                       3.0%
         1397.50000
                                       5 . 9%
 UNTER
                              WERTE
         1520.00000
                                       2 . 2%
 UNTER
                          3
                              WERTE
 AB
         1520.00000
                              WERTE
                                       5 . 2%
```

Tab. 2.: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Magnesiumgehalte in 3jährigen Fichtennadeln (Richtwerte nach Knabe 1984: sehr niedrig – 400 mg/kg; niedrig 400 – 600 mg/kg; mittel 600 – 800 mg/kg; hoch 800 – 1000 mg/kg; sehr hoch – 1000 mg/kg).

Nadeln mit sehr niedrigen Magnesiumgehalten (zwischen 295 mg/kg und 383 mg/kg TG) ohne dieses Symptom wiesen Einstiche saugender Insekten auf, bzw. waren an Standorten mit allgemein niedriger Magnesiumversorgung anzutreffen.

Tabelle 5 zeigt die Mittelwerte, Streuung und Varianz der 18 Meß- und Schätzwerte der gelbgefärbten Magnesiummangelbäume; Tabelle 4 gibt die Korrelationskoeffizienten zwischen allen erfaßten Parametern wieder. Es besteht eine strenge hochsignifikante Korrelation zwischen der Abnahme des Magnesiumgehaltes in den Nadeln und der Zunahme der Gelbfärbung (r = 0,817; 0,1% Signifikanzniveau). Durch diese Relation kann 66,68% der Variationsbreite der beiden Komponenten erklärt werden (siehe Tabelle 6).

Die Multivariate Regressionsanalyse zeigt daneben eine Beziehung zwischen der Gelbfärbung des Baumes und niedrigen Kalium- und Schwefelwerten, die sich auch in den Mittelwerten der Tabelle 5 wiederspiegeln. Die Kaliumwerte dieser Probebäume liegen in einem niedrigen Bereich (nach KNABE 1984), jedoch besteht keine signifikante Beziehung zwischen niedrigen Kalium- und Schwefelwerten, die auf eine gemeinsame Auswaschung hindeuten würden (vgl. MIES & ZÖTTL 1985).

Die Schwefelwerte der Magnesiummangelbäume zeigen keinen eindeutigen Hinweis auf eine direkte Immissionsschädigung durch Schwefel. ZECH & POPP (1983) und auch BOSCH et al. (1983) fanden neben der schlechten Magnesium-Versorgung auch eine Unterversorgung mit Kalzium. Die Kalziumversorgung in den saarländischen Fichtenbeständen mit Symptomen der Hochlagenerkrankung kann als noch ausreichend betrachtet werden, nur bei starker Schädigung (siehe Probebaum 6, Schwerpunktstandort Hochwald, s. Anhang) treten sehr niedrige Kalziumwerte auf.

*HCRESTE	CALATO	A RALL	S. CHARLE	DELIJAHA ONA OLU,	Stone State	F. A.	CHIOROSI A.	TENSTE LA RONE NO.	ROTI DUNE TOPPUNE	ANG STTATES	P. T.E. B.S. CHADE,	EDS DIRECTOR	Cot ld Far Adorio	P.H. ABERA	ALTER STATES	Alter Des State	VKRCHIOKOS,	i
MAGNESIUM (MG/KG:	1.000	0.526	-0.043	0 083	-0.129	-0.050	-0 375	0.264	0 057	0 216	0 . 2 2 1	0 119	-0.019	-0 382	-0 074	0.051	-0.154	0 147
CALZIUM (%)	0.526	1.000	-0.091	-0.028	-0.070	-0.084	-0.229	0.156	0.075	0.122	0.171	0.061	-0.047	-0.206	0.094	-0.240	-0 302	-0.007
KALIUM (%)	-0.043	-0.091	1.000	0.282	0.157	0.128	-0.100	-0.210	-0.016	0.046	-0.020	-0.235	0.045	-0.197	0.130	-0.179	-0.191	0 064
SCHWEFEL (%)	0.083	-0.028	0.282	1.000	-0.141	0.148	-0.178	-0.105	0.048	0.052	0.056	-0.194	0.067	-0.226	-0.146	0.052	-0.252	-0.133
NADELJAHRGAENGE :	-0.129	-0.070	0.157	-0.141	1.000	0.041	0.155	-0.365	-0.109	-0.314	-0.276	-0.192	0.093	0 182	0.072	0.004	0.129	0.156
COLDSPITZICKEIT *	-0.050	-0.084	0.128	0.168	0.041	1.000	-0,352	-0.408	-0.017	-0.078	0.079	-0.249	0.232	-0.329	-0.109	-0.047	-0.187	-0 201
CELBFAERBUNG DER	-0.375	-0.228	-0.100	-0.178	0.155	-0.382	1.000	-0.033	-0.043	-0.189	-0 030	0.029	-0.105	0 904	0.214	-0.041	0.211	0.136
CHLOROSEN :	0.264	0.156	-0.210	-0.105	-0 365	-0.408	-0.033	1.000	0.267	0.412	0 408	0 542	-0.059	-0.048	-0.126	0.209	0.199	0 225
LAMETTA	0.057	0.075	-0.016	0.048	-0.109	-0.047	-0.063	0.267	1.000	0.738	0 294	0 . 2.75	0.401	-0.080	0.047	0.304	0.133	0 299
FENSTERBILDUNG :	0.216	0.122	0.046	0.032	-0.314	-0.078	-0.189	0.412	0.738	1.000	0.413	0.484	0.241	-0.214	0.003	0.327	-0.007	0.229
ANGSTTRIEBE :	0.221	0.171	-0.020	0.056	-0.276	-0.079	-0.030	0.408	0 294	0 413	1 000	0 427	0.177	-0.038	-0.038	0.148	-0.011	0.287
TRIEBSCHAEDEN	0.149	0.061	-0.235	-0.194	-0.192	-0.249	0.029	0.542	0.275	0.484	0 427	1.000	0.132	0.023	-0.074	0.200	0.067	0.220
COLDSPITZICKEIT	-0.019	-0.047	-0.045	0.067	0.093		-0 105	-0.059		0.241	0.177	0.132	1.000	-0.088	-0.107	0 202	0.063	0 . 2 2 5
GELBFAERBUNG DES	-0.382	-0.206	-0.197	-0.226	0.182	-0.329	0 904	-0.048	-0.084	-0.214	-0.03A	0.023	-0.088	1.000	0.213		0.270	0.181
PILZE	-0.074		0.130	-0.146	0.072	-0.109	0 . 2 1 4	-0.126	0.047		-0.038	-0.071	-0.107	0.213	1.000		-0.039	0.041
ALTER DES BAUMES:	0.051	-0.240	-0.179	0.052	0.004	-0.047	-0.041	0.209	0 301		0.148	0.200	0.202	0.011	-0.197	1 000	0.476	0,253
HOEHE DES STANDO:	-0.154	-0.302	-0.191	-0.252	0 . 129	-0.187	0 . 2 1 1	0.199	0 133	-0.007	-0.011	0.067	0.063	0.270	-0.039	0 476	1.000	0.426
PUNKTCHLOROSEN :	0.147	-0.007	0.064	-0.133	0.156	-0.201	0.136	0.225	0 299	0.229	0.287	0.220	0 . 2.2.5	0.181	0.041	.0.253	0.426	1.000
	1																	

Tab. 3: Matrix der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der untersuchten 135 Probebäume aller zur statistischen Auswertung herangezogener Parameter (eingerahmte Korrelationen nach F-Test mit 99,9% sign. \neq 0; zweiseitiger Test. Schranken der Korrelationskoeffizienten: 99,9% = 0,294; 99% = 0,232; 95% = 0,178). (*der Nadeln; °des Baumes)

CALARIA	to to	S.C. S.C. A.C.A.	Deizanger	OLOS IN ICE	ELA JA HARINA DE	CHIOROS,	CANSTE AND TO DE	RB TI OUNG TO FRIDAY	ANG STRAIL	PATEGS CHAOL	OLOSO INC. TO.	OES TO FAR A CONTROL OF THE PARTY OF THE PAR	inkar CHLORO, inc	P.T.I. AREF.		6,0 /	W.C.N. S. J.	ily
CALZIUM (%)	1 000	1	1	-	-0.208	-0.108	-0.065	-0.426	-0.192	0.134	0.173	0 065	-0.119	-0.394	-0.061	-0.276	-0.329	-0.108
KALIUM [%]	-0.42			0.174	-0.085	0.193	0.209	0.153	-0.029	-0.172	-0.194	-0.150	0.043	-0.063	-0.048	-0.348	0.095	0.091
SCHWEFEL (%)	-0.73	100 0100000		0.042	0.075	0.410	0.128	0.312	0.130	-0.102	-0.331	0.043	0.345	0.015	0.154	0.188	0.190	-0.205
NADELJAHRGAENGE :	-0.121	20 1000000	0 042	1 000	0.097	0.131	0.531	0.353	0 214	-0.319	0.110	0.551	-0.106	-0.003	-0.467	0.072	0.306	0.232
GOLDSPITZICKEIT *	-0.201		0.075	0 097	1 000	-0.528	0.241	0.289	-0.064	0.194	0.095	0.060	-0.282	0.029	-0.241	0.159	0.482	0 652
GELBFAERBUNG DER*	-0.108	0.193	0.410	0.131	-0.528	1.000	0.061	0.024	0.171	-0.043	-0.079	-0.161	0.752	0.135	0.524	-0.343	-0.412	-0.777
CHLOROSEN	-0 06		0.128	0 531	0 241	0.064	1 000	0.833	0.630	0 422	0.575	0.554	-0.456	-0.100	-0.185	0.389	0.267	0 430
LAMETTA	-0.426	0.153	0.312	0.353	0 289	0 024	0 833	1 000	0.694	U 466	0.555	0 639	-0.439	0.375	-0.069	0.671	0.321	0 997
FENSTERBILDUNG :	-0 .19	2 -0 029	0 130	0 214	-0.064	0.171	0 630	0 694	1.000	0 671	0 831	0.204	-0.340	0.222	0.049	0.424	-0.300	0.044
ANGSTTRIEEE :	0 134	-0 172	-0 102	-0 319	0.194	-0.043	0.422	0.466	0.671	1.000	0.760	-0.117	-0.281	0.149	0.124	0.338	-0.270	0.016
TRIEBSCHAEDEN	0.173	-0 194	-0.331	0.110	0.095	-0.079	0.575	0.555	0.831	0 760	1.000	0.163	-0 439	0.214	0.128	0.378	-0.210	0.211
COLDSPITZICKEIT	-0.065	-0.150	0.043	0.551	0.060	-0.161	0.556	0.639	0.209	-0.117	0.163	1.000	-0.502	0.250	-0.365	0.684	0.510	0.504
CELBFAERBUNG DES	-0.119	0.043	0.345	-0.106	-0.282	0.752	-0.456	-0.439	-0.340	-0.281	-0.439	-0.502	1.000	0.117	0.535	-0.518	-0.229	-0 817
PUNKTCHLOROSEN :	-0.394	-0.063	0.015	-0.003	0.029	0.135	-0.100	0.375	0.222	0.117	0.214	0.250	0.117	1.000	0.272	0.373	0.007	-0.044
PILZE	-0.061	100000000000000000000000000000000000000	0.154	-0.467	-0.241	0.524	-0.185	-0.069	0.049	0.124	0.128	-0.365	0.535	0 . 2.2.2	1.000	-0.209	-0.294	-0.432
ALTER DES BAUMES:	-0.276	200	0.188	0.072	0.159	-0.343	0.389	0.671	0.424	0.338	0.378	0.684	0.518	0.373	-0.209	1.000	0.494	0.400
HOEHE DES STANDO:	-0.329	0.095	0.190	0.306	0.482	-0.412	0.267	0.321	-0.300	-0.270	-0.210	0.510	-0.229	0.007	-0.291	0.494	1.000	0.580
MAGNESIUM [MG/KG:	-0.108	0.091	-0.205	0,232	0.652	-0.777	0.430	0.447	0.044	0.018	0.211	0.304	-0.817	-0.044	0 . 432	0.400	0.580	1.000

Tab. 4: Matrix der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der untersuchten 12 Fichten mit quittengelben Probenadeln aller zur statistischen Auswertung herangezogener Parameter (eingerahmte Korrelationen nach F-Test mit 99% sign. ≠ 0, zweiseitiger Test. Schranken der Korrelationskoeffizienten: 99% = 0,708; 95% = 0,576). (*der Nadeln; °des Baumes)

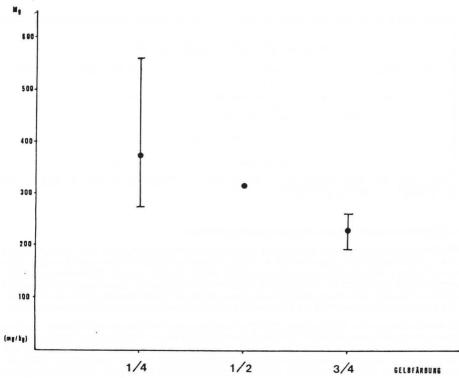


Abb. 2: Bezeihung zwischen Magnesiumgehalt 3jähriger Fichtennadeln und der Gelbfärbung dieser Nadeln (Mittelwerte).

11 vollstaendine-	. I unvol	lstaendi	de Datensaetze		
Mittelwerte		fehlt N	mal Streuund		Variationskoeffizient
CALZIUM [%]	0 54636	n	0 16366	0	29955
KALIUM [%]	0 44818	0	0 06727	U	19473
SCHWEFEL (%)	0 16091	1	0 . 0 3 5 1 3	0	2 1 A 3 2
NADELJAHRGAENGE	5 . 9 ? 2 ? 2	0	0.51404	0	0 8 7 5 3
GOLDSPITZICKEIT*	0 54545	0	0 93420	1	71270
GELBFAERBUNG DER°	1.90909	0	0.70065	0	36701
CHLOROSEN	0 18182	n	0 40452	2	22486
LAMETTA	2 18181	0	1.07872	0	49442
FENSTERBILDUNG	1 45454	0	1 . 2 1 3 5 6	0	8 3 4 3 2
ANGSTTRIEBE	1 72727	0	0.90153	0	5 2 3 6 8
TRIEBSCHAEDEN	0 54545	0	0.82020	1	50370
GOLDSPITZICKEIT°:	1.54545	0	1 29334	0	. 8 3 6 8 7
GELBFAERBUNG DES	2 45454	0	1 03574	0	42197
PUNKTCHLOROSEN	1.63636	0	0 . 67420	0	4 1 2 0 1
PILZE	0.15455	0	1 21356	2	66983
ALTER DES BAUMES	50 27261	0	12.36232	0	2 4 5 9 1
HOEHE DES STANDO:	427.72705	0	131 05930	0	31342
MAGNESIUM TMG/KG	323 63623	0	72.26132	0	2 7 3 2 8

Tab. 5: Mittelwerte, Streuung und Variationskoeffizienten der Meß- und Schätzwerte der 12 untersuchten Fichten mit quittengelben Probenadeln (*der Nadeln; °des Baumes)

```
GLEICHUNG

NAME

FEHLER DES KOEFFIZIENTEN

Y=+ 463.4778

MAGNESIUM (MG/KG

- 56.9727*X(13)

GELBFAERBUNG DES 13.4234

Baumes

ANTE(L ERKLAERTER VARIANZ: 66.68%

STANDARDABWEICHUNG DES RESTFEHLERS. 43.965
```

Tab. 6: Regressionsgleichung der Korrelation zwischen Magnesiumgehlalt der Nadeln und der Gelbfärbung des Baumes (99% sign. ≠0)

4.2.2 Charakterisierung der Magnesiummangelbäume

Die Mittelwerte der Tabelle 5 zeigen, daß die Magnesiummangelbäume im Saarland im Schnitt eine gute Benadelung aufweisen und dichte Kronen mit geringer Tendenz zum "Lametta-Syndrom" zeigen. Aufgrund der abgespreizten Äste zweiter Ordnung ist die Gelbfärbung der Nadeloberseite zu Beginn der Schädigung vom Boden aus kaum zu erkennen. Bei Fichten mit stärkerer Kronenverlichtung und Lamettabildung (beide Parameter sind signifikant miteinander korreliert, vgl. Tab. 3) ist die leuchtend gelbe Färbung ohne Schwierigkeiten sichtbar.

In den Hochlagen der Mittelgebirge läuft die Vergilbung der Fichten parallel mit einer starken Kronenverlichtung (vgl. REHFUESS 1983 b, BMFT 1985 b). In den untersuchten Fichtenbeständen besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen "Fensterbildung" (als Grad der Verlichtung) bzw. der Anzahl der Nadeljahrgänge und der Gelbfärbung. Nur vereinzelt (z. B. Probebaum 6, Schwerpunkt Hochwald, s. Anhang) treten Bäume mit starker Kronenverlichtung und starker Gelfärbung auf. Ein Schadensausmaß, wie etwa in den Hochlagen des Bayerischen Waldes, wo in Zusammenhang mit der Gelbfärbung eine flächenhafte Verlichtung bzw. Absterben der Fichtenbestände beobachtet werden kann, konnte im Saarland noch nicht festgestellt werden.

4.2.3 Kalzium

Die Kalziumwerte der untersuchten 3jährigen Nadeln lagen zwischen 0,21% und 1,58% Ca, mit einem Mittelwert von 0,77% (siehe Tabelle 7), dabei treten an 3 Standorten sehr niedrige (kleiner 0,3% Ca) und an 8 Standorten niedrige Kalziumgehalte (kleiner 0,4% Ca) auf, mit Schwankungen von bis zu 0,54% am Standort. 86 Proben (64%) wiesen hohe Kalziumwerte auf.

Eine signifikante Beziehung zu einem Schadensmerkmal konnte nur für die Gelbfärbung der Bäume festgestellt werden (Tabelle 3). Diese Beziehung ist jedoch nur schwach ausgeprägt und zeigt, daß dieses Schadenssymptom hauptsächlich auf Ca-armen Substraten auftritt. Innerhalb der Gruppe der gelbgefärbten Bäume besteht im Gegensatz zu Magnesium keine signifikante Beziehung mehr (vgl. Kap. 4.2.2.) zwischen den beiden Komponenten (Tabelle 4).

4.2.4 Kalium

Die Schwankungsbreite der Kaliumgehalte der 3-jährigen Nadeln liegen zwischen 0,25% und 0,78% mit einem Mittelwert von 0,50% Kalium (siehe Tabelle 8). Die maximale Streuung der Kaliumwerte an einem Standort ist zwar im Vergleich zur absoluten Schwankung von Magnesium und Kalzium mit 0,191% Kalium geringer, deckt jedoch aufgrund der niedrigeren allgemeinen Schwankungsbreite dieses Elements in Fichtennadeln den gesamten Bereich von sehr niedrigen (kleiner 0,35% K) bis hohen (größer 0,65% K) Gehalten ab (Richtwerte nach KNABE 1984).

```
MESSWERTE
 135
0 MEDIAN =
                   0.71000
O MITTEL =
                  0 76873
                                                         1.58000
                                        MAXIMUM =
                  0.21000
MINIMUM
                       0.33000
 0.05 QUANTIL =
                       1.33000
 0.95 QUANTIL =
             0.33000
                                        4 . 4 %
                           6
                              WERTE
UNTER
                                        8 . 9%
 UNTER
             0.43000
                          12
                              WERTE
             0.53000
                          11
                              WERTE
                                        8 . 1%
 UNTER
                          20
                              WERTE
                                       14.8%
             0.63000
 UNTER
             0.73000
                          21
                              WERTE
                                       15.6%
 UNTER
                          13
                              WERTE
                                        9 . 6%
 UNTER
             0.83000
 UNTER
             0.93000
                          13
                              WERTE
                                        9.6%
                                        8 . 9%
 UNTER
             1.03000
                          12
                              WERTE
                                        3 . 0%
             1 13000
                           4
                              WERTE
 UNTER
                              WERTE
                                        5 . 2%
 UNTER
             1.23000
                           7
                                        6.7%
             1 33000
                           9
                              WERTE
 UNTER
                                        5 . 2%
 AB
             1.33000
                              WERTE
```

Tab. 7: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kalziumgehalte in 3-jährigen Fichtennadeln (Richtwerte nach Knabe 1984: niedrig $\leq 0,4\%$; mittel 0,4-0,7%; hoch 0,7-1,1%; sehr hoch $\geq 1,1\%$; bezogen auf 2-jährige Nadeln).

