

# NR Naturwissenschaftliche Rundschau 11/1994

47. Jahrgang

November 1994



1984



1990

# 11

Postvertriebsstück  
Entgelt bezahlt

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

## Zusammenfassender Vergleich der Ergebnisse der Arbeiten von D. Godde et al. und Ch. Ottander et al. über die biochemischen Grundlagen der "akuten Vergilbung" der Fichte bzw. der Wintervergilbung der Kiefer

Die biochemischen Grundlagen der reversiblen Vergilbungen bei Koniferen wurden inzwischen im Fall der "akuten (montanen) Vergilbung" der Fichte von Frau Godde et al. (PLANTA 199, 34-42, 1996; J. PLANT PHYSIOL 148, 324-331, 1996) und im Fall der Wintervergilbung der Kiefer von Ottander et al. (PLANTA 197, 176-183, 1995) weitgehend geklärt.

Demnach handelt es sich um einen metabolischen Regulationsmechanismus zur Verhinderung der photooxidativen Schädigung, die als Folge der Hemmung der CO<sub>2</sub>-Assimilation durch Mineralstoffmangel ("akute Vergilbung") oder durch tiefe Temperaturen (Wintervergilbung) bei starker Belichtung eintreten würde.

Die Regulation führt unter weitgehender Aufrechterhaltung der relativen Mengenverhältnisse der Photosynthesepigmente zu einer reversiblen Verminderung des Chlorophyllgehaltes und zu einer Veränderung der Anordnung der Pigmente, so daß es zu einer Verstärkung des Gelbtones der Blattorgane kommt, während der Methanolextrakt auch der vergilbten Nadeln tief grün erscheint.

Diese Befunde entsprechen der schon 1987 aufgrund der ersten Pigmentanalysen von Nadeln akut vergilbter Fichten aufgestellten Hypothese, daß die "akute Vergilbung" der Fichten primär nicht auf einem photooxidativen Chlorophyllabbau, sondern - ähnlich wie die Anpassung an Starklichtbedingungen - auf einer metabolischen Regulation des Pigmentgehaltes beruht. (Kandler, Miller, Ostner: Dynamik der "akuten Vergilbung" der Fichte: Epidemiologische und physiologische Befunde, Allgem. Forst Zeitschrift 27/28/29, S. 715-723, 1987).

Als Ursache für den Mineralstoffmangel (meist Mg, seltener K) nehmen wir pilzliche Wurzelfäulen an, die auf Mg- bzw. K-armen Böden zu einem akuten Mg- oder K-Mangel führen. Das Fluktuieren des Vergilbungsgrades bis hin zum Absterben, aber auch zur völligen Wiederergrünung wird als Folge der wechselnden Intensität der Wurzelfäulen und der dadurch bedingten unterschiedlich starken Beeinträchtigung der Mineralstoffaufnahme verstanden. (O. Kandler & W. Miller: Dynamics of "acute yellowing" in spruce connected with Mg deficiency. Water, Air, and Soil Pollution 54, 21-34, 1990/91).

Otto Kandler

### **Titelbild · Wiederergrünung einer vergilbten Fichtennaturverjüngung**

1984 zeigten etwa 60% der Jungfichten bei Spiegelhütte (Bayerischer Wald) das typische Symptom der akuten (montanen) Vergilbung (oberes Bild, Zustand 1984) und wiesen einen ausgeprägten Magnesiummangel auf. Nur wenige der vergilbten Fichten starben in den Folgejahren ab. Bei den meisten ergrünten die Nadeln ab 1985/86 wieder (unteres Bild, Zustand 1990) und der Mg-Gehalt erhöhte sich auf das ursprüngliche Niveau, ohne daß eine Düngung erfolgte oder eine

Veränderung der Schadstoffbelastung eingetreten war. Bodenuntersuchungen im Wurzelraum der Fichten ergaben keine Veränderung des pH-Wertes oder des Gehaltes an pflanzenverfügbaren Kationen (K, Mg usw.). Das meist nesterartige Auftreten und der episodische Verlauf der Vergilbung der Fichte auf sauren Mittelgebirgsböden mit schwacher Mg-Versorgung spricht für eine reversible Wurzelkrankung, die zur Einschränkung der Mg-Aufnahme führt und dadurch ei-

nen akuten Mg-Mangel und die damit verbundene Vergilbung auslöst. [Vgl. O. Kandler, W. Miller: Water, Air and Soil Pollution 54, 21 (1990). Siehe auch Seite 419.]