```
0 135
       MESSWERTE
0 MEDIAN =
                   0.47000
0 MITTEL =
                  0.49696
 MINIMUM
                  0.25000
                                      MAXIMUM =
                                                      0.78000
 0.05 QUANTIL =
                      0.33000
                      0.71000
 0.95 QUANTIL =
UNTER
            0.33000
                       6
                             WERTE
                                      4 . 4%
 UNTER
            0.36800
                        10
                             WERTE
                                      7 . 4%
UNTER
            0.40600
                        17
                             WERTE
                                     12.5%
            0.44400
 UNTER
                             WERTE
                                     14.8%
                         20
UNTER
            0.48200
                        19
                             WERTE
                                     14.1%
 UNTER
            0.52000
                         5
                             WERTE
                                      3 . 7%
 UNTER
            0.55800
                        16
                             WERTE
                                     11.9%
            0.59600
                                     10.4%
 UNTER
                        14
                             WERTE
            0.63400
                         7
                             WERTE
                                      5 . 2%
 UNTER
            0.67200
                                      6 . 7%
 UNTER
                          9
                             WERTE
 UNTER
            0.71000
                         5
                             WERTE
                                      3 . 7%
 AB
            0.71000
                         7
                             WERTE
                                      5 . 2%
```

Tab. 8: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Kaliumgehalte in 3-jährigen Fichtennadeln (Richtwerte nach Knabe 1984, bezogen auf 2-jährige Nadeln: sehr niedrig – 0,35%; niedrig 0,35 – 0,5%; mittel 0,5 – 0,65%; hoch – 0,65%).

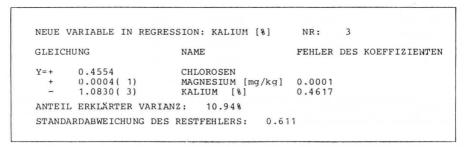
An 9 Standorten (11 Bäumen) traten sehr niedrige Kaliumgehalte in den einzelnen Proben auf. Bei 54 Probebäumen an weiteren 25 Standorten wurden niedrige Kaliumwerte (kleiner 0,50%) festgestellt. Demnach zeigten 48% der Probebäume eine schwache Kaliumernährung.

Eine allgemeine niedrige Kaliumversorgung konnte auch in verschiedenen Untersuchungen für den süddeutschen Raum ermittelt werden (vgl. HÜTTL & ZÖTTL 1985, ZÖTTL & HÜTTL 1985, BUCHNER & ISERMAN 1984, REHFUESS 1983 b).

Es besteht mit 99%-iger Signifikanz eine Beziehung zwischen den Kaliumgehalten und dem Auftreten von Triebschäden, d. h. einer Verkürzung der Trieblänge oder/und Kleinnadeligkeit der Triebe.

Auf 95% Signifikanzniveau läßt sich eine Beziehung zwischen dem Kaliumgehalt und dem Auftreten von Chlorosen, einer fahlgelben Färbung vor allem der älteren Nadeln, nachweisen (siehe Kap. 4.1.).

Durch Multivariate Regressionsanalyse kann eine hochsignifikante Relation (99,5%) zwischen Chlorosen und hohen Magnesiumgehalten und niedrigen Kaliumgehalten gefunden werden (Tabelle 9).



Tab. 9: Multivariate Regressionsanalyse der Beziehung zwischen Chlorosen und Magnesiumund Kaliumgehalten.

4.2.5 Charakterisierung der chlorotischen Bäume

Die Tabelle 10 zeigt, daß chlorotisch gefärbte Bäume im Mittel hohe Magnesium- und Kalziumgehalte, jedoch niedrige Kaliumgehalte aufweisen.

Die Tabelle 3 weist auf, daß zwischen dem Auftreten von Chlorosen und der Abnahme der Gesamtbenadlung, der Zunahme von Lamettabildung, Fensterbildung, Angsttrieben und Triebschäden signifikante Korrelationen bestehen.

Tabelle 11 gibt die Mittelwerte der Probebäume, die chlorotische bzw. leicht chlorotische Nadeln aufweisen, wieder.

Bei starker chlorotischer Aufhellung der Nadeln zeigen die Bäume demnach meist sehr stark verlichtete Kronen (Lärchentyp nach SCHRÖTER & ALDINGER 1985), oft hohe Nadelverluste und sehr geringe Austriebslängen. Die Nadelmasse besteht zum großen Teil aus Angsttrieben, die bei fortschreitender Schädigung den Hauptteil der Nadelmasse stellen. Die Rinde zeigt häufig harzende Wunden und blättert an der Oberfläche schuppig ab (vgl. Kap. 2.7.2.1.). Die Krone wirkt sehr struppig und gedrückt, was auf den verringerten Höhenzuwachs zurückgeht. Kronenbruch und Mehrgipfeligkeit konnte in diesen Fichtenbeständen sehr oft beobachtet werden

N	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL.	MIN	MAX
	MAGNESI	UM (MG/	KG1	CALZIUM	[%]		KALIUM	[%]	
	SCHWEFE	L 1941			HRGAENGE	()	LAMETTA		
		BILDUNG			IEBE []			HAEDEN (1
14 leicht chlorotisch	914.07		1540.00	0.77	0.36	1.51	0.42	0.26	0.65
	0.18	0.10	0.22	5.35	4.40	6 . 45	2.50	1.00	4.00
	2.71	1.00	4.00	2.00	1.00	3.00	0.64	0.00	2.00
	1.71	0.00	2.00		1.00		0.04	0.00	<i>x</i> . 0 0
6 ohlorotisch	1362.17		1800.00	1.13	0.91	1.32	0 . 42	0.27	0.64
	0.19	0.14	0.25	3.47	1.70	4.55	3 . 3 3	3 00	4.00
	3.83	3.00	4.00	3.17	3.00	4.00	2.17	0.00	4.00
	1 . 83	1.00	3.00		3.00	4.00		0.00	4.00
8 gruen	885.43		2560.00	0.85	0.33	1.55	0.53	0.44	0.70
	0.19	0.13	0.25	5 . 77	4.80	6.70	1.87	0.00	4.00
	1.62	0.00	3.00	1 . 6 2	1.00	3.00	0.25	0.00	2.00
	1 . 12	0.00	3.00	1.02	1.00	3.00	0.23	0.00	2.00
4 sehr leicht coldsp.	780.00		1330.00	0.80	0.63	1.07	0.55	0.36	0.71
	0.20	0.17	0.24	6.15	3 80	6.50	2.75	2 00	3.00
	1.75	1.00	2.00	1 . 2.5	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00
	2.00	2.00	2.00	1. 7.3	1.00	2.00	0.00	17 . 0 0	0.00
82 leicht goldspitzig	823.93		1940.00	0.80	0.21	1.58	0 51	0.25	0.76
or resent dolardittid	0.20	0.10	0.32	3.42	3 . 2 5	6.80	2 . 30	0.00	4.00
	2.06	0.00	4.00	1.74	0.00	3.00	0.30	0.00	3.00
				1.79	0.00		0.30	0.00	3.00
7 coldspitsic	1.13	0.00	3.00		101 212		a tran	0.00	27.722
/ doidsbitsid	657.29		1070.00	0 . 5 2	0 . 2 2	0.63	0.60	0.40	0.78
	0.19	0.14	0 . 2 3	5 . 2 0	3.05	6.20	2 . 2.9	1.00	3.00
	2.71	1.00	3.00	1 . 71	1.00	2 . 0 0	0 . 2 9	0.00	1.00
a programmy recognization accommon	0.86	0.00	3,00			- 100 P	790 20070	NW 12/24	507 1979
1 stark coldspitzic	262.00	262.00	262.00	0.79	п. 79	0.79	0 40	0.10	0.40
	0.18	0 . 1 8	0.18	5 . 70	5 70	5.70	1.00	1.00	1 00
	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
9 1/4 gelb	2.00	2.00	2 . 0 0		40 Nov	550 Sec. 07	W		
y 1/4 delb	374.78	275.00	561.00	0.56	0.30	0.88	0.45	0 . 3 4	0 . 5 9
	0 . 1 5	0 . 1 0	0.21	5 . 8 3	3 . 25	6 . 65	2.33	0.00	4.00
	1 56	0.00	3.00	1.78	1.00	3,00	0.56	0.00	2.00
	1.56	0.00	2.00						
1 2/4 celb	315.00	315.00	315.00	0.39	0.39	0.39	0.41	0 . 11	0 . 41
	0.18	0.18	0.18	6.70	6.70	6.70	2.00	2.00	2 00
	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.00	2 00	2.00						
3 3/4 delb	230.00	194.00	257.00	0.36	0 . 2 2	0.49	0.50	0.44	0.54
	0 . 1 9	0.18	0.20	1.93	3.55	5 . 95	2.00	2 . 0 0	2.00
	2.33	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	0 33	0.00	1.00
	2 00	2 00	2 00						

Tab. 10: Gruppierung der Messwerte nach der Färbung der Nadelproben.

Mittelwerte		fehlt	N mal	Streuuna	Variationskonffizient
AGNESIUM [MG/KG:	1023.86938	0	382.	20117	0.37329
ALZIUM [%]	0.87478	0	0.	32351	0 . 3 6 9 8 2
ALIUM (%)	0.43087	0	0.	10694	0.24819
CHWEFEL [%]	0.18170	1	0.	03851	0.21195
IADELJAHRGAENGE :	4.78869	0	1.	51448	0.31626
OLDSPITZIGKEIT *:	1.00000	0	0.	90453	0.90454
ELBFAERBUNG DER:*	0.00000	0	0.	00000	0.00000
AMETTA :	2.78260	0	0 .	95142	0.34192
ENSTERBILDUNG :	2.91303	0	0.	94934	0.32589
NGSTTRIEBE :	2.21738	0	0 .	85051	0.38356
RIEBSCHAEDEN :	0.95652	0	1.	33069	1.39118
OLDSPITZICKEIT °:	1.69564	0	0.	92613	0.54618
ELBFAERBUNG DES:	0.13043	0	0.	45770	3.509-01
UNKTCHLOROSEN :	1.78260	0	0.	59975	0.33645
ILZE :	0.13043	0	0.	45770	3.50901
LTER DES BAUMES:	56.04327	0	11:	90731	0 . 2 1 2 4 7
OEHE DES STANDO:	407.65210	0	116.	74873	0.28639
CHLOROSEN :	1.30434	0	0.	92613	0.71004

Tab. 11: Mittelwerte, Streuung und Variationskoeffizienten der Meß- und Schätzwerte der 24 untersuchten Fichten mit leichtchlorotischen und chlorotischen Probenadeln. (*der Nadeln; °des Baumes)

4.2.6 Schwefel

Die Standortmittelwerte der Schwefelgehalte der 3-jährigen Fichtennadeln liegen zwischen 0,10% und 0,28% Schwefel mit einem Mittelwert von 0,19%. Der maximal erreichte Analysenwert lag bei 0,32% der Minimalwert wurde bei 0,10% gemessen (siehe Tabelle 12). An 9 Standorten (20,9%) liegen die Meßwerte in einem Bereich, der nicht auf einen Einfluß durch Schwefelimmissionen schließen läßt; 7 Standorte (16,3%) zeigen einen möglichen Einfluß, 11 Standorte (25,6%) einen beginnenden Einfluß, 14 Standorte (32,6%) einen stärkeren und 2 Standorte (4,6%) einen sehr starken Einfluß (Richtwerte nach KNABE 1984). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß sich die Vergleichswerte von KNABE (1984) (siehe Tabelle 12) auf 2-jährige Nadeln beziehen.

```
127
     MESSWERTE
               0.19000
 MEDIAN =
               0.19086
 MITTEL =
                                                  0.32000
                0.10000
                                   MAXIMUM =
MINIMUM
0.05 QUANTIL =
                   0 12000
0.95 QUANTIL =
                    0.26000
                       5
                                   3 . 9%
UNTER
          0.12000
                         WERTE
                      5 WERTE
                                   3 . 9%
UNTER
          0.13400
UNTER
          0.14800
                          WERTE
                                   4.7%
                       6
          0.16200
                      14 WERTE
                                  11.0%
UNTER
          0.17600
                    . 12
                          WERTE
                                   9.4%
UNTER
UNTER
          0.19000
                      19
                          WERTE
                                  15.0%
          0.20400
                      21
                          WERTE
                                  16.5%
UNTER
UNTER
          0.21800
                      13
                         WERTE
                                  10.2%
          0 23200
                                   8 . 7%
UNTER
                      1 1
                          WERTE
UNTER
          0.24600
                      10
                          WERTE
                                   7.9%
          0.26000
                       1
                          WERTE
                                   3 . 1%
UNTER
          0.26000
                      7
                          WERTE
                                   5 . 5%
AB
```

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Schwefelgehalte in 3-jährigen Fichtennadeln (Richtwerte nach Knabe 1984, bezogen auf 2-jährige Nadeln, als Hinweis auf Immissionsbelastung: kein Hinweis $\leq 0,16\%$ möglich 0,16-0,20%, beginnend 0,20-0,24%, stärker 0,24-0,28%, sehr stark $\geq 0,28\%$).

Da in dieser Untersuchung der 3. Nadeljahrgang verwendet wurde und demzufolge die Grenzen der einzelnen Bereiche etwas höher angesetzt werden müssen (vgl. WAGNER, A. 1985), wurde von einer Immissionsbeeinflussung durch Schwefelverbindungen erst über einen Gehalt von 0,21% ausgegangen (vgl. a. Kap. 2.8.3.1). Dies ist bei 9 Standorten bzw. 20,9% der untersuchten Fichtenbestände der Fall.

Zwischen den Schwefelgehalten der 3-jährigen Nadeln und den Schadsymptomen konnte nur eine signifikante Korrelation festgestellt werden. Lediglich auf 95% Signifikanzniveau besteht eine Beziehung zwischen Gelbfärbung und abnehmenden Schwefelgehalten (vgl. 4.2.2. und Tabelle 3).

Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der immissionsökologischen Waldzustandserfassung der LÖLF (1979) in Nordrhein-Westfalen, die eine strenge Korrelation zwischen der Gesamtbenadelung (Anzahl der Nadeljahrgänge) und dem Schwefelgehalt 1-jähriger Fichtennadeln feststellen konnten (vgl. KNABE 1981).

Zwar zeigen Fichtenbestände mit hohen Schwefelkonzentrationen oft Nadelverluste, jedoch besteht kein Zusammenhang zwischen dem Grad der Entnadelung und der Höhe der Schwe-

felgehalte. Weiterhin treten Bestände auf, die hohe Schwefelwerte und eine gute Benadelung aufweisen (Standort 5 und Standort 9, vgl. a. Kap. 4.7.).

Dies könnte auf die gute Nährstoffversorgung in diesen Fichtenbeständen zurückzuführen sein (vgl. BMFT 1985 b), da hierdurch allgemein eine stärkere Vitalität und damit eine erhöhte Streßtoleranz bedingt wird.

Außerdem treten starke Nadelverluste in Beständen mit geringen Schwefelgehalten auf, was darauf schließen läßt, daß Schwefelwirkungen im gesamten Untersuchungsgebiet, auch in den belasteten Bereichen, von anderen Faktoren überlagert werden (vgl. Tab. 13). Es ist ebenfalls zu berücksichtigen, daß die strenge Beziehung zwischen Schwefelgehalten und Gesamtbenadelung zu einem Zeitpunkt ermittelt wurde (1979), da in diesem Untersuchungsraum noch keine sichtbare, "neuartige" Waldschädigung aufgetreten ist. Die Waldschadenssituation hat sich inzwischen jedoch auch in Nordrhein-Westfalen geändert (PRINZ et al. 1982, SPELSBERG 1983, ROST 1985).

**************************************	CALATO	TALT.	LA SCHWEST	AET ABILOU	ROTI OUNG TOPPORT	ANG STATE	A TERSCHA DE	21058 1 1 2 1 C	NAT CHIOROS	ALTER SEN	AND CASS	SELISALIA CANADEL	is in the second
MAGNESIUM EMG/KG	1.000	0.539	-0.046	-0.141	0.101	0.058	0.207	-0.080	0.045	0.523	-0.140	0.156	0.382
CALZIUM [%]	0 539	1.000	-0.075	-0.209	0.135	0.032	0.067	-0.055	-0.129	0.272	-0.346	0.176	0.226
KALIUM [%]	-0.046	-0.075	1.000	0.067	-0.096	0.088	0.101	-0.118	-0.071	0.214	0.022	-0.218	0.215
SCHWEFEL [%]	-0.141	-0.209	0.067	1.000	0.102	0.043	0.138	-0.16A	0.019	0.016	0.407	0 328	-0 211
LAMETTA :	0 101	0 135	-0.096	0 102	1.000	0.805	0 086	0.223	0.240	0 . 2 6 2	0.259	0 . 2 3 2	-0.255
FENSTERBILDUNG :	0 058	0 032	0.088	0.043	0.805	1.000	0 042	n 298	0 191	0.213	0.366	0.239	-0 354
ANGSTTRIEBE	0.207	0.067	0.101	0.138	0.086	0.042	1.000	-0.047	0.146	0.147	-0 073	0 297	-0.115
TRIERSCHAEDEN	-0.000	-0 055	-C.118	-0.168	0.223	0 . 2 9 8	-0.042	1 000	0 252	0 567	0 054	-0.073	0.106
GULDSPITZICKEITO:	0 045	-0.129	-0.071	0.019	0.240	0.191	0.146	0.232	1.000	0.283	0 010	-0 072	D DAB
PUNKTCHLOROSEN :	0.523	0.272	0.214	0.016	0.262	0.213	0.167	0.087	0 283	1.000	0.034	0.234	0.281
ALTER DES BAUMES	-0.140	-0.346	0.022	0.407	0.259	0 366	-0.073	0.054	0 018	0.054	1 000	0 410	-0.084
HOEHE DES STANDO	0.156	0.176	-0.218	0.328	0.232	0.239	0.297	-0.073	-0.072	0.234	0.410	1.000	-0.172
NADELJAHRGAENGE :	0.182	0.226	0.215	-0.214	-0.255	-0.354	-0.115	0.106	0.068	0.281	-0.084	-0.172	1.000

Tab. 13: Matrix der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der untersuchten Fichten der Standorte 1 – 20 ("Ballungsraum") der zur statistischen Auswertung herangezogenen Parameter (stark eingerahmte Korrelationen 99,9%, schwach eingerahmte 99,9% sign. \neq 0, zweiseitiger F-Test. Schranken der Korrelationskoeffizienten: 99,9% = 0,418; 99% = 0,335; 95% = 0,257). (°des Baumes)

4.3. Beziehungen zwischen den Konzentrationen der untersuchten Nährstoffe

Wie aus Tabelle 3 und Abb. 3 zu ersehen ist, zeigt sich eine signifikante Beziehung zwischen den Magnesium- und Kalziumgehalten (99,9% Signifikanzniveau) und eine schwächere Korrelation zwischen Kalium- und Schwefelgehalten.

Der Zusammenhang zwischen Magnesium und Kalzium erklärt sich aus dem gemeinsamen Auftreten dieser beiden Erdalkalimetalle in nährstoffreichen Böden bzw. ihrer gemeinsamen Auswaschung durch atmogene Säuredeposition (BERGMANN 1983, ULRICH et al. 1979, REH-FUESS 1981 a, b, BMFT 1985 a, b). KNABE (1983) fand eine strenge Korrelation zwischen Kalium und Schwefel und vermutet, daß die Pflanze Kalium zur Neutralisierung von Schwefel benutzt. Im Gegensatz zu der Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen 1979 treten im Saarland auch hohe Schwefelwerte und niedrige Kaliumwerte gemeinsam auf (siehe Schwerpunkt Ballungsraum, Anhang), was einen weiteren Hinweis auf eine Veränderung der Nährstoffsituation innerhalb des Zeitraums von 1979 bis 1984 (vgl. WAGNER, A. 1984) darstellt.

4.4. Verbreitung der analysierten Nährstoffgehalte

Niedrige Magnesium- und Kalziumgehalte treten im südlichen Warndt und im Bereich des Schwarzwälder Hochwaldes auf. Dies wird durch die Bodenuntersuchungen von EISEN-BARTH & KOCH (1985) und WAGNER, A. (1985) untermauert, die eine geringe bis kritische Versorgung der Böden mit Kalzium vor allem im südlichen Warndt und nördlichen Saarland feststellen.

```
Mittelw.
                        Varianz
                                     Mittl. Abweichung Var.Koeff.
         811.830233
                                        320.3049682
                                                           39.45 %
X:
                      102595.27264
                                                           33.55 %
           0.787349
                           0.06976
                                          0.2641237
Regressionsgleichungent
                         +0.00050*X
                                         9.2999422
y=
X=
         0.391143
      232.453416
                       +735.85784*Y
                                       254.5985801
Korrelationskoeffizient
                                                   :0.606788884911
                                                   :36.8192750851%
Anteil erklaerter Varianz
Signifikanztest:
T-Statistik
                   :4.88806804484
                    41 Freiheitsgraden
Mit
                            %
                                                                          Mg (mg/kg)
```

Abb. 3: Lineare Regression zwischen den Standortmittelwerten der Magnesiumgehalte und der Kalziumgehalte in 3-jährigen Fichtennadeln.

Einheit auf

bis 2000

von 0.3 bis 1.35

500

X-Achse: Einheit auf Y-Achse: 0.05

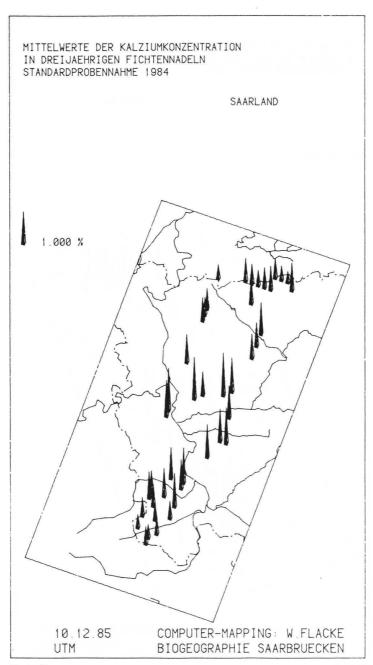
von 0

Die höhere Kalziumversorgung im nördlichen Warndt und im gesamten industriellen Ballungsraum wird von WAGNER, A. (1985) auf den atmosphärischen Eintrag durch die kalkreichen Stäube der Minetteverarbeitung zwischen 1880 und 1970 zurückgeführt (siehe auch WAG-NER, A. 1983). Die Karte 5 der mittleren Kalziumgehalte bestätigt die hohen Kalziumgehalte dieser Bereiche, die auch auf den natürlicherweise kalkarmen Buntsandsteinböden auftreten.

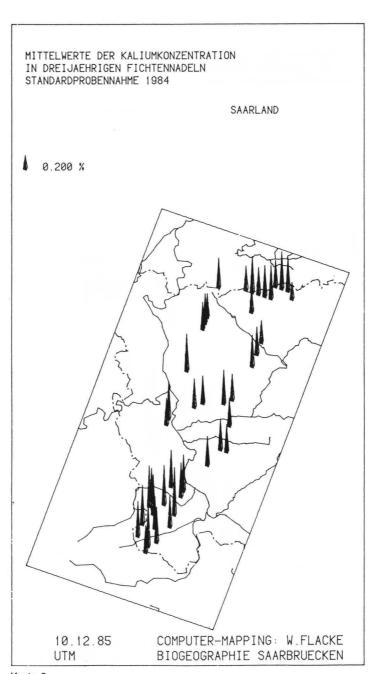
Die Kalziumgehalte zeigen außerdem eine signifikante Abnahme mit der Höhe (Tabelle 3), was einerseits auf eine allgemeine Abnahme zweiwertiger Kationen mit steigender Höhe (vgl. FIED-LER et al. 1973), andererseits auf die kalkarmen Gesteine des Schwarzwälder Hochwaldes sowie die langandauernde Streunutzung und Nutzung als Waldweide in diesen Bereichen (WAG-NER. A. 1985) zurückzuführen sein kann.

WAGNER, A. (1985) stellt durch Vergleich von Bodenanalysenserien eine 30%-ige Abnahme der Kalziumvorräte in den obersten 4 cm der Böden fest, die er auf den anthropogenen Säureeintrag zurückführt.

Im Gegensatz zu den von WAGNER, A. (1985) durchgeführten Nährstoffanalysen in Fichtennadeln wurden im Warndt vor allem im südlichen Teil niedrige Kaliumgehalte ermittelt (siehe Karte 6). Niedrige und sehr niedrige Kaliumgehalte zeigten sich aber besonders im Bereich des Schwarzwälder Hochwaldes. Am Standort 40 lagen die analysierten Gehalte von Kalium extrem niedrig und an älteren Nadeln wurde vereinzelt die von BUCHER & ISERMAN (1984) und REHFUESS & RODENKIRCHEN (1985) beschriebene Rotfärbung der älteren Nadeln beobachtet.



Karte 5



Karte 6

Außerdem treten auch auf gut mit Nährstoffen versorgten Böden, die sich auf Muschelkalk und den Gesteinen des Karbons entwickelt haben, wahrscheinlich aufgrund von Ionenantagonismen (vgl. BERMAN 1983) vereinzelte Kaliummangelerscheinungen (siehe Tabelle 14; vgl. Kap. 4.2.4.) auf.

In Übereinstimmung mit den Werten der langjährigen SO_2 -Belastung (siehe Karte 7) trat die höchste Schwefelbelastung im Warndt und im Bereich des Saartals auf (vgl. Flechtenkarte in Umweltbericht 1978/79).

Die hohe Dichte der Probenahmepunkte ermöglicht jedoch ein differenziertes Bild der Schwefelbelastungssituation als Karte 7. Die Karten 8 und 9 der Standortmittelwerte der Schwefelkonzentrationen zeigen, daß die höchsten Werte im südlichen Warndt auftreten. Ein zweites schwächeres Maximum liegt nordöstlich – in Hauptwindrichtung (siehe Abb. 4) – von Dillingen.

Die Ursachen dieser erhöhten Schwefelwerte sind in den Emissionen der Industriegebiete jenseits der französischen Grenze in Creutzwald, Carling, Merlebach und Forbach und der Industriewerke im Raum Dillingen/Völklingen zu suchen.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Standorte im "Ballungsraum" (Tabelle 15) als immissionsbelasteten Raum und der Standorte des "Reinluftraumes" (Tabelle 16), der mit dem Schwarzwälder Hochwald gleichzusetzen ist, verdeutlicht, daß diese Einteilung in Bezug auf die Schwefelimmission zutreffend ist. Betrachtet man die Schädigungen der Fichten, wie Nadelverluste und Kronenverlichtung (entspricht Fensterbildung), sind nur geringe Unterschiede festzustelen, die durch die Verringerung der Anzahl der Nadeljahrgänge mit abnehmender Höhe zusätzlich in Frage gestellt werden (vgl. HEIDINGSFELD 1985, SCHMIDT-VOGT 1977).

4.5 Beziehungen zwischen den untersuchten Schadsymptomen

Die strengste Relation konnte zwischen der Fensterbildung, als Maß für die Kronenverlichtung, und dem schlaffen Herabhängen der Äste zweiter Ordnung, der Lamettabildung, festgestellt werden (siehe Tabelle 3 u. Abb. 5). Aus diesem Ergebnis läßt sich der Schluß ziehen, daß es sich bei der Lamettabildung im Saarland in den meisten Fällen um ein Schadsymptom, das sogenannte "Lametta-Syndrom", handelt (vgl. NAUHAUSER 1983, PRINZ et al. 1984, SCHRÖTER & ALDINGER 1985). Hierbei entwickeln sich Fichten, die im gesunden Zustand eine bürsten- und plattenartige Verzweigung aufweisen, zu Kammfichten mit starken Nadelverlusten.

Die Lamettabildung zeigt sich meist zuerst im oberen Kronenbereich und nimmt zur Schattenkrone hin ab, so daß Bäume in der oberen Krone den Verzweigungstyp einer Kammfichte und in der Schattenkrone den einer Bürsten- und Plattenfichte besitzen (vgl. SCHMIDT-VOGT 1977).

Die Fensterbildung korreliert erwartungsgemäß signifikant mit der Abnahme der Gesamtbenadelung, jedoch zeigt sich der vergleichsweise niedrige Korrelationskoeffizient dieser Beziehung, daß weitere Faktoren den Verlichtungsgrad der Bäume mitbestimmen. In erster Linie wird die Fensterbildung durch eine Reduzierung der Austriebslänge bzw. die Kleinnadeligkeit der Zweige, also den Triebschäden, zusätzlich beeinflußt (siehe Tabelle 3).

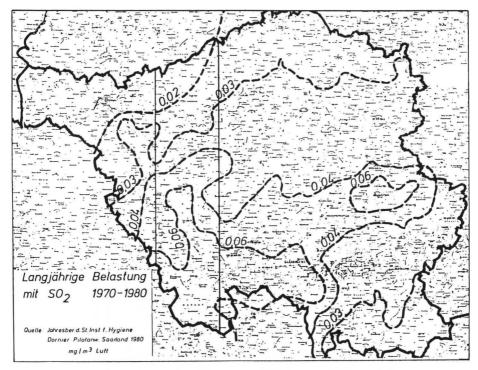
Bei stärkerer Schädigung der Fichten lag die Länge der siebenjährigen Äste oft weit unter einem Meter. Die Astlänge bzw. Austriebslänge wurde in dieser Untersuchung nicht quantitativ erfaßt, deshalb können keine genaueren Aussagen hierüber getroffen werden. Diese Beziehung weist jedoch darauf hin, daß die Entwicklung der Schädigung zu einer Reduktion der Wuchskraft und nicht lediglich zu einem Verlust der Anzahl der Nadeljahrgänge, sondern vielmehr zu einer Schädigung der zur Assimilation zur Verfügung stehenden Nadelmasse führt. In diesem Zusammenhang ist es erwähnenswert, daß SCHÜTT et al. (1983) eine Störung des Wuchsstoffhaushaltes bei geschädigten Fichten feststellten.

Davon abweichend war in Rheinland-Pfalz im Rahmen der "Immissionsökologischen Waldzustandserfassung", keine Depression des Höhenzuwachses zu erkennen, was verdeutlicht, daß bei der Fichte im Gegensatz zur Tanne die Relation zwischen Zuwachsdepression und Schadklasse nicht einheitlich festzulegen ist (BAUCH et al. 1985).

GRUPPIERUNG DER NAEHRSTOFFGEHALTE NACH DER GEOLOGISCHEN FORMATION DES STANDORTS

N	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL	MIN	MAX	MITTEL	MIN	MAX
	MAGNES	UM [MG/)	(G)	CALZIUM	[%]		KALIUM	[%]	
3 Obere Heusweiler Sch.	1353.33	1300.00	1390.00	1.14	0.91	1 . 2.7	0.43	0.38	0.52
24Quartär (Lehm, Terassen,) 837.63	275.00	2560.00	0.86	0.28	1.58	0.47	0.33	0.70
3 Oberer Muschelkalk		1160.00	1540.00	0.88	0.71	1.03	0.57	0.53	0.65
3Oberer Buntsandstein	992.33	647.00	1310.00	1.33	1.23	1.51	0.59	0.46	0.67
2 Rhyolit (Magmatit)	1215.00	910.00	1520.00	1.06	0.87	1.25	0.40	0.39	0.42
66Mittlerer Buntsandstei	n 744.80	194.00	1450.00	0.73	0.21	1.38	0.52	0.26	0.78
3Unterer Muschelkalk	1053.67	600.00	1800.00	1.14	1.02	1.33	0.41	0.31	0.54
3Kreuznacher Schichten	1120.00	1050.00	1170.00	0.75	0.67	0.91	0.49	0.39	0.59
12Waderner Schichten	791.75	331.00	1940.00	0.72	0.42	1.07	0.41	0.25	0.59
16Taunusquarzit	567.44	257.00	899.00	0.52	0 . 2 2	0.92	0.51	0.34	0.71

Tab. 14



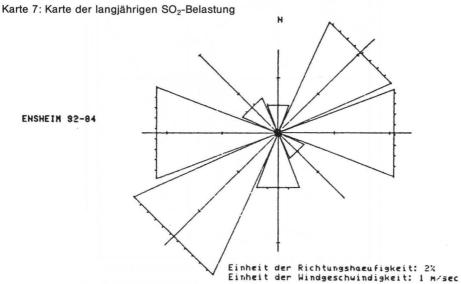
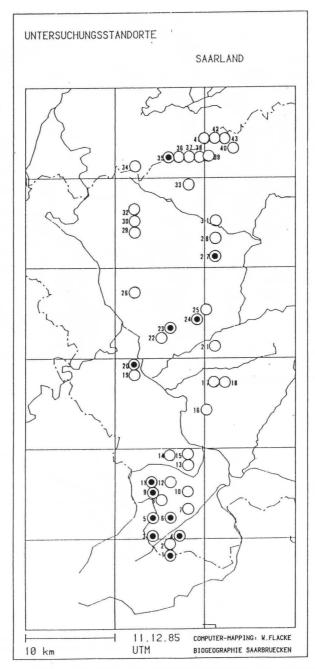
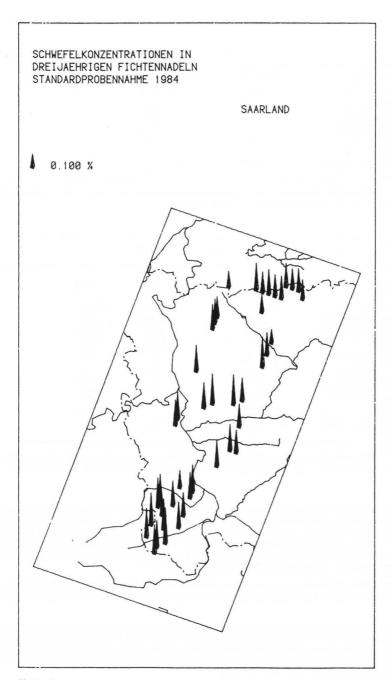


Abb. 4: Windverteilung der Wetterwarte Ensheim der Jahre 1982 – 1984



Karte 8: Standorte mit einem mittleren Schwefelgehalt der 3-jährigen Nadeln $\stackrel{>}{=}~0,21\%$



Karte 9

59 vollstaendige-	. 4 unvol	Istaendi	de D	atensaetzo	
Mittelwerte		fehlt N	ma 1	Streuuna	Variationskoeffizien
MAGNESIUM [MG/KG:	842.88135	0	397	. 64917	0.47177
CALZIUM [%]	0.82932	0	0	. 34146	0.41174
KALIUM (%)	0.54254	0	0	. 1 1 8 0 8	0.21765
SCHWEFEL [%] :	0.20981	4	0	. 04119	0.19630
LAMETTA :	2.27117	0	1	11154	0.48941
FENSTERBILDUNG :	2.18643	0	1	. 13675	0.51991
ANGSTTRIEBE :	1.83049	0	0	67348	0.36792
TRIEBSCHAEDEN :	0.11864	0	0	49427	4.16598
GOLDSPITZICKEIT :	1.84744	0	Ω	61067	0.33055
PUNKTCHLOROSEN :	1.13558	0	0	. 8 1 9 1 2	0.72132
ALTER DES BAUMES:	45.84723	n	7	15680	0.15610
HOEHE DES STANDO:	260.44067	0	3 0	33177	0.11646
NADELJAHRGAENGE :	5.34657	0	0	96107	0.17975

Tab. 15: Mittelwerte, Streuung und Variationskoeffizienten der Meß- und Schätzwerte der Standorte 1 bis 20 ("Ballungsraum"). ("des Baumes)

Mittelwerte		fehlt N	mal	Streuuna	Variationskoeffizien
MAGNESIUM [MG/KG:	636.57764	0	3 4 5	. 23608	0.54233
CALZIUM [%]	0.64644	0	0	23356	0.36130
KALIUM [%]	0.43622	0	0	. 10537	0.24155
SCHWEFEL [%]	0.16511	4	0	.03307	0.20030
NADELJAHRGAENGE :	5.59888	0	0	. 8 2 5 1 1	0.14737
GOLDSPITZIGKEIT*:	1.33333	0	1	.08712	0.81534
GELBFAERBUNG DER*	0.48889	0	0	. 89499	1.83067
LAMETTA :	2.42221	0	0	. 9 6 5 0 5	0.39842
FENSTERBILDUNG :	2 02221	0	1	. 15777	0.57253
ANGSTTRIEBE :	1.71110	0	0	. 8 4 2 6 9	0.49249
TRIEBSCHAEDEN :	0.55555	0	0	. 94281	1.69706
GOLDSPITZIGKEIT°:	1.73332	0	0	93907	0.54177
GELBFAERBUNG DES"	0.75555	0	1	. 17077	1.54956
PUNKTCHLOROSEN :	1.68888	0	0	. 79266	0.46934
PILZE :	0.40000	0	0	. 78044	1 . 95111
ALTER DES BAUMES:	54.26645	0	1 1	. 8 1 9 1 9	0.21780
HOEHE DES STANDO:	434.66650	0	118	. 40530	0.27240
CHLOROSEN :	0.35556	0	0	. 60886	1 . 7 1 2 4 1

Tab. 16: Mittelwerte, Streuung und Variationskoeffizienten der Meß- und Schätzwerte der Fichten der Standorte 28 – 43 ("Reinluftgebiet-Hochwald"). (*der Nadeln; °des Baumes)

Daneben versucht der Baum die Verlichtung der Krone, den Verlust von Nadeljahrgängen und die Triebschädigung durch Ausbildung von Ersatztrieben, Äste erster Ordnung auf den Astoberseiten aus Proventiv- und Adventivknospen, auszugleichen (siehe Tabelle 3). Zwar entstehen auch an vitalen Fichten meist jedes Jahr einzelne solcher Ersatzbetriebe, nur die Intensität dieses Prozesses – die Angsttriebe können bei starker Schädigung den Großteil der Nadelmasse stellen – ist ungewöhnlich (REHFUESS 1983 c).

Die signifikanten Beziehungen zwischen Lamettabildung, Fensterbildung, Angsttrieben und Triebschäden zeigen, daß diese Schadsymptome gemeinsam im Schädigungsverlauf zunehmen.

Ebenfalls zu nennen ist hierbei die Abnahme der Gesamtbenadelung, die jedoch zu Triebschäden und Lamettabildung nicht in Beziehung steht. Dieser Tatbestand erklärt sich daraus, daß Triebschäden zwar zu einer Kronenverlichtung führen können, aber keine Reduktion der Anzahl der Nadeljahrgänge zur Folge haben müssen, und Lamettabildung auch ohne Nadelverluste auftreten kann (vgl. Kap. 2.7.2.2).

```
Mittelu.
2.342791
2.176047
                                     Mittl. Abweichung Var. Koeff.
                        Varianz
                           0.46278
1:
                                           0.6802787
                                                           29.04 %
                                                            35.16 %
1:
                           0.58535
                                           0.7650806
Regressionsgleichungent
500
        0.309800
                         +0.79659*X
                                          0.5490817
                         +0.62979*Y
                                         0.4802188
Korrelationskoeffizient
                                                    :0.7082967677
                                                    :59.1684311135%
Anteil erklaerter Varianz
Signifikanztest:
T-Statistik
                   :6.42473039712
Mit
                    41 Freiheitsgraden
KEGNEHVERLICHTUNG
(FEHSTERBILBUNG)
UND LAHETTA
                                                                   ×
MITTELWEPTE DER
STANDORTE
                                             ×
                              Einheit auf
                                           X-Achse:
                                                     9.5
                                                           von 0.5
                                                                     bis 4
                              Einheit auf Y-Achse: 0.5
                                                                     bis 4.5
                                                           von 0.5
```

Abb. 5: Lineare Regression zwischen der Fensterbildung als Maß der Kronenverlichtung und der Lamettabildung (Standortsmittelwerte).

Hinsichtlich der Nadelverfärbung besteht der stärkste Zusammenhang zu den oben genannten Schadsymptomen und dem Auftreten von Chlorosen (siehe Tabelle 3 und Tabelle 17).

```
NEUE VARIABLE IN REGRESSION: LAMETTA
                                                NR :
GLEICHUNG
                         NAME
                                             FEHLER DES KOEFFIZIENTEN
       1 0828
                         CHLOROSEN
                         NADELJAHRGAENGE
                                             0.1015
       0.2647*X( 5)
                                             0.1124
       0.2122*X( 8)
                         LAMETTA
       0.1190*X( 9)
                         FENSTERBILDUNG
                                              0.0956
ANTEIL ERKLAERTER VARIANZ:
                             39 89%
STANDARDAEWEICHUNG DES RESTFEHLERS:
                                         0.489
```

Tab. 17: Multivariate Regressionsanalyse der Beziehung zwischen den Schadsymptomen Chlorose, Lametta- und Fensterbildung und der Anzahl der Nadeljahrgänge (Teilgebiet Hochwald).

Die Korrelation auf hohem Signifikanzniveau mit Entnadelung, Lamettabildung, Kronenverlichtung, Angsttrieben und Triebschäden verstärkt sich bei der alleinigen Betrachtung der chlorotischen Fichten (siehe Tabelle 18), wobei jedoch in dieser Gruppe die Korrelation zwischen Gesamtbenadelung und Chlorosen nicht mehr auftritt. Der Grund hierfür liegt darin, daß häufig eine starke Verkürzung der Trieblängen, jedoch nicht immer eine Reduktion des Nadelalters mit der Zunahme der Verfärbung einhergeht.

Dies führt zu der Überlegung, vor allem in chlorotischen Fichtenbeständen, im Gegensatz zur "Immissionsökologischen Waldzustandserfassung" nicht die Anzahl der Nadeljahrgänge, sondern die Nadelmasse als Schadenskriterium zu verwenden.

Da im Rahmen der forstlichen Waldschadenserhebung allgemein Nadelverluste und nicht die Anzahl der Nadeljahrgänge, die in solchen Beständen vom Boden aus ohnehin nicht festzustellen sind, eingeschätzt werden, entspricht dies der normalen Praxis. Innerhalb der Gruppe der chlorotischen Fichten (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 11) konnte die stärkste Gesamtschädigung beobachtet werden (vgl. BMFT 1985 b, S. 82, REHFUESS 1983 b).

Die Gelbfärbung steht nach der statistischen Auswertung mit keinem übrigen Schadsymptom in eindeutiger Beziehung (siehe Tabelle 3). Dies läßt zusammen mit den Mittelwerten der Tabelle 5 die Interpretation zu, daß im Saarland im allgemeinen die Magnesium-Mangelsymptome noch nicht zu einer stärkeren Verlichtung bzw. Entnadelung geführt haben. Vereinzelt konnten aber auch sehr stark gelbgefärbte Fichten mit Nadelverlusten und stärkerer Kronenverlichtung (siehe Probebaum 5 und 6: Schwerpunktstandort Hochwald, Anhang) angetroffen werden, die eine Entwicklung, wie sie bereits in den höheren Lagen der Bayerischen Mittelgebirge stattgefunden hat, befürchten lassen.

Das häufigste Verfärbungssymptom im Untersuchungsgebiet, die Goldspitzigkeit, korrelierte mit der Ausbildung des Lamettasymdroms.

Negative Korrelationen zwischen den einzelnen Nadelverfärbungssymptomen (Goldspitzigkeit, Gelbfärbung, Chlorosen; siehe Tabelle 3) sind darauf zurückzuführen, daß unterschiedliche Verfärbungen am gleichen Baum nur selten gemeinsam auftreten.

Das gemeinsame Auftreten von Chlorosen und Gelbfärbung konnte vereinzelt festgestellt werden; des weiteren wurde beobachtet, daß die Goldspitzigkeit sehr häufig an älteren Nadeljahrgängen von Probeästen auftrat, deren jüngere Nadeln (2. – 4. Nadeljahrgang) gelbgefärbt waren (vgl. Kap. 4.1.).

Hinsichtlich des Auftretens von Punktchlorosen zeigen sich schwache Beziehungen zu Chlorosen, Lametta, Fensterbildung, Angsttrieben und Triebschäden.

Tab. 18: Matrix der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der 24 untersuchten Fichten mit leichtchlorotischen und chlorotischen Probenadeln der zur statistischen Auswertung herangezogenen Parameter (stark eingerahmte Korrelationen 99,9%, schwach eingerahmte 99% sign. $\neq 0$, zweiseitiger F-Test. Schranken der Korrelationskoeffizienten; 99,9% = 0,629; 99% = 0,52 95% = 0,413) (vgl. Seite 49 links)

Tab. 19: Matrix der Punkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der 49 untersuchten Fichten der Standorte 29 bis 43 ("Reinluftgebiet-Hochwald") aller zur statistischen Auswertung herangezogener Parameter (stark eingerahmte Korrelationen 99,9%, schwach eingerahmte Korrelationen 99% sign. ≠0, zweiseitiger F-Test. Schranken der Korrelationskoeffizienten: 99,9% = 0,476; 99% = 0,381; 95% = 0,295). (*der Nadeln; °des Baumes) (vgl. Seite 49 rechts)

Taging Sting Calating Taging	AND CONTROL OF THE PROPERTY OF STAND OF
MAGNESIUM [MG/KG: 1.000 0.580 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
7. /. /.	
MAGNESIUM IMG/KG 1.000 0.379 -0.346 0 0 0 0 0 0 0 0 0	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$

Zu beachten ist bei der Analyse dieser Beziehung auch, daß die Korrelationskoeffizienten und damit auch der Grad des linearen Zusammenhangs oft relativ niedrig liegen (vgl. Kap. 2.9.1.). Dies wird durch die Vielzahl der einflußnehmenden Faktoren auf die komplexe Natur des Ursachenwirkungsgefüges ebenso, wie durch die genetische und altersmäßige Variabilität der beprobten Bäume verursacht (vgl. BMFT 1985 b, S. 65).

Innerhalb ausgewählter Gruppen (siehe Tabelle 4, Tabelle 15, 18 und 19) konnten sich eindeutigere Beziehungen herauskristallisieren.

4.6 Verbreitung der Schadsymptome

Aufgrund der hohen Variabilität einiger Schadensmerkmale auf kleinem Raum kann selbst das relativ dichte Stichprobenraster dieser Untersuchung nicht immer ein repräsentatives Bild der einzelnen Teilräume darstellen. Diese Nachteile wurden in Kauf genommen, da der Schwerpunkt der Arbeit nicht auf einer genauen Schadenseinschätzung lag.

Karte 10 zeigt die mit Hilfe des Interpretationsschlüssels der "Immissionsökologischen Waldzustandserfassung" (KNABE 1982) erstellte Verteilung der Gesamtbenadelungsstufen im Untersuchtungsraum (vgl. a. Tab. 20). Hierbei kann eine gewisse Häufung der Stufen 1 und 2 im Bereich des industriellen Ballungsraumes festgestellt werden (vgl. auch Karte 8). Die stärksten Nadelverluste (Stufe 3) finden sich unabhängig von Großräumen an exponierten Lagen, wie Kuppen und Waldrandlagen (vgl. SPELSBERG 1983, BMFT 1985 b).

Dies führt zu dem Schluß, daß ein zufälliges Stichprobenverfahren eine Abschätzung der Gesamtsituation eines größeren Raumes zuläßt, aber eine regionale Differenzierung nur bei sehr hoher Rasterdichte erlaubt.

Die "Immissionsökologische Waldzustandserfassung" in Rheinland-Pfalz (vgl. HEIDINSFELD 1983) zeigt beim Vergleich des Anteils der Bäume ohne Schadensmerkmale und der Waldgefährdung nach der prozentualen Gesamtbenadelung ein sehr uneinheitliches Bild. Es treten, ahnlich wie im Saarland, Standorte mit einem sehr hohen Anteil an ungeschädigten Bäumen und geringer bis sehr geringer Benadelung ebenso wie Bestände mit einem hohen Anteil an geschädigten Bäumen und einer vollständigen Benadelung auf.

Die Schadensansprache erfolgte in dieser Untersuchung nach bundeseinheitlichen Richtlinien. Die Gesamtbenadelung (nach KNABE 1981) ist somit kein sonderlich geeignetes Mittel zur Beurteilung der heutigen Waldschadenssituation (vgl. Kap. 4.4).

Die Karten der Kronenverlichtung (siehe Karte 11) und der Fensterbildung (siehe Karte 12) geben ein ähnliches Bild wieder. Die Schadensstufen weisen hierbei eine stärkere Abhängigkeit vom Alter der Bestände auf, die auf die signifikante Zunahme der Fensterbildung mit zunehmendem Alter zurückgeführt werden kann (Tabelle 3). Gleiches gilt für die mit der Fensterbildung gut korrelierte Lamettabildung (Karte 13).

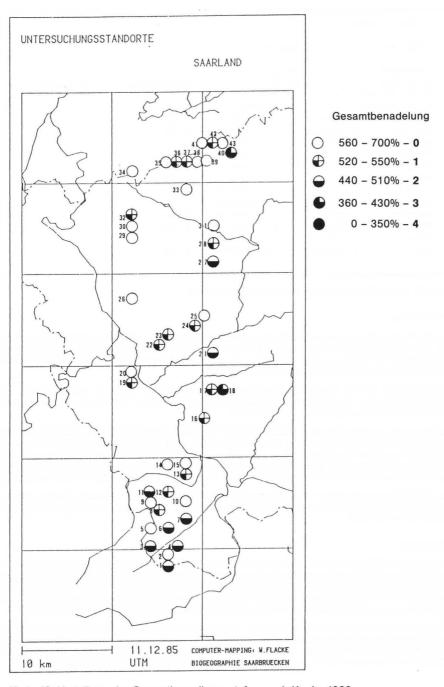
Relativ indifferenziert stellen sich die Verteilungen der Angsttriebe und der Goldspitzigkeit dar (siehe Karte 15 und Karte 14). Eine Abnahme der Ersatzbetriebe findet man in relativ ungeschädigten Beständen (vgl. Kap. 4.5); ein starkes Auftreten der Ersatztriebe trifft man vor allem in exponierten chlorotischen Fichtenforsten an (vgl. Karte 15 und Karte 16).

Im Gegensatz dazu tritt die Goldspitzigkeit – das am weitesten verbreitete und häufigste Symptom – dort zurück, wo andere Nadelverfärbungen, wie Chlorosen und Gelbfärbung, auftreten.

Eine klare räumliche Differenzierung ist bei beiden Schadsymptomen nicht zu erkennen.

Der Befall mit nadelparisitären Pilzen zeigt ebenfalls kein eindeutiges Verbreitungsmuster. Hierbei muß einschränkend erwähnt werden, daß nur deutlich sichtbare Pilzbefallssymptome an den Bäumen berücksichtigt wurden und aus diesem Grunde eine Aussage zur allgemeinen Verbreitung nicht möglich ist.

Die Schadsymptome Gelbfärbung, Chlorosen und Triebschäden geben dagegen ein klar differenzierbares Verbreitungsmuster wieder.



Karte 10: Verteilung der Gesamtbenadlungsstufen nach Knabe 1983

```
135
      MESSWERTE
 MEDIAN =
                 5.50000
 MITTEL =
                5.38213
                1.70000
                                                    6.80000
MINIMUM
                                    MAXIMUM =
0.05 QUANTIL =
                     3.50000
0.95 QUANTIL =
                     6.65000
UNTER
           3.50000
                                    4 . 4%
                        6
                           WERTE
UNTER
           3.81500
                        7
                           WERTE
                                    5 . 2%
           4.13000
                                    0.7%
UNTER
                        1
                           WERTE
UNTER
           4.44500
                        5
                          WERTE
                                    3 . 7%
UNTER
           4.76000
                        9 WERTE
                                    6.7%
           5.07500
                        В
                                    5.9%
UNTER
                           WERTE.
UNTER
           5.39000
                       20
                           WERTE
                                   14.8%
           5.70500
UNTER
                       23 WERTE
                                   17.0%
UNTER
           6.02000
                       27 WERTE
                                   20.0%
UNTER
           6.33500
                       11
                           WERTE
                                    8 . 1%
UNTER
           6.64999
                       1 1
                           WERTE
                                    8 . 1%
                           WERTE
AB
           6.65000
                        7
                                    5 . 2.%
```

Tab. 20: Häufigkeitsverteilung der Gesamtbenadlung

Gelbfärbung:

Aus der Karte 17 ist zu ersehen, daß die Gelbfärbung und damit sichtbarer Magnesiummangel auf den nördlichen emittentenfernen Bereich des Untersuchungsgebietes beschränkt ist. Durch die Karte 18, die das Auftreten von gelbgefärbten Bäumen in den untersuchten Beständen wiedergibt, wird dieser Sachverhalt bestätigt.

Der Vergleich mit der Karte der langjährigen SO_2 -Belastung (Karte 7) und der Karte der Schwefelmeßwerte (Karte 8) beweist, daß es sich hierbei um den Bereich mit der geringsten Rauchgasbelastung des Saarlandes handelt.

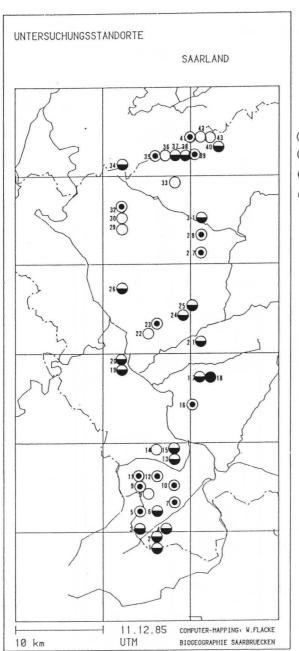
Im Gegensatz zu vielen Berichten (ZECH & POPP 1983, ZÖTTL & MIES 1983, REHFUESS 1983 a) konnte diese Schädigung auch in tieferen Lagen (275 m NN) beobachtet werden. Innerhalb des Schwarzwälder Hochwaldes konnte keine signifikante Zunahme der Schädigung mit der Höhe festgestellt werden (Tabelle 19), obwohl im gesamten Untersuchungsraum eine Beziehung zwischen den beiden Komponenten Gelbfärbung und Höhe besteht (siehe Tabelle 3).

Die Gelbfärbung scheint somit stärker an die "Reinluftsituation" mit fehlender direkter Immissionsbelastung als an die absolute Höhenstufe geknüpft zu sein, wobei hier SO_2 als Leitsubstanz betrachtet wird.

Chlorosen:

Das Vorkommen von chlorotischen Fichten (siehe Karte 16) ist in erster Linie an eine stark exponierte Lage der betroffenen Bestände gebunden. Daneben spielt vor allem außerhalb des Hochwaldes der geologische Untergrund eine entscheidende Rolle. Die Chlorosen finden sich dort auf nährstoffreichen Böden, die sich aus Muschelkalk, den Heusweiler Schichten des Karbons und dem vulkanischen Rhyolit entwickelt haben (vgl. WAGNER, A. 1985).

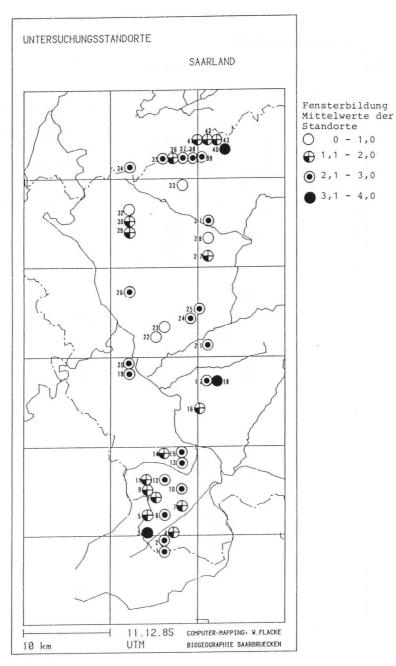
Diese Bäume besitzen eine hohe Kalzium- und Magnesiumversorgung und einen niedrigen Kaliumgehalt. Innerhalb des Hochwaldes bietet sich ein komplexes Bild der Situation, da Chlorosen auch bei mittlerer bis niedriger Kalzium- und Magnesiumversorgung auf basenarmen Böden des Taunusquarzites und des Buntsandsteins beobachtet werden können.



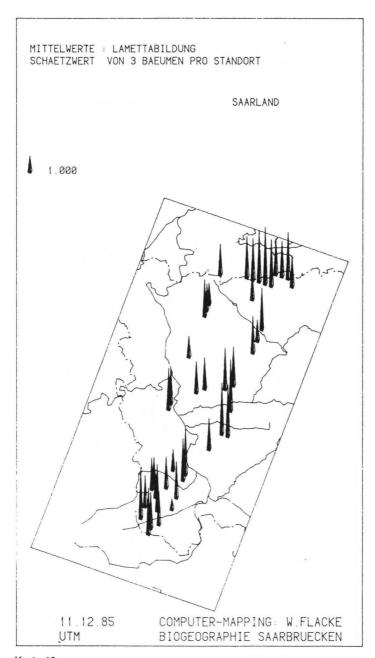
Bestandesschätzwerte der Kronenverlichtung gering

- mäßig
- ⇒ stark
- sehr stark

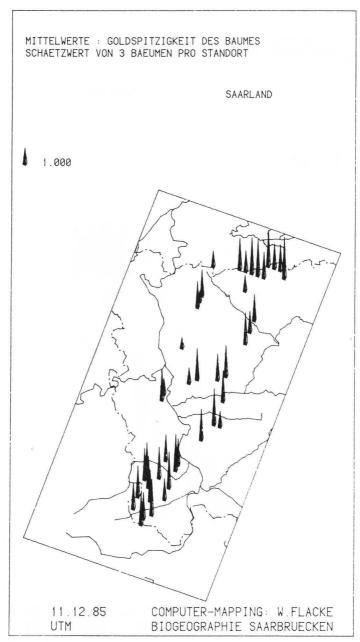
Karte 11: Verteilung der Kronenverlichtung



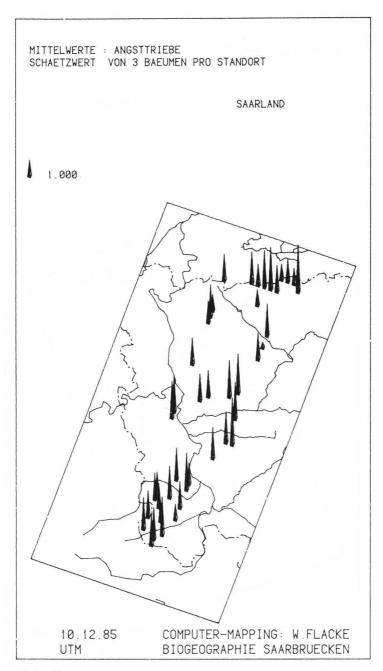
Karte 12: Verteilung der Fensterbildung (Standortsmittelwerte von 3 Probebäumen)



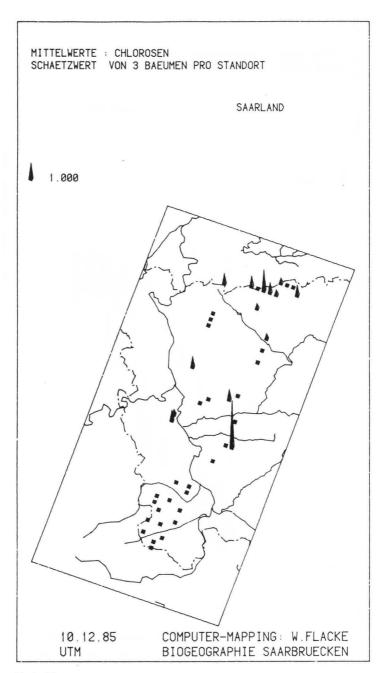
Karte 13



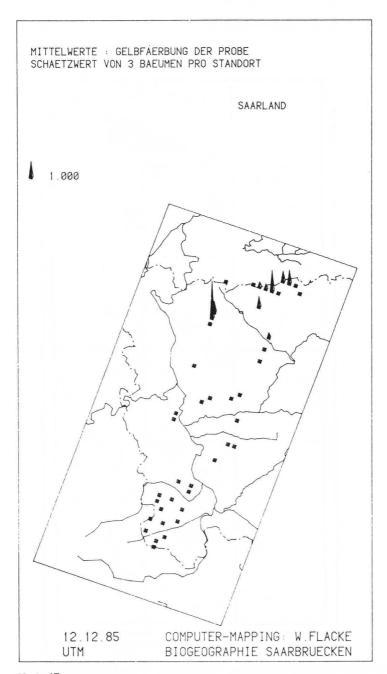
Karte 14



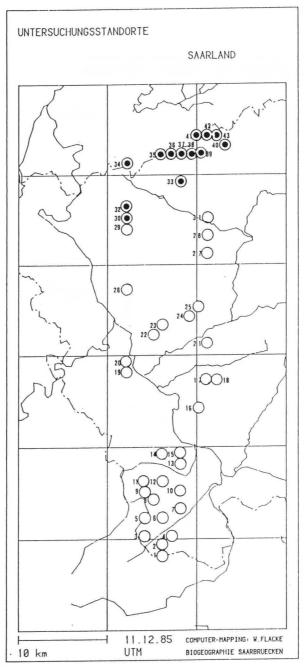
Karte 15



Karte 16



Karte 17



Karte 18: Verbreitung der Hochlagenerkrankung der Fichte (Bestandsschätzung)

Die Verbreitungsschwerpunkte liegen somit im Bereich der exponierten Lagen der gut versorgten Böden des Untersuchungsgebietes und im Bereich des Hochwaldes.

Triebschäden:

Die Triebschäden (siehe Karte 19) lassen ein ähnliches Verbreitungsmuster wie das der Chlorosen erkennen, was daraus resultiert, daß beide Symptome meist gemeinsam auftreten.

Punktchlorosen:

Die Verbreitungskarte (siehe Karte 20) zeigt eine Häufung verstärkten Auftretens dieses Symptoms im Bereich des Hochwaldes, die auch durch die Relation (r = 0,426; 99,9% Signifikanz) der Punktchlorosen mit der Höhe der Standorte eine Bestätigung erfährt (siehe Abb. 6).

```
Mittl. Abweichung Var. Koeff.
        Mittelw.
                        Varianz
        1.291953 324.767442
                           0.46221
                                           0.6798598
                                                           52.62 %
3:
                                         112.0154830
                                                           34.49 %
                       12547.46844
Regressionsgleichungen*
      209.974503
                        +88.85222*X
                                         94.3316316
9=
=X
        0.228978
                         +0.00327*7
                                          9.5725305
                                                    :0.539274113071
Korrelationskoeffizient
                                                    :29.0816569029%
Anteil erklaerter Varianz
Signifikanztest:
                    :4.10036210704
T-Statistik
Mit
                     41 Freiheitsgraden
```

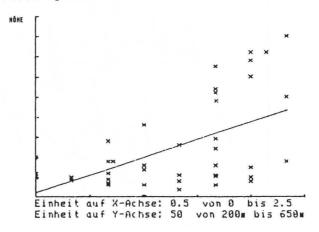
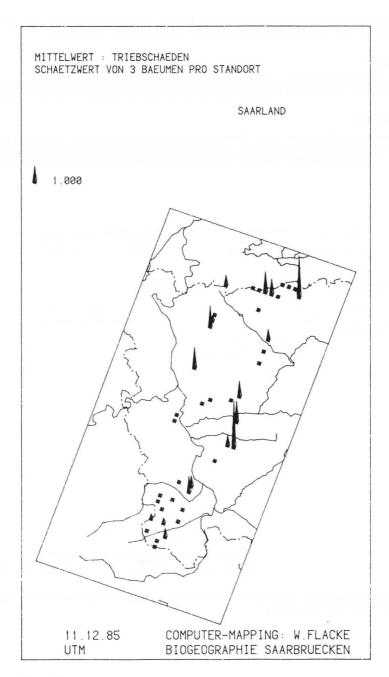
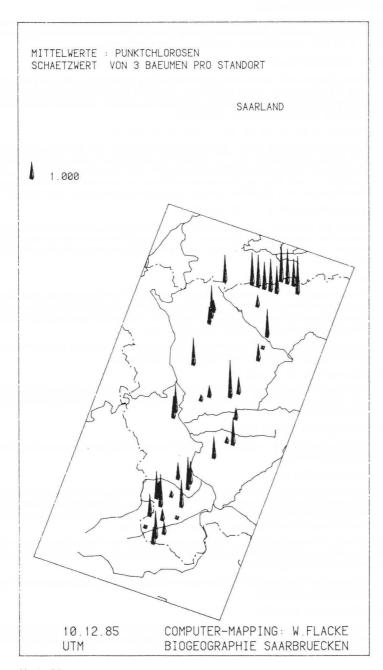


Abb. 6: Lineare Regression zwischen dem Auftreten von Punktchlorosen (Standortsmittelwerte) und der Höhe des Standortes.



Karte 19



Karte 20

4.7. Ergebnisse der Clusteranalyse

Mit Hilfe der Clusteranalyse wurde der Versuch einer Gruppierung der Standorte anhand der 18 in die statistische Auswertung miteinbezogenen Faktoren (Standortmittelwerte) unternommen (vgl. Kap. 2.9.). Das Ergebnis ist in der Abbildung 7 dargestellt.

Gruppierungen von rechts nach links:

- Gruppe 1: Diese Gruppe faßt die beiden exponierten und stark geschädigten Standorte 18 und 40 zusammen. Dabei zeigte sich, daß der Einfluß des Lagefaktors (Waldrandlagen) und die durch diesen Streßfaktor erhöhte Schadensdisposition gegenüber anderen Faktoren überwiegt.
- Gruppe 2: (Standorte 34, 39, 43, 36, 42, 31, 35, 41, 37 und 38)

 Die Gruppe 2 besteht aus Fichtenbeständen im Raum des Schwarzwälder Hochwaldes und läßt den Schluß zu, daß die Standortbedingungen innerhalb dieses Raumes ein relativ einheitliches Bild zeigen. Das gruppenverbindende Element besteht im Auftreten der Hochlagenerkrankung und von Nährstoffmangelerscheinungen. Nur Standort 40 fällt durch seine exponierte Lage heraus.
- Gruppe 3: (Standorte 33, 22, 28, 7, 32 und 30)

 Junge bis mittelalte Bestände, die eine relativ geringe Nährstoffversorgung bei einem der untersuchten Elemente und niedrige Gesamtschädigung erkennen lassen. Hier wird der Standort 30 durch seinen starken Magnesiummangel von der Gruppe abgetrennt.
- Gruppe 4: (Standorte 20, 24 und 26)

 Verbindende Elemente dieser Gruppe sind die hohen Magnesium- und Kalziumgehalte und die relativ hohen Schwefelgehalte bei niedriger bis mittlerer Kaliumversorgung, was zu leichten Chlorosen führt. Hierbei fällt Standort 26 durch stärkere Chlorosen und größere Verlichtung auf.
- Gruppe 5: Diese Gruppierung läßt sich in ihrer Gesamtheit nur schwer interpretieren und wurde deshalb in mehrere Untergruppen gegliedert.
- Gruppe 5a: (Standorte 8, 10, 12 und 14)

 Sie wird aus den jungen nicht geschädigten Beständen im Warndt gebildet und teilt sich in die Standorte 10 und 12 mit etwas höheren und in die Standorte 8 und 14 mit niedrigen Schwefelwerten auf.
- Gruppe 5b: (Standorte 11, 16 und 23)

 Die Standorte 11, 16 und 23 sind schwach geschädigt und weisen leicht erhöhte Schwefelwerte auf
- Gruppe 5c: (Standorte 2, 5 und 9)

 Die Standorte 5 und 9 erreichen hohe Schwefelwerte, ohne stärkere Schädigung bei guter Nährstoffversorgung und mittlerem Alter. Standorte 2 zeigt ebenfalls eine gute Benadelung, aber geringere Schwefelgehalte und eine etwas stärkere Verlichtung bei schlechterer Nährstoffversorgung.

Daneben gehören zu der Gruppe 5 der Standort 4 mit den höchsten Schwefelwerten und relativ niedriger Gesamtbenadelung sowie Standort 27 mit guter Kalzium- und Magnesiumversorgung und erhöhten Schwefelgehalten.

- Gruppe 6: Wegen des ebenfalls sehr differenzierten Bildes wird die Interpretation in Untergruppen durchgeführt.
- Gruppe 6a: (Standorte 1, 3 und 6)

 Typische immissionsbelastende Bestände mit hohen Schwefelkonzentrationen in den Nadeln und starker Fensterbildung bei gleichzeitigen Nadelverlusten sind in dieser Gruppe zusammengefaßt.

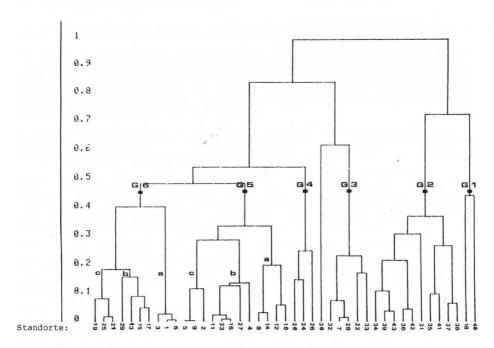


Abb. 7: Ähnlichkeitshistogramm der Clusteranalyse (Standortsmittelwerte).

Gruppe 6b: (Standorte 4, 25, 26 und 35)

Diese Gruppe beinhaltet Fichtenbestände mit mittlerer Nährstoffversorgung, stärkerer Kronenverlichtung und etwas erhöhten Schwefelwerten, die jedoch nur leichte Verluste der Anzahl der Nadeljahrgänge aufweisen.

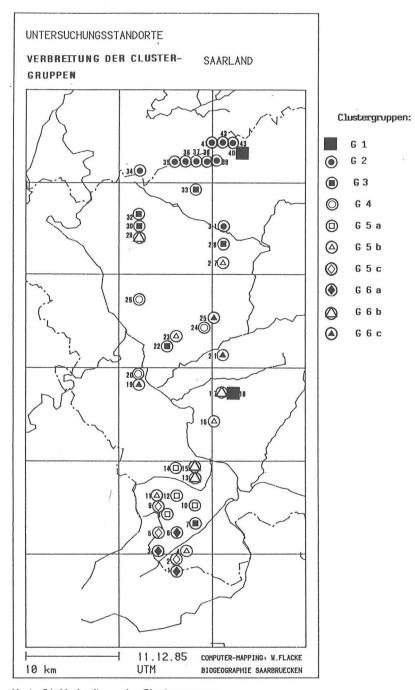
Gruppe 6c: Diese Gruppe faßt Standorte mit hoher Magnesium- und Kalziumversorgung und niedrigen Kaliumgehalten zusammen.

Die Kronen dieser Fichtenbestände sind relativ stark verlichtet, aber nur an Standort 19 treten chlorotische Fichten mit stärkeren Nadelverlusten auf.

Die Gruppierungen der Clusteranalyse führten zu der Schlußfolgerung, daß sich die Standorte trotz der individuellen Unterschiede zu räumlichen und sachlichen Gruppen zusammenfassen lassen, wobei ein stark unterschiedlicher Grad der Ähnlichkeit festzustellen ist. Räumlich zusammenhängende Gruppen lassen auf eine relative Homogenität der Räume hinsichtlich der Nährstoff- und Schadenssituation, der Höhen und der Altersverteilung schließen. Dies trifft auf die Gruppen 2, 5a und 6a zu.

In den sachlichen Gruppen treten gemeinsame Merkmalskombinationen als bedeutsam heraus. Das geringere Alter und die damit verbundene niedrige Gesamtschädigung bei den Gruppen 3 und 5a oder die hohe Magnesium- und Kalziumversorgung bei Gruppe 4 und 6c.

Die größten Übereinstimmungen wurden zwischen den Standorten 5 und 9 errechnet, eine große Ähnlichkeit verbindet die Standorte 11, 16, 23 und 1, 3 und 6. Alle übrigen Standorte zeigen eine größere Individualität hinsichtlich der untersuchten Faktoren. (Zur geographischen Verteilung der Clustergruppen siehe Karte 21).



Karte 21: Verbreitung der Clustergruppen

4.8 Ergebnisse der Schwerpunktstandorte

Die Schwerpunktstandorte dienen zur Erfassung der Variabilität in der Nährstoffversorgung und zur Absicherung der Probenahme von jeweils 3 Fichten pro Standort.

Hier wurden nach dem üblichen Verfahren (vgl. Kap. 2.6.) 3 Probebäume (Abk. 3 B) ausgewählt und zusätzlich 4 weitere Fichten beprobt. Die Schwankungsbreite der 3 ersten Probebäume wurde mit der Schwankungsbreite der insgesamt 7 am Standort beprobten Fichten (Abk. 7 B) verglichen (siehe Abb. 8). Es zeigte sich eine sehr gute Abschätzung der Nährstoffvariabilität an beiden Schwerpunktstandorten und eine sehr gute Erfassung der Minimalwerte durch das allgemein angewandte Verfahren (3 Probebäume).

Mit Ausnahme des Mittelwertes für Magnesium am Standort 4 (Schwerpunkt – Ballungsraum) stellt die Standardmethode einen sehr guten Nährungswert für die durchschnittlichen Nährstoffgehalte dar. Dieses Ergebnis belegt die Eignung der angewandten Methode zur Erfassung der Nährstoffgehalte in Fichtenbeständen.

Darüberhinaus sind an diesen beiden Standorten alle vorhandenen Nadeljahrgänge auf Magnesium, Kalzium und Kalium analysiert worden, um den Konzentrationsverlauf mit zunehmendem Alter zu ermitteln (siehe Aufnahmebögen, Schwerpunktstandorte, Anhang). Magnesium weist die höchste Konzentration im Neuaustrieb auf, nimmt danach stark ab, um mit zunehmendem Alter wieder anzusteigen (vgl. Abb. 9 und PRINZ et al. 1982).

Beim Vergleich der beiden Standorte fällt der klare Unterschied im Versorgungsniveau auf (siehe Abb. 10 und Abb. 11), obwohl beide Standorte auf magnesiumarmen sauren Böden stokken (siehe EISENBARTH und KOCH 1985). Dies führt zu der Vermutung, daß die Mangelerscheinungen im Hunsrückraum nicht allein auf die Nährstoffversorgung des Bodens zurückzuführen sind (vgl. Kap. 5).

Kalium- und Kalziumversorgung bewegen sich auf gleicher Ebene. Kalium zeigt durch die Element-Mobilisierung des Neuantriebs die höchsten Werte im ersten Nadeljahrgang und mit zunehmendem Nadelalter einen indifferenten Verlauf auf (vgl. FIEDLER 1973, BERGMANN 1983, MIES & ZÖTTL 1985).

Bei den einzelnen Probebäumen liegt ein weitaus differenzierterer Nährstoffverlauf vor (siehe Abb. 12, 13, 14 und 15; Aufnahmebögen, Schwerpunktstandorte). Hier fällt in erster Linie der auf gleichem Niveau sehr niedrig liegende Kalziumgehalt des 6. Probebaumes am Schwerpunktstandort Schwarzwälder Hochwald auf (Abb. 15).

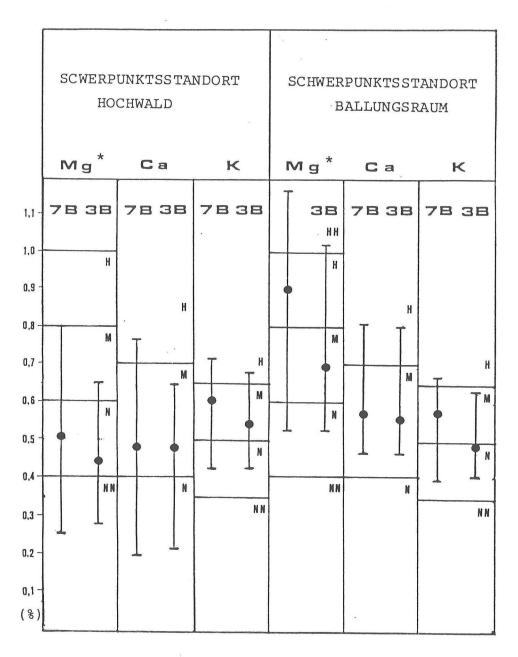


Abb. 8: Vergleich der Schwankungsbreite, der Erfassung der Extremwerte und der Mittelwerte zwischen der 3-Baumstichprobe (3B) und der 7-Baumstichprobe (7B) der Schwerpunktstandorte (NN = sehr niedrig, N = niedrig, M = mittel, H = hoch, HH = sehr hoch; nach Knabe 1984)

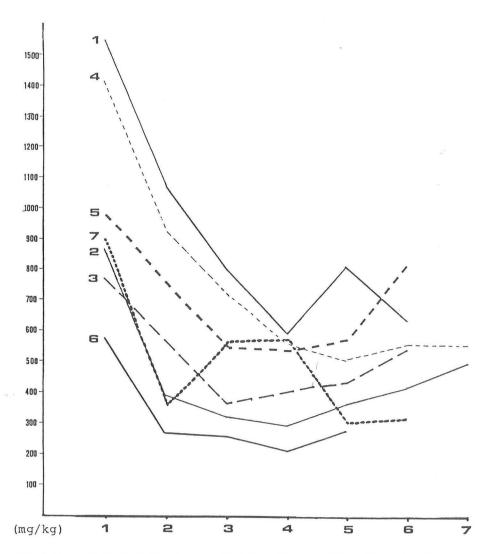


Abb. 9: Magnesiumgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge von 7 Probebäumen am Schwerpunktstandort Hochwald

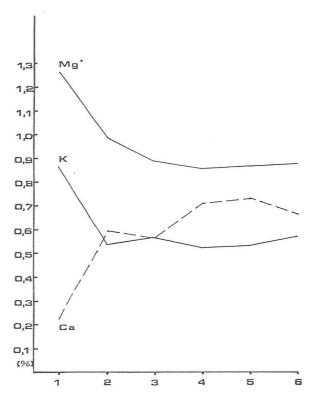


Abb. 10: Mittlere Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge der 7 Probebäume am Schwerpunktstandort Ballungsraum (Mg-Werte 10fach überhöht)

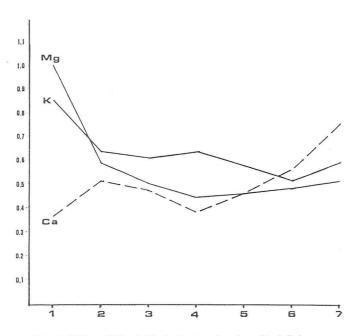


Abb. 11: Mittlere Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge der 7 Probebäume am Schwerpunktstandort Hochwald (Mg-Werte 10fach überhöht)

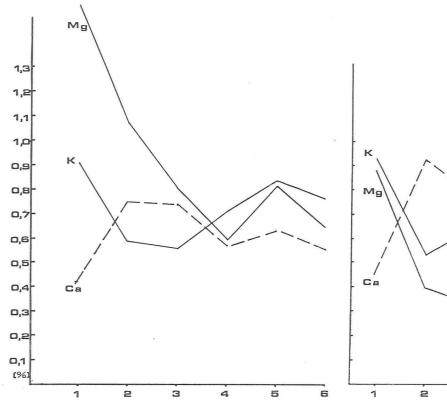


Abb. 12: Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge von Probebaum 1 Schwerpunktstandort Hochwald

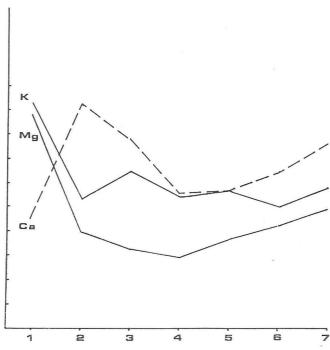


Abb. 13: Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge von Probebaum 2 Schwerpunktstandort Hochwald

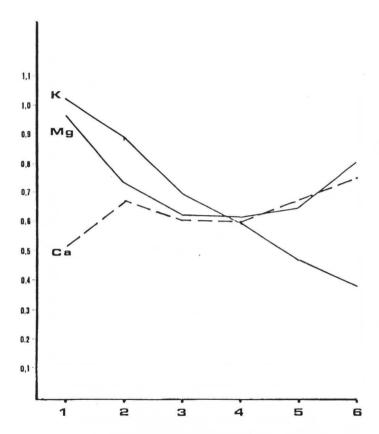


Abb. 14: Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge von Probebaum 5 Schwerpunktstandort Hochwald

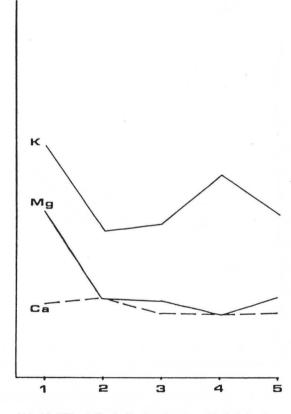


Abb. 15: Nährstoffgehalte der einzelnen Nadeljahrgänge von Probebaum 6 Schwerpunktstandort hochwald

5. DISKUSSION

Die Auswertung der Beziehungen zwischen den analysierten Nährstoffen und Schadenssymptomen gibt ein komplexes Bild der Schadensausprägung wieder, d. h. die beobachtete Schädigung konnte nicht auf einen einzelnen Faktor zurückgeführt werden. Dies läßt den Schluß zu, daß die Schäden auf eine komplexe, multifaktoriell wirkende Ursache zurückzuführen sind. SCHÜTT (1977, 1983, 1984) bezeichnet die Waldschäden als eine Komplexkrankheit oder auch als "multiple Streßerkrankung". Das Konzept der Komplexerkrankung wird heute von der überwiegenden Mehrheit der Wissenschaftler in Bezug auf das Waldsterben akzeptiert (BMFT 1985 b). MANION (1981) unterscheidet zwischen "singlecausal factor diseases" und "decline diseases", worunter er Schäden aufgrund eines schwer zu entflechtenden Ursachenkomplexes versteht. Er gruppiert die möglichen Ursachen in drei Kategorien:

- disponierende Stressoren
- auslösende Stressoren
- begleitende Stressoren

Zu den disponierenden Faktoren, die die Pflanze bis zum Stadium akuter Belastung prägen, zählen ihre genetisch bedingte Kondition, ihr Alter und die Umweltbedingungen, unter denen sie lebt (Klima, edaphische Faktoren, Ernährung, Bewirtschaftung und langzeitig einwirkende Imissionen subletaler Dosis). Es handelt sich um meist abiotische Faktoren, die einen Dauerstreß auf die Vegetation ausüben und zu einer dauerhaften Schwächung der Pflanze führen.

Die auslösenden Faktoren sind in der Hauptsache Klimaextreme, aber auch Episoden hoher Schadstoffbelastung und Insektenepidemien, also kurzzeitige Streßperioden, die zu schweren Schädigungen führen, insbesondere bei Bäumen, deren Vitalität und Regenerationskapazität durch die disponierenden Faktoren bereits Einbußen erlitten haben.

Zu den begleitenden Faktoren gehören Schwächeparasiten, wie Borkenkäfer (Scolytidae), pathogene Pilze, ebenso Viren und Mykoplasten, die oft zum endgültigen Absterben der Pflanze führen, ohne für sich allein eine letale Wirkung ausüben zu können. ULRICH (1984) zählt zu den begleitenden Stressoren auch die Nährstoffmangelerscheinungen der Bäume.

Der Wald leidet somit nicht unter einem einzigen Stressor, sondern einem Komplex zahlreicher Stressoren, wobei Einzelkomponenten regional offensichtlich unterschiedliche Bedeutung beigemessen werden muß (vgl. Kap. 4.4. u. 4.6.). So stellt sich die Frage, welche Rolle dieses Faktorenbündel bei den beobachteten Schadsymptomen im Saarland spielt und inwieweit anhand der Analysedaten und der Verbreitung auf bestimmte Ursachenkomplexe Rückschlüsse gezogen werden können.

Die "Hochlagenerkrankung der Fichte" stellt das in der Literatur am ausführlichsten diskutierte Schadenssymptom dar. Der Grund liegt darin, daß die damit verbundenen Waldschäden in Bereichen auftreten, die von direkter anthropogener Belastung (Rauchschäden) am wenigsten betroffen schienen.

Die mit der Hochlagenerkrankung verbundene quittengelbe Färbung der belichteten Nadeln ist eindeutig auf eine mangelhafte Magnesiumernährung der untersuchten Probebäume zurückzuführen, wobei eine klare Beziehung zwischen der Zunahme der Gelbfärbung und der Abnahme des Magnesiumgehaltes besteht (vgl. Kap. 4.2.1.).

Der Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen (BMFT 1985 b) charakterisiert die Erkrankung der Fichte in den höheren Lagen der Mittelgebirge als Schädigung, die immer mit ausgeprägtem Magnesiummangel, unzureichender Kalziumversorgung, und örtlich auch mit Kalium- und/oder Zinkmangel einhergeht. Sie sind auf saure, meist humusreiche Böden beschränkt.

Diese Beschreibung stimmt mit den im nördlichen Saarland angetroffenen Verhältnissen überein (s. Kap. 4.2.1., 4.2.2. u. 4.6.). Die, Übereinstimmung der Symptomatik und die rasche Schadenszunahme in Saarländischen "Reinluftgebieten" auf 30% der Waldfläche im Jahre 1984

(vgl. WAGNER, A. 1985) zeigt, daß es sich eindeutig um "neuartige Waldschäden" im Sinne des Rates von Sachverständigen (1983) handelt.

Es muß jedoch herausgestellt werden, daß, im Gegensatz zu der Beschreibung des Forschungsbeirates, diese Erkrankung bereits in Höhenlagen unter 300 m angetroffen wurde. Innerhalb des Transektes besteht eine Beziehung zwischen Gelbfärbung und Höhenlage, aber im Bereich des Hochwaldes konnte keine signifikante Zunahme des Symptoms mit der Höhe festgestellt werden. Die Höhenlage scheint somit nicht der primär bestimmende Faktor zur Ausbildung dieser Schädigung im Untersuchungsgebiet zu sein, bzw. es bedarf größerer Höhen, als sie im Saarland vorhanden sind, um ein eindeutig verstärktes Auftreten der Hochlagenerkrankung zu bewirken. Da keine Bodenuntersuchungen im Rahmen dieser Arbeit an Standorten durchgeführt wurden, muß zur Beurteilung der Frage, ob die Hochlagenerkrankung nur auf saure Böden beschränkt ist, auf die Untersuchungen von WAGNER, A. (1985) zurückgegriffen werden. Diese Bodenuntersuchungen ergaben allgemein niedrige pH-Werte und eine kritische Kalziumversorgung in diesem Wuchsgebiet. EISENBART und KOCH (1985) ermittelten ebenfalls sehr geringe Magnesium- und Kalziumgehalte bei niedrigen pH-Werten in den quarzreichen Böden des Schwarzwälder Hochwaldes.

Im Zusammenhang mit dem Ursachengefüge dieser Schäden werden die unterschiedlichsten Hypothesen diskutiert. Nachfolgend sollen einige dieser Hypothesen in Zusammenhang mit den eigenen Untersuchungsergebnissen vergleichend diskutiert werden.

Der Großteil dieser Hypothesen geht von einer ursächlichen Beeinflussung der Schädigung durch Luftschadstoffe aus. Andere Autoren machen hingegen natürliche Ursachen für das Waldsterben verantwortlich.

FINK und BRAUN (1978) und KANDLER (1983) gehen von einer Beteiligung von Viren und primitiven Prokaryonten an den Waldschäden aus (vgl. FRENZEL 1983, 1985, FINK 1983, BRAUN & SAUTER 1983, KANDLER 1985). NIENHAUS (1985) berichtet von der Isolierung solcher Erreger in gelbgefärbten Fichten und weist darauf hin, daß davon ausgegangen werden muß, daß eine schleichende Verseuchung über viele Jahrzehnte stattgefunden hat. SCHÜTT (1984) vermutet in diesem Zusammenhang eine mögliche Schädigung gestreßter Bäume durch solche Krankheitserreger, die in vitalen Pflanzen aufgrund natürlicher Abwehrmechanismen nicht schädigend auftreten. Weitere Klärung dieser Frage ist von laufenden Untersuchungen zu erwarten. Da die durch solche Erreger verursachten Symptome recht unspezifisch sind, kann die vorliegende Untersuchung zu dieser Frage nicht beitragen und die Bedeutung dieser Hypothese für den Untersuchungsraum nicht beurteilt werden.

CRAMER (1985 a, b, c) diskutiert die Frage der Schadensdisposition der mitteleuropäischen Forsten durch waldbauliche Maßnahmen und klimatische Faktoren, insbesondere Trockenheit. Der gesamte Umfang der "neuartigen Waldschäden" kann hiermit unmöglich geklärt werden (vgl. RAT von SACHVERSTÄNDIGEN 1983, BURSCHEL 1985, LEHRINGER 1985 und FRAHSER 1985). Auch innerhalb des untersuchten Raumes treten die Schäden im Bereich des Hunsrücks in dem für die Fichte wohl am standortgerechtesten Raum auf, der die höchsten Niederschläge innerhalb des Saarlandes erhält (vgl. Kap. 3). Nach WAGNER, A. (1984) führten die Auswirkungen der Hitzeperiode 1983 zwar zu einer zusätzlichen Belastung im Verdichtungsraum des Saarlandes, im "Reinluftraum" war jedoch keine verstärkte Schadenszunahme nach diesem Sommer zu erkennen.

Da von einer Schwächung des Waldökosystems durch die derzeit festzustellenden Konzentrationen luftverunreinigender Stoffe auch in den sogenannten "Reinluftgebieten" ausgegangen werden kann, sind Luftschadstoffe mit hoher Wahrscheinlichkeit die wesentliche Ursache im komplexen Wirkungsgeschehen der neuartigen Waldschäden (BMFT 1985 b).

Hierbei wurden zwei mögliche Einflußpfade diskutiert: Einerseits die indirekte Schädigung durch atmogenen Eintrag von Säuren und Säurebildern in den Boden und andererseits die Direktschädigung des oberirdischen Sprosses durch Schadgase und/oder saure Deposition. ULRICH (1979) formulierte, gestützt auf seine Untersuchungen in Solling, eine ökosystemare Hypothese, die von der sauren Deposition ausgehend, auf eine Aluminiumtoxizität im Wurzelbereich schließt (ULRICH 1983 a. 1984 b).

Die Säurezufuhr aus der Atmosphäre (vgl. VDI-Kolloquium 1983, OLDIGES 1985, BRECHTEL 1985) führt nach Erschöpfung der Pufferkapazität zu einer Versauerung des Bodens (BMFT 1984). ULRICH und MATZNER (1983) gehen davon aus, daß die mit den Kronenschädigungen häufig einhergehende Schädigung der Feinwurzelmasse (BAUCH & SCHRÖDER 1982, HÜTTERMANN 1983 a, 1983 b, 1985, BLASCHKE et al. 1985 und BLASIUS et al. 1985) die primäre UTsache der Waldschäden darstellt. Nach dieser Hypothese läuft die Bodenversauerung in mehreren Stufen (Pufferbereichen) ab, in deren Verlauf es zu einer Auswaschung von pflanzenverfügbaren Kationen und einer Freisetzung von Aluminiumionen aus Tonmineralien kommt (BMFT 1985 a, u. RUNGE 1984). Dies drückt sich in einer Verschiebung des Verhältnisses zwischen Kalzium und Aluminium in der Bodenlösung im Wurzelraum zuungunsten des Kalziums aus, was zu einer erschwerten Kalzium- und Magnesiumaufnahme führt (HÜTTERMANN 1983, ROST-SIEBERT 1983, SIMON & ROTHE 1985, JORNS & HECHT-BUCHHOLZ 1985). Die durch die Aluminiumtoxizität bedingten Wurzelschäden führen zu einem verstärkten Assimilatbedarf zur Neubildung von Feinwurzeln und somit zu Zuwachsrückgängen des Baumes (ATHARI 1983, vgl. a. ZÖTTL 1983).

Daneben hat die meist positive Stickstoffbilanz der mitteleuropäischen Waldökosysteme zur Folge, daß sich ein Ungleichgewicht bei der Nährstoffversorgung auf nährstoffarmen Böden einstellen kann (BMFT 1985 b, MC LAUGHLIN 1985) und es zu Störungen der Mykorrhizierung der Bäume kommt (MEYER 1984, 1985). Ebenso werden Humusbildung, Streuumsatz und Bodenorganismen negativ beeinflußt (ZETZSCHWITZ 1985, SCHAEFER 1985, BMFT 1985 a). Der hohe Eintrag von Schwefel und Stickstoff mit dem Niederschlag (BLOCK & BARTELS 1983, BRECHTEL 1985) kann beim Passieren des Bodens Metalle als Begleitionen mitreißen und so die Auswaschung verstärken (BMFT 1985 b).

Nach dieser Hypothese müßten die Waldschäden einem Verteilungsmuster aus hohem Säureeintrag und schlecht gepufferten Böden folgen. Die Schädigung müßte je nach Pufferkapazität und Säurebelastung zeitlich sehr unterschiedlich einsetzen (SCHÜTT 1984).

Versauerung, Aluminiumfreisetzung und Nährstoffauswaschung der Waldböden stellen einen Jahrzehnte andauernden Prozeß der akkumulierenden Schadstoffeinträge dar und sind somit vor allem auf basenarmen Böden der Mittelgebirge als disponierender Faktor für die Schädigung anzusehen (vgl. GARTNER & NASSAUER 1985). Die Bodenanalysen von EISENBARTH und KOCH (1985) weisen ebenso wie die Werte von WAGNER, A. (1985) auf eine Auswaschung von Magnesium und Kalzium auf den quarzreichen Böden des Hochwaldes hin, so daß mit einer Verschlechterung des Al/Mg- und Al/Ca-Verhältnisses dieser Böden zu rechnen ist.

Die schlechte Magnesium- und Kalziumversorgung und die durch lonenantagonismen mit Aluminium möglicherweise eingeschränkte Verfügbarkeit dieser Nährstoffe bewirken mit Sicherheit eine Verschärfung des Nährstoffmangels (vgl. Kap. 4.4.).

Gegen eine einseitige Schädigung über den Boden spricht jedoch, daß auf ebenfalls sauren und schlecht nährstoffversorgten Standorten außerhalb des Reinluftraumes derartige Symptome nicht beobachtet werden konnten (vgl. Kap. 4.6.). BOSCH et al. (1983) berichten, daß im Bayrischen Wald auch auf gut magnesiumversorgten Böden die Hochlagenerkrankung auftritt. Da keine eigenen Bodenuntersuchungen an den Standorten durchgeführt wurden, kann nur aus dem Vergleich der Nadelanalysen der einzelnen Probenbäume darauf geschlossen werden, ob die Nährstoffversorgung ausreichend ist. Das Auftreten von sehr gut magnesiumversorgten Bäumen und Magnesiummangelfichten am gleichen Standort spricht somit gegen eine allgemeine Unterversorgung der Böden als alleinige Ursache (vgl. Kap. 4.2.1.).

Eine weitere Hypothese zur Entstehung der Hochlagenerkrankung geht auf PRINZ et al. (1982) zurück. Ausgehend von den seit 1966 ständig steigenden Stickoxidemissionen und deren Rolle bei der Entstehung von Photooxydantien (LEHRINGER 1984, GUDERIAN 1985, UBA 1985B) vermutet er einen Zusammenhang zwischen diesen sekundären Luftverunreinigungen und Waldschäden.

Photooxydantien werden unter Einfluß intensiver kurzwelliger Strahlung in der Atmosphäre aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen (darunter möglicherweise auch pflanzenbürtigen Terpenen, siehe KOHLMAIER et al. 1983) gebildet. Diese Photooxydantien mit den Leitsubstanzen Ozon und Peroxyacetylnitrat führen durch Oxidation der Cuticulawachse und der

Zellmembran (KUNERT 1985) zu einer starken Verwitterung und somit höheren Durchlässigkeit der Membranen. Durch saure Niederschläge, insbesonders in Form von Nebel und Schnee (WALDMANN 1984, LITTEK & TREFZ-MOLCHER 1985), können daraufhin Nährstoffe verstärkt aus den Nadeln ausgewaschen werden. Dies führt zu einer verringerten Assimilation und durch Unterversorgung der Wurzeln zu einer sich aufschaukelnden Schädigung des Baumes. Es folgt ein Nährstoffmangel in den Nadeln, der eine Stoffwechselstörung zur Folge hat. Die Nadeln sind somit nicht mehr in der Lage, photolabiles Chlorophyll hinreichend zu stabilisieren, und vergilben, da eine erneute Chlorophyllsynthese durch Mg-Mangel behindert ist (PRINZ et al. 1984, BOSCH et al. 1983).

Diese Hypothese wird durch Experimente und Messungen der Ozonkonzentration in jüngster Zeit gestützt (PRINZ et al. 1984, 1985, GARTNER & NASSAUER 1985, HANEMANN & OTT 1985). Gegen diese Hypothese von PRINZ et al. (1984) spricht, daß elektronenmikroskopische Untersuchungen keine signifikanten Kuticularverletzungen zeigten (GUDERIAN 1985), lediglich eine Schädigung der Wachsgeflechte in den Stomata konnte festgestellt werden (BRAUN & SAUTER 1983 und REHFUESS 1983 b). MIES & ZÖTTL (1985) schließen aus dem Jahresverlauf der Nährelementgehalte, daß die unzureichende Nährelementnachlieferung des Bodens und nicht in erster Linie Auswaschungsvorgänge aus den Nadeln zu Magnesiummangel führen. PRINZ et al. (1985) vermuten eine langfristige ozonbedingte Auswaschung von Nährstoffen, die erst nach interner Überbeanspruchung der Nährelementreserven sichtbar wird.

In Bezug auf die Schadensverteilung im Saarland spricht für diese Hypothese, daß die Symptome der "Hochlagenerkrankung" nur im "Reinluftgebiet" (vgl. Karte 7 und 17) beobachtet wurde.

In diesem Bereich kann angenommen werden, daß sich durch das Fehlen größerer Stickstoffmonoxidemittenten eine relativ hohe Ozonkonzentration aufbauen kann (vgl. Meßwerte DEU-SELBACH, in UBA 1985 a, b, DÜSSEL 1985, GUDERIAN 1985). Aufgrund der hohen Niederschläge und Nebelhäufigkeit kann in diesem Raum mit einem verstärkten "Leaching" von Nährstoffen aus den Nadeln gerechnet werden, insbesondere, wenn man berücksichtigt, daß im Reinluftgebiet weniger basische Stäube zur Neutralisation von Säuren in der Luft und im Kronenraum vorhanden sind (vgl. UBA 1985 a, GERKING 1985). Ozon bewirkt latente, biochemisch-physiologische Veränderungen (ARNDT & KAUFMANN 1985), bevor makroskopisch sichtbare Schädigungen auftreten (BMFT 1985 b). Bei Nadelbäumen tritt einAbsterben der Nadelspitzen mit chlorotischen Flecken und Sprenkeln auf (Guderian 1985). REHFUESS (1983 b) beschreibt die Schadsymptome bei anhaltender Belastung mit geringen Dosierungen als punktförmige Chlorosen, teils an jüngsten, teils an älteren Organen, die, zunächst von grünem Gewebe umgeben, später die ganze Nadel gelb färben oder sich zu Punktnekrosen entwickeln können.

Die im Untersuchungsgebiet beobachteten Punktchlorosen entsprechen in etwa dieser Beschreibung (vgl. auch GLATTES et al. 1985) und ihre Zunahme mit der Höhenlage (siehe Abb. 6) stellt ein weiteres Indiz in Richtung Ozonwirkung dar (vgl. FRICK 1983 zitiert in PRINZ et al. 1984). Einschränkend muß jedoch gesagt werden, daß dieses Symptom auch im Belastungsraum häufig auftritt und sich auf ältere Nadeln beschränkt. Auch konnte nicht, wie in amerikanischen Untersuchungen (zitiert in GUDERIAN 1985), eine Entwicklung dieser Punktchlorosen von der Nadelspitze aus und vor allem im Bereich der Stomata beobachtet werden (vgl. auch PRINZ et al. 1985). Da Bäume aber nur begrenzte Möglichkeiten haben, Symptome auszubilden, sind auch Pilze – obwohl keine Apotezien festgestellt werden konnten – sowie Viren und möglicherweise synergistisch wirkende Schadgaskombinationen in der Lage, zu solchen Symptomen zu führen (NIENHAUS 1985, SCHWERTFEGER 1970, FINK & BRAUN 1983, BAULE 1984).

Ähnliches gilt für die mit am häufigsten beobachtete Nadelverfärbung, die Goldspitzigkeit. Es handelt sich dabei um eine goldbraune Färbung der Nadelspitzen (vgl. Kap. 4.1.), die weder in ihrer Verteilung noch zu den analysierten Nährstoffgehalten in eine eindeutige Beziehung gesetzt werden konnte (vgl. auch Kap. 4.5.). Sie scheint eine Seneszenzerscheinung der Nadeln darzustellen, die jedoch nicht zwangsläufig zum Nadelverlust führt, da keine Beziehung zu Nadelverlusten und Fensterbildung besteht (vgl. Tab. 3). Beide Symptome werden in der Literatur nicht genau beschrieben, verdienen jedoch aufgrund ihrer Häufigkeit und weiten Verbreitung im Untersuchungsgebiet verstärkte Beachtung.

Zusammenfassend führt die Diskussion der im Saarländischen Hunsrückrandbereich auftretenden "Hochlagenerkrankung der Fichte" zu dem Schluß, daß folgende disponierende Stressoren in Frage kommen:

- nährstoffarme Substrate auf guarzitreichen Ausgangsgesteinen
- Basenverarmung durch Auswaschung und Hemmung des ökosystemaren Stoffumsatzes, bedingt durch atmogenen Säureeintrag
- erschwerte N\u00e4hrstoffaufnahme durch Ionenantagonismen mit Aluminium- und Schwermetallionen und gest\u00f6rte Mykorrhizierung
- Ungleichgewicht der Nährstoffverhältnisse durch verstärkten Stickstoffeintrag
- Wurzelschäden durch toxische Metallionen und/oder geringer Assimilatversorgung der Wurzeln
- verstärkte Auswaschung von N\u00e4hrstoffen aus den Nadeln, bedingt durch eine Kombination von Photooxidantiensch\u00e4digung und saurer Deposition.

Die stellenweise erhöhten Schwefelgehalte der Nadeln (vgl. Karte 7) lassen vermuten, daß SO_2 an einigen Standorten auch in synergistischer Wirkung mit anderen Schadgasen, wie Photo-oxidantien und Stickoxiden zu einer latenten Schädigung führen kann (vgl. REHFUESS 1983 b, BMFT 1985 b, KELLER 1977, 1985).

Daneben führen Assimilatanhäufung in den Nadeln und gestörter Nährstoffhaushalt, insbesonders Stickstoffüberschuß (vgl. BMFT 1985 b), zu einer geringeren Frost- und Trockenheitsresistenz der Bäume (vgl. u. a. SCHÜTT et al. 1983, FINK 1983). BOSCH et al. (1983) vermuten, daß durch extreme Fröste bedingte Membranschäden die Nährstoffauswaschung noch verstärken.

Als auslösende Faktoren werden extreme Temperaturstürze (REHFUESS 1983 b) bzw. Versauerungsschübe und Wasserstreß durch Trockenheit (ULRICH 1984) und Episoden mit hoher Belastung durch Säuren, SO_2 und Photooxidantien (PRINZ et al. 1984) angesehen. Für den saarländischen Hochwald liegen keine Luftschadstoffmessungen vor, DÜSSEL (1985) jedoch konnte im rheinpfälzischen Hunsrück kurzzeitige Spitzenbelastungen von über 1 000 ug SO_2 / m³ und hohe Konzentrationen von Ozon feststellen (vgl. HANEWALD & OTT 85, WENTZEL 85); die Ozonkonzentrationen lagen im Jahresmittel in den Waldgebieten doppelt so hoch wie in den Stadtgebieten.

Zu den begleitenden Stressoren gehören Schwächeparasiten wie Pilzerkrankungen und phytophage Insekten (FÜHRER 1983 a, b, PAULUS 1985, KÖNIG et al. 1985, SCHWENKE & BRAUN 1985 u. WAGNER, A. 1984), die oft den vorzeitigen Tod der geschwächten Bäume bewirken.

Die Hypothese von REHFUESS & RODENKIRCHEN (1984), daß es sich bei der Nadelröte-Erkrankung (vgl. Kap. 4.1.) in Süddeutschland um eine primäre Pilzkrankheit und nicht um Schwächeparasiten handelt, wurde von SCHÜTT (1985), BUTIN & WAGNER (1985) widerlegt (vgl. AFZ 1985). Die vorliegende Arbeit konnte keine eindeutige Beziehung zwischen Pilzbefall und Schädigungsgrad feststellen, was auch zu dem Schluß führt, daß Pilze lediglich sekundär auftreten. Geschädigte Bäume mit Pilzbefall zeigten oft starke Nadelverluste.

Zum Abschluß der Diskussion der "Magnesiummangel-Bäume" muß noch einmal hervorgehoben werden, daß die Masse der gelbgefärbten Fichten eine gute Gesamtbenadelung zeigte und nur vereinzelt Bäume mit starker Verlichtung und Nadelverlusten festgestellt wurden (vgl. 4.2.2.).

Eine stärkere Schädigung wurde an den chlorotischen Fichten auf exponierten Standorten des Schwarzwälder Hochwaldes beobachtet, die von einer niedrigen bis sehr niedrigen Kaliumversorgung begleitet wird (vgl. Kap. 4.2.4., 4.2.5. u. 4.6.). ZÖTTL und HÜTTL (1985) fanden bei ihren Untersuchungen in Jungmoränen (Oberschwaben) eine Verschlechterung der Kaliumernährung in Fichtenbeständen (vgl. a. LANDOLT & SCHERRER 1985). Sie beobachteten eine häufige "blaßgrün-gelbliche bis schwach bräunliche Verfärbung an älteren Nadeln", die als Kalium und/oder Zinkmangelsymptome gedeutet wurden (Chlorosen). Aufgrund des er-

mittelten relativ schlechten Kaliumangebots der Jungmoränenstandorte gehen sie davon aus, daß die unzureichende Kaliumversorgung einen disponierenden Streßfaktor darstellt. Dies führt die Autoren zu der Hypothese, daß, je nach spezifisch schwacher Nährelementversorgung durch den Boden aufgrund der bereits beschriebenen Auswaschungsvorgänge in den Nadeln (auslösende Faktoren: synergistisch wirkendes Ozon und SO₂), dasjenige Element zu Mangelerscheinungen führt, das schlecht nachgeliefert werden kann.

Im Gegensatz dazu ermittelten WAGNER, A. (1985) und EISENBARTH & KOCH (1986) eine ausreichende Kaliumversorgung der Hochwaldstandorte, ohne Tendenz zur Verschlechterung. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse führt zu dem Schluß, daß vor allem die exponierte Lage der chlorotischen Probebäume zur Ausbildung der Mangelsymptome führt. Durch die Rand- und Kuppenlagen sind diese Bestände einem stärkeren Schadstoffeintrag und klimatischen Streß ausgesetzt (vgl. ASTHALTER 1980). Eine verstärkte Auswaschung des in der Pflanze sehr mobilen Kalium erscheint unter diesen Voraussetzungen sehr gut möglich. Die Nachlieferung kann auf flachgründigen, dicht bewachsenen und exponierten Böden durch Trockenheit, Wurzelkonkurrenz und möglicherweise auch durch lonenantagonismen (Mg, Ca, NH4) erschwert werden. Die Kaliumunterversorgung bedingt eine höhere Transpiration (MENGEL 1968) und verstärkt somit den Schädigungsablauf. Dies würde erklären, warum an diesen Standorten lediglich bei leichtauswaschbaren Elementen, wie Kalium und möglicherweise auch Zink, Mangelerscheinungen auftreten (vgl. PRINZ et al. 1984).

Die chlorotischen Untersuchungsbäume auf gut basenversorgten Böden außerhalb des Hochwaldes entsprechen den Beschreibungen von REHFUESS (1983 b) und des Forschungsbeirats Waldschäden/Luftverunreinigungen (BMFT 1985 b). Diese Kaliummangelsymptome gehen einher mit reichlicher Ca- und Mg-Ernährung (vgl. Kap. 4.2.4., Kap. 4.2.5. u. Tab. 18). Neben den obengenannten Ursachen sind auf diesen Böden mit Sicherheit ionenantagonistische Aufnahmestörungen des Kalium durch Mg und Ca beteiligt (MENGEL 1968, REHFUESS 1981 b). Hierbei können aber auch bereits SO₂-Wirkungen verstärkt eine Rolle spielen. Die Schädigung der Zellmembran, die Störungen der Enzymaktivität, vor allem die Störung der Stomata-Regulation mit der Folge übermäßiger Transpiration können den durch die Kaliumunterversorgung ohnehin bereits angespannten Wasserhaushalt weiter beeinträchtigen (vgl. LICHTENTHALER & BUSCHMANN 1984, WEHBER 1985). Daneben kann die Kalium-und Wasserversorgung durch die Wurzelkonkurrenz der in diesen Beständen dichten Bodenvegetation verschärft werden (vgl. ASTHALTER 1980, WALTER 1979). Für diesen Erkrankungstyp liegt somit eine deutliche Abhängigkeit von den Boden- und Geländeeigenschaften vor. Dies ist aus der Tatsache ersichtlich, daß Bestände in geschützter Lage und auf tiefgründigen Böden bei gleichen Nährstoffgehalten keine bzw. weitaus schwächere Chlorosen und Verlichtungen der Kronen aufweisen (vgl. a. Kap. 4.7.).

In Bezug auf die Fichtenschäden auf alkalischen Böden ist von Interesse, daß GROSSMANN et al. (1984) durch Computersimulation die beste Übereinstimmung mit der vorhandenen Waldschadensverteilung unter Voraussetzung der Hypothese erreichten, daß Bestände auf alkalischen Böden empfindlicher auf Säureeintrag reagieren als auf sauren Böden (vgl. BMFT 1985 a., S. 21). Die auch im Saarland festgestellte Schadenszunahme auf basenreichen Böden (vgl. WAGNER, A. 1985) zeigt, daß diese Räume verstärkte Beachtung finden müssen (vgl. a. SCHMIDT-HAAS 1985).

Die Auswertung der Ergebnisse aus dem Saarländischen Rauchschadensgebiet (vgl. WAGNER, A. 1983) weist daraufhin, daß in diesem Teilraum ebenfalls neben der direkten Immissionseinwirkung durch SO_2 und Flourwasserstoff (vgl. Kap. 4.2.6.) weitere Stressoren die Schadensausprägung beeinflussen.

Die Nährstoffversorgung der Fichten kommt hierbei als modifizierender Faktor in Bezug auf die Wirkung der Luftverunreinigungen zum Tragen (KELLER 1985). Gut mit Nährstoffen versorgte Bestände scheinen aufgrund ihrer höheren Vitalität die Schadgase stoffwechselmäßig durch ihre Entgiftungsmechanismen (vgl. ZIEGLER & BERNDT 1983) verarbeiten zu können, ohne stärkere äußere Schäden zu zeigen (BMFT 1985 b). Schlechte Nährstoffversorgung durch versauerte Böden verstärken als disponierende Faktoren die Schadenswirkung (vgl. Kap. 4.7.).

Die in früheren Untersuchungen (KNABE 1981) festgestellte strenge Beziehung zwischen

Schwefelgehalt und Schadwirkung gemessen als Abnahme der Gesamtbenadelung, konnte wahrscheinlich aus diesen Gründen auch im Belastungs aum nicht ermittelt werden (vgl. Kap. 4.2.6.).

Die Ergebnisse zeigen, daß die Nährelementversorgung einen maßgeblich mitwirkenden Faktor der "neuartigen Waldschäden", wie auch der Schäden im direkt durch Schwefelemissionen belastenden Raum darstellt.

Die auch im Saarland durchgeführte Kompensationskalkung (WAGNER, A. 1985) zur Verbesserung der Nährstoffversorgung bzw. der pH-Werte wirft die Frage auf, welche Auswirkungen von solchen Gegenmaßnahmen zu erwarten sind. Bei der Auswertung älterer Düngungsmaßnahmen ergab sich kein einheitliches Bild (vgl. EVERS 1984, KREUTZER 1984 und HÜSER 1983), wenn auch teilweise eine verringerte Schadensentwicklung auf gedüngten Flächen festzustellen ist (ALDINGER 1983, BAULE 1984 und LEHRINGER 1985). Neuere Arbeiten ermittelten eine positive Wirkung von Kalkung und Kaliummagnesia-Düngung auf die Waldökosysteme (ZECH 1983, PREUHSLER 1984, MATZNER 1985, BAUCH 1985, MURACH & SCHÜNEMANN 1985, SCHAUERMANN 1985, LAMERSDORF 1985). Die Kalkungsversuche im Solling führten zu einer Verbesserung der Kalzium- und Magnesiumversorgung der Bestände und des Kalzium/Aluminium-Verhältnisses im Boden.

Bodenmeliorationen sind eine Möglichkeit, in versauerten Böden die Schädigungsentwikklung zu bremsen. Sie stellen aber, ähnlich wie bei der Einführung resistenter Arten (STUTZ 1985), kein Mittel gegen die eigentlichen Ursachen – die Luftverunreinigungen – dar, sondern lediglich einen möglichen zeitlichen Aufschub des Schadensfortgangs.

Die Verminderung der Schadstoffemissionen hat somit eindeutigen Vorrang vor allen anderen Maßnahmen, da sie neben den Wäldern auch der menschlichen Gesundheit, den Böden und Gewässern und den Pflanzen und Tieren zugute kommt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung lag darin, die Beziehung zwischen der Versorgung der Fichte mit den Nährstoffen Magnesium, Kalium, Kalzium und Schwefel und den sichtbaren Schadsymptomen zu ermitteln. Weiterhin wurde die Verbreitung der Symptome und Nährstoffgehalte und ihre Beziehung zu den erfaßten Standortparametern analysiert.

Hierzu wurde eine Zufallsstichprobe anhand von UTM-Koordinatenschnittpunkten auf einem Transekt vom Warndt bis zum Hunsrück festgelegt. Die 43 Standorte mit insgesamt 135 Probebäumen wurden in Anlehnung an das Verfahren nach KNABE (1981) beprobt und die Schadsymptome der Fichten mittels eines Aufnahmebogens quantitativ erfaßt.

Die ermittelten Daten wurden mit Hilfe der EDV-Anlage der Universität des Saarlandes statistisch ausgewertet, wobei der Schwerpunkt auf der Analyse der Korrelationen zwischen den 18 verwendeten Parametern lag. Die Verbreitung der Nährelementgehalte und der Schadsymptome wurde karthographisch dargestellt.

An zwei ausgewählten Standorten wurden zur Absicherung der angewandten Methode und zur Feststellung der Variabilität der Nährstoffgehalte jeweils 7 Fichten beprobt und alle vorhandenen Nadeljahrgänge analysiert.

Dies führte im einzelnen zu folgenden Ergebnissen:

- 1. Die Hochlagenerkrankung der Fichte ist in ihrer Verbreitung an das saarländische "Reinluftgebiet" gebunden. Sie tritt hier bereits in Höhen unter 300 m N.N. auf. Die kennzeichnende Quittengelbfärbung der belichteten Nadeln ist eindeutig auf eine Magnesiumunterversorgung zurückzuführen. Die Zunahme der Verfärbung ist signifikant mit der Abnahme der Magnesiumgehalte korreliert. In Zusammenhang mit der Hochlagenerkrankung konnten im Untersuchungsgebiet nur vereinzelt stärkere Kronenverlichtungen beobachtet werden. Die möglichen Ursachen dieser Schadensausprägung werden diskutiert.
- 2. Das Auftreten von Chlorosen ist auf eine niedrige Kaliumversorgung und die stark expo-

nierte Lage der betreffenden Bestände zurückzuführen. Auf basenreichen Böden ist diese Vergilbung der Nadeln mit einer reichlichen Magnesium- und Kalziumversorgung verbunden. In diesen Beständen ist der höchste Schädigungsgrad mit starker Kronenverlichtung, einem hohen Anteil von Angsttrieben an der gesamten Nadelmasse und oft stark verkürzten Trieblängen zu beobachten. Die Anzahl der Nadeljahrgänge stellt insbesondere in diesen exponierten Randbeständen kein geeignetes Maß für die Einschätzung der Kronenverlichtung dar. Als potentielle Gründe für diesen Schadenstyp werden neben dem erhöhten Schadstoffeintrag in exponierten Lagen, ionenantagonistische Aufnahmestörungen, Wasserstreß und Wurzelkonkurrenz diskutiert.

- Die am häufigsten beobachtete Nadelverfärbung, die Goldspitzigkeit, zeigt einen Zusammenhang zur Lamettabildung, sie konnte jedoch weder zur Nährstoffversorgung noch zur Schwefelbelastung in Beziehung gesetzt werden.
- 4. Der Grad der Schwefelbelastung korreliert weder im "Ballungsraum" noch im gesamten Untersuchungsgebiet mit der Gesamtbenadelung bzw. der Kronenverlichtung. Die Nährstoffversorgung tritt hierbei wahrscheinlich als disponierender Faktor in Bezug auf die direkte Immissionsschädigung auf.
- Die Beziehung zwischen Fensterbildung und Lamettabildung läßt vermuten, daß im Laufe der Kronenverlichtung eine Entwicklung von Platten- und Bürstenfichten zu Kammfichten stattfindet, die zur Ausbildung des "Lametta-Syndroms" führt.

Zusammenfassend läßt sich der Schluß ziehen, daß die Nährstoffversorgung eine entscheidende Rolle bei Schadsymptomausprägung der Fichte im direkt immissionsbelasteten wie auch im emittentenfernen Raum spielt.

7.LITERATURVERZEICHNIS

AFZ (1984): Zum Erkennen von Immissions-Schäden an Waldbäumen 1984. AFZ-Sonderheft

AFZ (1985): Welche Bedeutung haben Pilze, Mykoplasten u. a. Mikroorganismen für die Walderkrankung. AFZ 47/1985: 1283–1285

ALCUBILLA, M.R. HEIBL u. K.E. REHFUESS (1985): Standortskundliche Studien zum Tannensterben: Organische Inhaltsstoffe in den Nadeln befallener und gesunder Probebäume. Forstw. Cbl. 104 (1985)

ALDINGER, E. (1983): Gesundheitszustand von Nadelholzbeständen auf gedüngten und ungedüngten Standorten im Buntsandstein – Schwarzwald. AFZ 31/1983: 794-796

Arbeitskreis Chemischer Industrie, Katalyse Umweltgruppe Köln (1983): Das Waldsterben; Ursachen, Folgen, Gegenmaßnahmen. Nov. 1983. 366 S.

ARNDT U. und KAUFMANN M. (1985): Wirkung von Ozon auf die apparente Photosynthese von Tanne und Buche. AFZ 1/2: 1985.

K. ASTHALTER (1980): Ursachen und Standörtliches Vorkommen periodischer Trocknisschäden und mögliche Folgerungen für die Baumartenwahl. AFZ: 510-512

Athari, S. (1983): Zuwachsvergleich von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. AFZ (26/27): 653-655.

BARTELS, U., PHAM T. (1980): Die Analyse von Fluor, Chlor und Schwefel in Pflanzenmaterial im Rahmen der Immissionsökologischen Waldzustanderfahrung (IWZ) in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1980.

BAUCH, J., H. STIENEN, B. ULRICH u. F. MATZNER (1985): Einfluß einer Kalkung bzw. Düngung auf den Elementgehalt und das Dickenwachstum von Fichten aus Waldschadensgebieten. AFZ 43: 1148-1150.

BAULE, H. (1984): Zusammenhänge zwischen Nährstoffversorgung und Walderkrankung. AFZ 30/31: 775-778.

BERGMANN, W. (1983): (Hrsg.) Ernährungsstörungen an Kulturpflanzen. G. Fischer Verlag, Stuttgart: 614 S.

BLASCHKE, H., U. BREHMER und H. SCHWARZ (1985): Wurzelschäden und Waldsterben: Zur Bestimmung morphometrischer Kenngrößen von Feinwurzelsystemen mit den IBAS – erste Ergebnisse. Forstw. Cbl 104 (1985) H. 3-4, S. 199-205.

BLASIUS, D., I. KATTIKE u. F. OBERWINKLER (1985): Zur Bewertung von Fichtenwurzeln geschädigter Bestände. Forstw. Cbl. 104 (1985).

BLOCK, J. u. U. BARTELS (1983): Hohe Konzentrationen von Luftverunreinigungen in den Waldniederschlägen. In: Mitteilungen der LÖLF, 8 H. 4 1983.

BOSCH, C., E. PFANNKUCH, U. BRAUN u. K.E. REHFUESS (1983): Über die Erkrankung der Fichte (*Picea abies* Karst.) in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Forstl. Cbl. (102), 1983.

BRECHTEL, H.H. (1985): Deposition von Luftschadstoffen durch den Freilandniederschlag. AFZ 47/1985: 1281-1283.

BRAUN, H.J. u. SAUTER, J.J. (1983): Unterschiedliche Symptome des Waldsterbens im Schwarzwald – mögliche Kausalkette und Basis-Ursache. AFZ 26/27: 656-660.

BUCHNER, A. u. ISERMANN, K. (1984): Wie sind Waldschadensursachen aus der Sicht der Pflanzenernährung zu beurteilen. AFZ 30/31: 781-784.

BUTIN, H. u. WAGNER, Ch. (1985): Mykologische Untersuchungen zur "Nadelröte" der Fichte. Forstw. Cbl. 104 (1985) H. 3-4, S. 178-186.

BUTIN, H. (1983): Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Thieme-Verlag, Stuttgart, New York.

BURSCHEL, P. (1985): Waldschäden - Forstwirtschaft - Witterung. AFZ, 3/1985: 43-46.

BMI (1983): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. GMBI, 1983

BMFT (1984): Umweltforschung zu Waldschäden. Erste Bilanz der Forschungsförderung. Hrsg.: Bundesministerium für Forschung und Technologie. Bonn 1984

BMFT (1985 a): Umweltforschung zu Waldschäden. 2. Bericht; Bericht über das Statusseminar "Umweltforschung Waldschäden". Hrsg.: Bundesministerium für Forschung u. Technologie. Bonn 1985

BMFT (1985 b): Umweltforschung zu Waldschäden. 3. Bericht. Hrsg.: Bundesministerium für Forschung u. Technologie. Bonn 1985

CRAMER, H.H. (1984): Über die Disposition mitteleuropäischer Forsten für Waldschäden. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, H. 2

CRAMER, H.H. u. CRAMER-MITTELDORF, M. (1984): Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, H. 37

CRAMER, H.H. (1985): zu: Schadensdisposition, Waldgeschichte, Witterung. AFZ 18

DÄSSLER, H.-G. (1981): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation (2. Aufl.). Jena (Fischer)

DRAPER, N.R. u. H. SMITH (1966): Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons. Inc. New York, London, Sidney

DÜSSEL, U. (1985): Neuartige Waldschäden und Stand der Forschung. AFZ 25/26

EISENBARTH, M. u. KOCH, M. (1986): Untersuchungen über die Wasserqualität in saarländischen Waldgebieten und die Verteilung der wichtigsten Metalle in Waldböden des Saarlandes. Forst u. Holzwirt (41, H. 11.)

ELLENBERG, H. (1974): Zeigerwert der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica 9

ELSTNER, E.F. u. W. OSSWALD (1984): Fichtensterben in "Reinluftgebieten", Strukturresistenzverlust. Naturwissenschaftliche Rundschau, H. 2

EVERS, F.H. (1981): Ergebnisse ernährungskundlicher Erhebungen zur Tannenerkrankung in Baden-Württemberg. Forstw. Cbl. 100, 253-265

EVERS, F.H. (1984 a): Welche Erfahrungen liegen bei Kalium- und Magnesium-Düngungsversuchen auf verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg vor? AFZ 30/31: 767-769

EVERS F.H. (1984 b): Läßt sich das Baumsterben durch Walddüngung aufhalten? FHW 39, S. 75-80

EVS-Kolloquium Waldschäden (1985): Energiewirtschaft auf der Suche nach wissenschaftlichen Antworten über die Ursache der Waldschäden. AFZ 8: 154-156

FIEDLER, H.J., W. NEBE u. F. HOFFMANN (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 481 S.

FIEDLER, H.J. u. H. HÖHNE (1965): Vorkommen und Gehalt der Makronährstoffe in Waldbäumen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 14, H. 3

FINK, S. u. H.J. BRAUN (1979): Zur epidemischen Erkrankung der Weißtanne *Abies alba* Mill. Erste Untersuchungen zur Symptomatik und Formulierung einer Virus-Hypothese. Allg. Forst-u. J.-Ztg. 149, 145-150

FINK, S. (1983): Histologische und histochemische Untersuchungen an Nadeln erkrankter Tannen und Fichten im Südschwarzwald. AFZ 660-664

FORSTEINRICHTUNG DER LANDESFORSTVERWALTUNG DES SAARLANDES (Hrsg.) (1972): Erläuterungsband zur Standortskartierung im Staatswald des Forstamts Warndt, Kartierungszeitraum 1969-71, Saarbrücken.

FRAHSER, L. (1985): Die Wirkung von Luftschadstoffen und Waldbaumaßnahmen auf Altersklassenwälder und naturgemäß behandelte Wälder. AFZ 18

FRENZEL, B. (1983): Beobachtungen eines Botanikers zur Koniferenerkrankung. AFZ 29: 743-747

FRENZEL, B. (1985): Viren als mögliche Ursache der Walderkrankung, in: Waldschäden: Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. Hrsg.: G. v. Kortzfleisch, München, Wien, Oldenburg

GARTNER, F.J. u. K.G. NASSAUER (1985): Aktuelles zur Waldschadenssituation in Hessen. AFZ 47/1985: 1265-1271

GLATTES, F., S. SCHMIDT, A. DRESCHER, C. MAYER, F. MUTSCH (1985): Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. FBVA-Berichte 9. Schriftenreihe d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien.

GREEN, R.H. (1979): Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists. "A Wiley-Interscience publication", USA

GROSSMANN, W.D.; SCHALLER, J.; SITTARD, M. (1984): Zeitkarten: eine neue Methode zum Test von Hypothesen und Gegenmaßnahmen bei Waldschäden. AFZ 34: 837-843

GUDERIAN, R. (1985): Air Pollution by Photochemical Oxidants. Ecological Studies 52. Springer Verlag New York, Berlin, Heidelberg, Tokio. 346 S.

HANNEWALD, K. u. W. OTT (1985): Immissionen in hessischen Wäldern – Ergebnisse der Meßstationen. AFZ 47: 1280-1281

HEIDINGSFELD, N.; U. SOMMER, H.J. FRAUDE (1985): Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Rheinland-Pfalz. AFZ 25/26

HÜSER, R. (1983): Forstdüngung mit Blickrichtung auf die Immissionsbelastungen. AFZ 41: 1089-1092

HÜSER, R. u. J. DUNKEL (1985): Stoffdepositionen durch Niederschläge in bayerischen Waldlandschaften. AFZ 11: 238-240

HÜTTERMANN, A. (1983): Frühdiagnose von Immissionsschäden im Wurzelbereich von Waldbäumen. In: Immissionsbelastung von Waldökosystemen. LÖLF, S. 26-31

HÜTTERMANN, A. (1985): Symptome des Waldsterbens. AFZ 4: 67-70

HÜTTL, R.F. u. H.W. ZÖTTL (1985): Ernährungszustand von Tannenbeständen in Süddeutschland – ein historischer Vergleich. AFZ 38

JORNS, A. u. C. HECHT-BUCHHOLZ (1985): Aluminiuminduzierter Magnesium- und Calciummangel im Laborversuch bei Fichtensämlingen. AFZ 46: 1248-1252

KANDLER, O. (1983): Waldsterben: Emissions- oder Epidemie-Hypothese. Naturwissenschaftliche Rundschau 36, 488-490

KANDLER, O. (1985): Immissions versus Epidemie-Hypothesen, in: Waldschäden: Theorie u. Praxis auf d. Suche nach Antworten. Hrsg.: Gert von Kortzfleisch. München, Wien, Oldenburg

KELLER, T. (1977): Begriff und Bedeutung der "latenten Immissionsschädigung". Allg. Forst- u. J. Ztg., 148 Jg. 6

KELLER, T. (1985): S0₂-Immissionen: Resultate von Wirkungsanalysen, in: Waldschäden: Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. Hrsg. G. v. Kortzfleisch

KLEIN, E. (1985): Die Wipfeldürre der Fichte im Sommer 1983. AFZ 6: 127-128

KNABE, W. (1981): Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen. AFZ 27

KNABE, W. (1983): Immissionsökologische Waldzustandserfassung. In: Immissionsbelastung von Waldsystemen 1. LÖLF 1983, S. 43-57

KNABE, W. (1984): Wir stellen zur Diskussion: Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. AFZ 33/34: 847-848

KOHLMAIER, G.H. (1983): Über die mögliche lokale Wechselwirkung anthropogener Schadstoffe mit Terpen-Emissionen von Waldökosystemen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 154 Jg. 9/10. 170-174

KÖNIG, E. u. STEGEN-WITTENTAL (1985): Gegenwärtige Waldschutzsituation in Südwest-deutschland. AFZ 13: 278-282

KOTZ, L.; KAISER, G.; TSCHOPEL, P. u. TÖLG, G. (1972): Aufschluß biologischer Matrices für die Bestimmung sehr niedriger Spurenelementgehalte bei begrenzter Einwaage mit Salpetersäure unter Druck in einem Teflongefäß. Z. Anal. Chem. 260: 207-209

KREUTZER, K. (1984): Mindern Düngemaßnahmen die Waldschäden? AFZ 39: 771-773

KUHLMANN, J. (1983): Zur Hydrologie und Typologie des Grundwassers im Saar-Nahe-Gebiet. Dissertation, Universität des Saarlandes

KUNERT, K.J. (1985): Peroxidation von Membranlipiden – ein Hinweis auf physiologische Wirkungsmechanismen in geschädigten Waldbäumen. AFZ 35

LAMERSDORF, N. (1985): Der Einfluß von Düngungsmaßnahmen auf den Schwermetall-Output in einem Buchen- und einem Fichten-Ökosystem des Sollings. AFZ 43: 1155-1158

LANDOLT, W. u. SCHERRER, H.U. (1985): Immissionskundliche Untersuchung der Waldschäden im Unterwallis, Schweiz, z. Forstw. 136, 9: 733-747

LEHRINGER, S. (1985a): Entstehung und Wirkungsweise von photochemischen Oxidantien. AFZ: 860 – 862

LEHRINGER, S. (1985a): Langfristige Auswirkungen einer Wald-Düngung auf Zuwachs und Gesundheit. AFZ 11: 1985

LEHRINGER, S. (1985b): Waldschäden - Forstwirtschaft - Witterung. AFZ 38

LICHTENTHALER, H.K. (1984): Luftschadstoffe als Auslöser des Baumsterbens. Naturwissenschaftliche Rundschau 37. 271-277

LICHTENTHALER, H.K. u. BUSCHMANN, C. (1984): Beziehung zwischen Photosynthese und Baumsterben. AFZ 1: 12-16

LITTEK, T. u. TREFZ-MALCHER, G. (1985): Wie sauer ist der Schnee? AFZ 23

MATZNER, E. (1985): Auswirkungen von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz in zwei Waldökosystemen im Solling. AFZ 43: 1143-1147

MC LAUGHLIN, S.B. (1985): Effects of air pollution on forests. A critical review. Journal of the Air-Pollution Control Association, S. 512-534

MENGEL, K. (1968): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer Verlag, Stuttgart, 436 Seiten

MEYER, F.H. (1984): Mykologische Beobachtungen zum Baumsterben, AFZ, 212-228

MEYER, F.H. (1985): Einfluß des Stickstoff-Faktors auf den Mykorrhizabesatz von Fichtensämlingen im Humus einer Waldschadensfläche, AFZ 9/10: 208-209

MIES, E. und ZÖTTL, H.W. (1985): Zeitliche Änderung der Chlorophyll- und Elementgehalte in den Nadeln eines gelb-chlorotischen Fichtenbestandes, Forstw. Cbl. 104 (1985), 1-8

MÜLLER, G. (1982): Die geologischen Einheiten des Saarlandes, in: Saarland VFMG-Sommertagung 1982

Müller, P. (1981): Arealsysteme und Biogeographie. Stuttgart

Müller, P. (1983): Flechten und Waldschäden. Forum Städte-Hygiene 34 (1983), 11/12

MURACH, D. und SCHÜNEMANN, F. (1985): Reaktion von Feinwurzeln auf Kalkungsmaßnahmen. AFZ 43: 1151

NIENHAUS, F. (1985): Zur Frage der parasitären Verseuchung von Forstgehölzen durch Viren und primitive Mikroorganismen. AFZ 6: 119-124

OLDIGES, H. (1985): Messung der Immissionsbelastung und Deposition im Waldökosystem. AFZ 7: 145-146

PAULUS, M. (1985): Immissionsbedingter Arthropodenbefall in saarländischen Fichtenbeständen. Diplomarbeit, Fachrichtung Biogeographie, Universität des Saarlandes

PERKIN-ELMER-HANDBUCH: Analytische Methoden für die Atom-Absorbtions-Spektroskopie

PREUHSLER, T. (1984): Beobachtung von Walderkrankungssymptomen auf einem Kali-Magnesia-Fichtendüngungsversuch in Oberbayern. AFZ 39: 773-774

PRINZ, B.; KRAUSE, G.H.-M. & JUNG, K.D. (1984): Neuere Untersuchungen der LIS zu den neuartigen Waldschäden. Düsseldorfer Geobotanische Kolloquien, Heft 1, März 1984

PRINZ, B.; KRAUSE, H.-M. und STRATMANN, H. (1982): Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der BRD. LISBericht 28

PRINZ, B.; KRAUSE, G.H.-M.; JUNG, K.-D. (1985): Untersuchungen des LIS Essen zur Problematik der Waldschäden, in: Waldschäden – Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. Hrsg.: Gert von Kortzfleisch, München, Wien, Oldenburg

RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1983): Waldschäden und Luftverunreinigungen. Sondergutachten März 1983, Stuttgart, Mainz

REHFUESS, K.E.: (1981 a): Über die Wirkungen der sauren Niederschläge im Waldökosystem. Forstw. Cbl. 100 (6). 336-381

REHFUESS, K.E. (1981 b): Waldböden – Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Pareys Studientexte 29, Hamburg, Berlin 1981

REHFUESS, K.E. (1983 a): Ernährungsstörungen als Ursache der Walderkrankungen. Kali-Briefe 16. 549-563

REHFUESS, K.E. (1983 b): Walderkrankungen und Immissionen – eine Zwischenbilanz. AFZ 601-610

REHFUESS, K.E. (1983 c): Ersatztriebe an Fichten. AFZ 39: 1111

REHFUESS, K.-E. und RODENKIRCHEN (1984): Über die Nadelröte-Erkrankung der Fichte (*Picea abies* Karst.) in Süddeutschland. Forstw. Cbl. (103), 248-262

REISCH, J. (1974): Waldschutz und Umwelt. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

ROTHMALER, W. (1976): Exkursionsflora, Bd. 2, Berlin

ROST-SIEBERT, K. (1983): Aluminium-Toxizität und Toleranz an Keimpflanzen von Fichte und Buche. AFZ 38: 686-689

ROST, F. (1985): Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1984 in Nordrhein-Westfalen. AFZ 6: 125-126

RUNGE, M. (1984): Bedeutung und Wirkung von Aluminium als Standortfaktor. Düsseldorfer Geobotanische Kolloquien. Heft 1, Düsseldorf März 1984

SACHS, Lothar (1978): Angewandte Statistik. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

SIMON, B. und ROTHE, G.M. (1985): Aluminiumbedingte Stoffwechseländerungen in Fichtenkeimlingen. AFZ 36

SORG, W. (1965): Grundlagen einer Klimakunde des Saarlandes nach den Messungen von 1949-1960. Ann. Univ. Sarav.-R. Phil. Fak. 4, 7-36

SPELSBERG, G. (1983): Bodensubstrat offenbar nicht entscheidend für akute Waldschäden. In: Mitteilungen der LÖLF 8, H. 4

SCHAEFER, U. (1985): Waldschäden und die Tierwelt des Bodens. AFZ 27

SCHAUERMANN, J. (1985): Zur Reaktion von Bodentieren nach Düngung von Hainsimsen-Buchen wäldern und Siebenstern-Fichtenforsten im Solling. AFZ 43: 1159-1160

SCHMID-HAAS, P. (1985): Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984. Schweiz. Z. Forstw. 136 (1985) 4, 251-273

SCHMIDT-VOGT, H. (1977): Die Fichte, Bd. 1 u. 2. Verlag Paul Parey Hamburg, Berlin

SCHNEIDER, H. (1972): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 159 Saarbrücken. Geographische Landesaufnahme 1: 200 000. Naturräumliche Gliederung Deutschlands. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg

SCHRÖTER, H. U. ALDINGER, E. (1985): Beurteilung des Gesundheitszustandes von Fichten und Tannen nach der Benadelungsdichte. AFZ 36

SCHÜTT, P. (1977): Das Tannensterben. Der Stand unseres Wissens über eine aktuelle und gefährliche Komplexkrankheit der Weißtanne (Abies alba Mill.) – Forstw. Cbl. 96, 177-186

SCHÜTT, P. (1982): Stand der Luftschadstoff-Problematik in der Forstwirtschaft; zum Erkennen von Immissionsschäden – Sonderdruck der AFZ (39)

SCHÜTT, P.; BLASCHKE, H.; HOQUE, E.; KOCH, W., LONG, K.J. und SCHUCK, H.J. (1983): Erste Ergebnisse einer botanischen Inventur des Fichtensterbens. Forstw. Cbl. 102, 158-166

SCHÜTT, P. (1984): Der Wald stirbt am Streß. Bertelsmann, München

SCHÜTT, P. (1985): Das Waldsterben – eine Pilzkrankheit? Forstw. Cbl. 104 (1985), H. 3-4, S. 169-177

SCHWENKE, W. und BRAUN, G. (1985): Situation und Prognose des Forstschädlingsbefalls in Bayern 1984/85. AFZ 13: 284-286

SCHWERDTFEGER, F. (1970): Waldkrankheiten. Paul Parey, 509 S.

STRELETZKI, H.W. (1983): Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Niedersachsen. Der Forst- und Holzwirt 38 (21), 554-558

STUTZ, H.P. (1985): Forstpflanzenzüchtung im Kampf gegen das Waldsterben. Bericht zu einer Verlagstagung der Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, 9.-11.10.1984, in Göttingen. Schweiz z. Forstw. 136 (1985) 3, 235-238

UBA (1985 a): Der "Saure Regen" ist nicht die Folge der Abgasentstaubung, in: Monatsberichte aus dem Meßnetz, 3/85, 3-10

UBA (1985 b): Ozon und Umwelt, in: Monatsberichte aus dem Meßnetz, 2/85, 1-17

ULRICH, M.; MAYER, R. und KHANNA, P.K. (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriftenreihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Mitt. Niedersachsen, Forstl. Versuchsanstalt 58

ULRICH, B. (1983 a): Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluß des "sauren Regens". AFZ 670-677

ULRICH, B. (1983 b): Gefahren für das Waldökosystem durch saure Niederschläge. In: Immissionsbelastung von Waldökosystemen. LÖLF 1983, S. 9-25

ULRICH, B. und MATZNER, E. (1983): Abiotische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Luftreinhaltung. Forschungsbericht 104 02 615

ULRICH, B. (1984): Langzeitwirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme. Düsseldorfer Geobotanische Kolloquien, Heft 1, März 1984

ULRICH, B. (1984 b): Deposition von Säure- und Schwermetallen aus Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen. In: Metalle in der Umwelt, Hrsg.: Ernest Merian, Verlag Chemie 1984

VAN HAUT, H. u. STRATMANN, H. (1970): Farbtafelatlas über Schwefeldioxid-Wirkungen an Pflanzen. Verlag W. Girardet, Essen

VDI-KOLLOQUIUM "Saure Niederschläge" (1983): Bewertung natürlicher und anthropogener Stoffeinträge über die Atmosphäre als Standortfaktor im Hinblick auf die Versauerung landund forstwirtschaftlich genutzter Böden.

WAGNER, A. (1983): Zur Situation des Waldsterbens durch Luftverunreinigungen im Saarland. AFZ 1983: 722-723

WAGNER, A. (1984): Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1983 im Saarland. AFZ 14/15: 358-359

WAGNER, A. (1984): Waldschadenserhebung 1984. Mitteilungen der Saarländischen Landesforstverwaltung – Sonderdruck. 1984

WAGNER, A. (1985 a): Bodenanalysenserie 1964-83 und Kompensationskalkung. Mitteilungen der Saarl. Forstverwaltung – Sonderdruck, Januar 1985

WAGNER, A. (1985 b): Ergebnisse der Waldschadensinventur 1984 im Saarland. AFZ 4: 72-74

WAGNER, G.; BAGSCJIK, H.; BUROW, M.; MOHL, C.; OSTAPCZUK, P. und STOEPPLER, M. (1985): Spruce needles as Indicators for Heavy Metal Pollution. In: Heavy Metals in the Environent. Athens, September 1985

WALDMANN, G. (1984): Saurer Nebel als Ursache der neuartigen Waldschäden? AFZ 290

WALD- und FORSTWIRTSCHAFT IM SAARLAND (1983): Sonderdruck der AFZ, Nr. 3/1983

WALTER, H. und STRAKA, H. (1970): Arealkunde; Floristisch-historische Geobotanik (Einführung in die Phytologie, Bd. 3, Teil 2). Stuttgart 1970, 2. Aufl., 478 S.

WALTER, H. (1979): Allgemeine Geobotanik. Stuttgart, Ulmer

WEHBER, P. (1985): Wie Nadelbäume durch Luftschadstoffe vorzeitig sterben. AFZ 38

WENTZEL, K.F. (1985): Hypothesen und Theorien zum Waldsterben. Forstarchiv, Bd. 56, S. 51-56

WENTZEL, K.F. (1985): Lektionen der Smog-Periode 1985 zur Beurteilung der Walderkrankungen. AFZ 27

ZECH, W. (1983): Kann Magnesium immissionsgeschädigte Tannen retten? AFZ 38: 237

ZECH, W. u. POPP, E. (1983): Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. Forstl. Cbl. 102, S. 50-55

ZEZSCHWITZ, E.V. (1985): Qualitätsänderungen des Waldhumus. Forstw. Cbl. 104 (1985), H. 3-4. S. 205-219

ZIEGLER, I. und BERNDT, J. (1983): Wirkung luftverunreinigender Stoffe auf Pflanzen. Naturwissenschaftliche Rundschau 36, S. 339-344

ZÖTTL, H.W. (1983): Zur Frage der toxischen Wirkung von Aluminium auf Pflanzen. AFZ 8: 206-210

ZÖTTL, H.W. u. MIES, E. (1983): Die Fichtenerkrankung in den Hochlagen des Südschwarzwaldes. Allg. Forst- und J.-Ztg., 154. Jg., S. 110-114

ZÖTTL, H.W. und HÜTTL, R. (1985): Schadsymptome und Ernährungszustand von Fichtenbeständen im südwestdeutschen Alpenvorland. AFZ 9/10: 197-199

Karten:

- Topographische Karte des Saarlandes 1 : 100 000, Saarbrücken 1972
- Topographische Karten 1:50 000, Ausgabe 4 DMG (UTM-Gitternetz), Hg.: Militärgeographisches Amt 1978

Lauterbach im Warndt	L 6906
Saarbrücken West	L 6706
Lebach	L 6506

Topographische Karten 1: 25 000, Ausgabe 1982, Hg.: Landesvermessungsamt des Saarlandes

Lauterbach im Warndt	6806
Ludweiler	6706
Saarlouis	6606
Reimsbach	6506
Losheim	6406

- Geologische Karte des Saarlandes, Maßstab 1:50 000, Hg.: Geologisches Landesamt des Saarlandes, Saarbrücken 1981
- Wirtschaftskarten des Forstamtes Warndt 1: 10 000, Waldzustand 1974

Forstrevier Lauterbach Forstrevier Ludweiler Forstrevier Warndtweiler Forstrevier Weiherdam Forstrevier Weinbrunn Anhang: Aufnahmebogen Nr. 4 aus Lauterbach vom 19. 06. 1984 und Aufnahmebogen Nr. 42 aus Weiskirchen vom 09. 08. 1984

AUFNAHMEBOGEN:

NR.: 4		Datum: 19.6.84						
UTM-Koordinaten	: 32ULV370/500	Ortsbezeichnung: Lauterbach Abt. 53						
STANDORTSBESCHREIBUNG:								
Höhenlage: 290 m	Höhenlage: 290 m ü.NN Geologie: Mittlerer Buntsandstein							
Unterwuchs: Dryo	pteris austriad	ca, Luzula luzuloides, Deschampsia flexuosa						
BESTANDSBESCHRE	IBUNG:							
Alter: 46 Jahre Baumhöhe: 24 m Struktur: mittel								
Anmerkungen: S	CHWERPUNKTSSTAN	NDORT-BALLUNGSRAUM						
SCHADENSBESCHRE	TRUM:							
		cad: 3 Windwürfe/brüche: 2						
Schädigung am	verlichtungsgr	ad: 3 windwdrie/bruche: 2						
	arzfluß [2 2.Borkenrisse 1 3.Kronbruch 0						
Aste: 4.L	amettabildung	3 5.Fensterbildung 2 6.Harztropfen 1						
Nadeln: 7.A	ngsttriebe	3 8.Triebschäden 0 11.Punktchlor. 1						
Schädlings-12.B	orkenkäfer	2 : Ips typographis						
	ilzbefall onst.Schädl.	1 :						
	instiche	1 16.Fraßschäden 0						
Anmerkungen:								
Einzelbaumbesch	reibung:							
1.Probebaum: Sc	hadenbeschreibu	ing: 1.1,4.1,6.1,7.3,9.2,11.1,15.1,						
Nadeljahrgänge:	1. 2. 3.	4. 5. 6. 7. Gesamtbenadlung						
	100 % 100 % 9	0 % 50 % 75 % 25 % - % 440 %						
Nadelfärbung:		go lgo go lgo						
Mg [mg/kg]:	755 430 56	59 600 696 696						
Ca [%] :	0,20 0,39 0,	48 0,49 0,53 0,38						
K [%]:	0,89 0,43 0,	,40 0,43 0,40 0,58						
2.Probebaum: Sc	hadensbeschreib	bung:1.3.2.1.4.4.5.3,6.2,7.2,9.3,11.2,15.2						
2.Probebaum: Schadensbeschreibung: 1.3,2.1,4.4,5.3,6.2,7.2,9.3,11.2,15.2,								
Nadeljahrgänge:								
	100 % 100 % 10							
Nadelfärbung:		go go						
MG [mg/kg]:	1716 765 56							
Ca [%] :	0,30 0,68 0							
K [%] :	0,87 0,62 0	,66 0,49						

Einzelbaumbesch:	reibung	:						
3.Probebaum: Schadensbeschreibung: 1.1,4.3,5.3,7.2,9.3,11.1,15.1,								
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
		100 %	100 %	90 %	60%	10 %		
Nadelfärbung:	gr	lgo .		lgo	go	go		
Mg [mg/kg]:	1865	1264	1100	908	883			
Ca [%] :	0,38	0,88	0,70	0,92	1,00			
K [%] :	0,97			0,64				
4.Probebaum: Sc	hadensb	eschr	eibun	g: 1.	3,4.3	,5.1,	7.3,8.	3,9.2,11.1,15.2,
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
	100 %	100 %	100 %	100 %	80 %	30 %	10 %	520 %
Nadelfärbung:	gr	gr	lgo	lgo	lgo	go	stgo	
Mg [mg/kg]:	1121	779	882	968	722	982		
Ca[%]:	0,18	0,55	0,49	0,69	0,71	0,69		
K [%]:	0,90	0,60	0,63	0,72	0,60	0,71		
5.Probebaum: Sc	hadensb	eschr	eibur	ng: 4.	3,5.3	,7.3,8	3.1,9.	3,15.1,
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
		100 %	90 %	90 %	90 %	40 %	15 %	525 %
Nadelfärbung:	gr	lgo	lgo	go	stgo	stgo	stgo	
Mg [mg/kg]:	1122	1516	1166	1034	1079	1013		
Ca [%] :	0,23	0,72	0,65	0,93	1,06	1,23		
K [%]:	0,84	0,72	0,66	0,60	0,67	0,55		
6.Probebaum: Sc	hadensb	eschr	eibur	ng: 1.	1,7.2	,9.1,	15.1,	
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
		100 %	100 9	100 9	100 %	80 %	20 9	
Nadelfärbung:	gr	gr	lgo	lgo	lgo	lgo	lgo	
Mg [mg/kg]:	1104	952	513	800	358	765		
Ca [%] :	0,16	0,55	0,54	0,78	0,60	0,53		
K [%]:	0,76	0,44	0,67	0,39	0,49	0,50		
7.Probebaum: Schadensbeschreibung: 1.1,4.1,5.3,7.2,9.2,13.4,								
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4 .	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
	100 9	100 9	60 9	15 9	30 9	9	9	305 %
Nadelfärbung:	gr	go	-	stgo	-	-		
Mg [mg/kg]:	1159	-	-	1080				
Ca [%] :	0,18	0,44	0,52	0,47	0,51			
X [%] :	0,90	0,49	0,45	0,52	0,55			
			,					

AUFNAHMEBOGEN:

NR.: 42	NR.: 42 Datum: 9.8.84						
UTM-Koordinaten: 32ULV410/940 Ortsbezeichnung: N-Weiskirchen							
STANDORTSBESCHREIBUNG:							
Höhenlage: 560 m ü.NN Geo	Höhenlage: 560 m ü.NN Geologie: Taunusquarzit						
Unterwuchs: Vaccinium myrtillus, De	schampsia flexuosa,						
BESTANDSBESCHREIBUNG:							
	Alter: 60 Jahre Baumhöhe: 25 m Struktur: mittel						
Anmerkungen: SCHWERPUNKTSSTANDORT-	HOCHWALD						
SCHADENSBESCHREIBUNG:							
Gesamtbestand: Verlichtungsgrad:	Windwürfe/brüche: 1						
Schädigung am							
Xste: 4.Lamettabildung 2 7.Angsttriebe 2	2.Borkenrisse 0 3.Kronbruch 0 6.Harztropfen 0 8.Triebschäden 1						
Nadeln: 9.Goldspitzigkeit 3 1 Schädlings-12.Borkenkäfer 0 :	0.Gelbfärbung 2 11.Punktchlor. 3						
befall: 13.Pilzbefall 1 :	Chrysomyxa abietis						
14.sonst.Schädl. 0 : 15.Einstiche 0 1	6.Fraßschäden 0						
Anmerkungen:	<u> </u>						
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , 						
Einzelbaumbeschreibung:							
1.Probebaum: Schadenbeschreibung: 4	1.Probebaum: Schadenbeschreibung: 4.1,7.1,9.1,11.1,						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4.	5. 6. 7. Gesamtbenadlung						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4.	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 %						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 % 100% 100% 100% Nadelfärbung: gr 1go 1go 1	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 100 100 100 100 100 100 100 100 10	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go 92 819 638						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 % 100% 100% 100% Nadelfärbung: gr 1go 1go 1 Mg [mg/kg]: 1551 1074 7.05 5 Ca [%] : 0.41 0,74 0,62 0,	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go 92 819 638 56 0,63 0,55						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 % 100% 100% 100% 100% 100% 100% 10	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go 1go go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 % 100% 100% 100% 100% 100% 100% 10	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 %						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100 % 100% 100% 100% 100% 100% 100% 10	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76 1.1,4.2,7.2,9.2,10.3,11.2,13.1, 5. 6. 7. Gesamtbenadlung 80% 80% 40% 30% 525 %						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% -% 555 % go lgo go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76 1.1,4.2,7.2,9.2,10.3,11.2,13.1, 5. 6. 7. Gesamtbenadlung 80% 80% 40% 30% 525 % 2g 1/4g stgo go						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go 1go go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76 1.1,4.2,7.2,9.2,10.3,11.2,13.1, 5. 6. 7. Gesamtbenadlung 80% 80% 40% 30% 525 % 2g 1/4g stgo go 95 365 419 487						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go 1go go 92 819 638 56 0.63 0.55 71 0.83 0.76 1.1,4.2,7.2,9.2,10.3,11.2,13.1, 5. 6. 7. Gesamtbenadlung 80% 80% 40% 30% 525 % 2g 1/4g stgo go 95 365 419 487 55 0.56 0.64 0.76						
Nadeljahrgänge: 1. 2. 3. 4. 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100% 100	5. 6. 7. Gesamtbenadlung 95% 90% 60% - % 555 % go lgo go 92 819 638 56 0,63 0,55 71 0,83 0,76 1.1,4.2,7.2,9.2,10.3,11.2,13.1, 5. 6. 7. Gesamtbenadlung 80% 80% 40% 30% 525 % 2g 1/4g stgo go 95 365 419 487						

Einzelbaumbesch	ro (bu na							
	_		eibun	g: 4.	3,5.3	7.2.8	R. 1. 9. 3	3,10,1,11,3,13,1,
Nadeljahrgänge:				4.				Gesamtbenadlung
	100%					40%		515 %
Nadelfärbung:	gr	go	_	1/8g			stgo	
Mg [mg/kg]:	776			406		547		
Ca [%] :		0,26						
K [%]:		0,60						
4.Probebaum: Sc	hadensh	eschr	elbun	ig: 1.	,4.3,	5.2,1	1.1,9.2	2,10.1,11.3,
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4 .	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
	100%	100%	100%	90%	90%	90%	20%	. 590 %
Nadelfärbung:	gr	lgo	lgo	lgo	lgo	lch	ch	
Mg [mg/kg]:	1416	925	721	556	501	550	551	
Ca[%] :	0,52	0,52	0,53	0,44	0,47	0,57	0,76	
K [%] :	0,86	0,66	0,69	0,66	0,62	0,55	0,60	
5.Probebaum: Sc	hadensh	eschr	eibur	ig: 4.	2,5.1	,7.1,9	9.1,11	. 2 ,
Nadeljahrgänge:	·	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
Nadeljanigange:		100%		1009				
Nadelfärbung:	gr		lgo		-	lgo		300 %
Mg [mg/kg]:		748	-	_	-	-		
Ca [%] :		0,69				-		
K [%] :		0,91						
6.Probebaum: So			_	_				4,11.2,15.2,
				.,				
Nadeljahrgänge:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
	100	70%	959	-	-	-	1	355 %
Nadelfärbung:	gr	1/2g	-	-	-	1/4g		
Mg [mg/kg]:		269	-	-	-	-		
Ca [%] :		0,27	-	-	-	-		
K [%]:		0,51		0,71				
7.Probebaum: Schadensbeschreibung: 4.3,5.3,7.1,10.3,11.2,								
Nadeljahrgänge:	1.	2.	Ь.	4.	5.	6.	7.	Gesamtbenadlung
	100		F .	100	-	200	No. 100	_
Nadelfärbung:	gr	-	-	1	1	1/2g	-	
Mg [mg/kg]:	896	-	-	-	-	-		
Ca [%] :	0,15	0,22	0,30	0,33	0,41	0,41		
K [%] :	0,67	0,52	0,51	0,58	0,52	0,54		
		-						

Anschrift des Verfassers:

Christoph Horras Fachrichtung Biogeographie Universität des Saarlandes 6600 Saarbrücken 11