Prof. Dr. Otto Kandler,  
Botanisches Institut,  
Universität München

Das Titelbild kann als Superslide (4x4 cm), Außenmaß 5x5 cm, verglast für Projektionszwecke, hergestellt von der Originalaufnahme, zum Preis von DM 12,- (zzgl. MwSt. und Versandkosten) unter Angabe des betreffenden Heftes von der Naturwissenschaftlichen Rundschau, Postfach 10 10 61, 70009 Stuttgart, bezogen werden.

# Vierzehn Jahre Waldschadensdiskussion

## Szenarien und Fakten

Otto Kandler, München

Die Waldsterben-Szenarien der frühen 80er Jahre haben sich nicht bestätigt. Die jährlichen Waldzustandserhebungen ergaben zwar bei jeder der 4 Hauptbaumarten regional und zeitlich unterschiedliche Fluktuationen der Kronenzustände, aber es kam nicht zu einem allgemeinen Zuwachsrückgang. Im Gegenteil, die seit den 50er Jahren anhaltende leichte Zuwachssteigerung setzte sich nach Überwindung der Zuwachsrückgänge in den trockenen 70er Jahren auch in den 80er Jahren fort.

Statt der Frage: Warum sterben die Wälder? stellt sich heute die Frage: Warum hat sich die Zuwachsleistung der Wälder in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts stetig erhöht?

Die Waldschadensdiskussion entsprang zu Beginn der 80er Jahre der Befürchtung, daß eine allgemeine Schädigung der Wälder durch saure Depositionen [1, 2, 3] und großräumige Luftverschmutzung [4, 5] eingetreten sei. Diese Befürchtungen verdichteten sich zum Begriff „Waldsterben“, der durch die Medien [6], entsprechend illustrierte Bücher [7, 8] und eine Welle von Resolutionen und Veranstaltungen verschiedenster Organisationen, einschließlich der Universitäten [9], rasch popularisiert wurde.

### Die Waldsterben-Hypothese

Zentrale Aussagen der Waldsterben-Hypothese:

— Das Waldsterben-Syndrom ist eine von allen bisher bekannten Krankheiten verschiedene, ökosystemare Komplexkrankheit, ausgelöst durch kumulativen Streß von Luftschadstoffen [10, 11] und deren Depositionen [2, 3, 12].

— Alle Baumarten sind betroffen und zeigen ähnliche Symptome: Verlust und/oder Verfärbung der Belaubung, Wuchsanomalien, vorzeitiges Altern, häufiges, übermäßiges Fruchten, Verlust von Feinwurzeln usw. [5, 7, 11].

— Waldsterben breitet sich europaweit aus und verläuft sehr rasch [5, 11]; ein großflächiges Absterben von Fichten und Tannen bis 1990/92 [13] sowie ein Anstieg von „Im-

missionsholz“ [14] und der Verfall der Holzpreise [15] sind zu erwarten.

— Die „neuartigen Waldschäden“ sind je nach der Höhe der Belaubungsverluste mit einem Rückgang des Holzzuwachses (Abb. 1) verbunden und führen zu jährlichen volkswirtschaftlichen Verlusten in Höhe von mehreren Milliarden DM [16].

Viele Praktiker und mit dem Wald vertraute Wissenschaftler waren skeptisch gegenüber derartigen Waldsterben-Szenarien. Schon bei der ersten Vorstellung der neuartigen Waldschäden anlässlich eines Symposiums des Forstbotanischen Instituts der Universität München am 15. Mai 1981 im Forstamt Sauerlach [17] wies H. J. Braun [18] die Annahme eines neuartigen Fichtensterbens unter Hinweis auf den ihm seit Jahrzehnten bekannten, durch Wurzelfäule verursachten fluktuierenden Gesundheitszustand der Fichten dieses Gebietes mit der Bemerkung zurück: „Der unselige Begriff ‚Fichtensterben‘ muß wieder verschwinden, weil nichts zu erkennen ist, was diesen Ausdruck rechtfertigen würde“. Solche Widersprüche verhalten aber in der Aufregtheit dieser Jahre ebenso wie die kritischen Stimmen, die in den Folgejahren wiederholt darauf hinwiesen, daß die Befürchtungen überzogen sind [19] und die Symptome der sogenannten neuartigen Waldschäden keineswegs neu waren, sondern auch früher in ähnlichem Umfang auftraten [20, 21, 22].

### Quantifizierung der „neuartigen Waldschäden“

Die neuartigen Waldschäden werden seit 1983/84 bundesweit in einem 8 × 8 km-Raster durch eine visuelle Beurteilung des Verlichtungs- und Verfärbungsgrades der Kronen und Klassifizierung in vier Schadstufen<sup>1)</sup> erfaßt [23].

Die auf dieser Basis jährlich erstellten Waldschadensberichte unterlagen vielfacher Kritik, nicht nur hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Erhebungsmethoden [24], sondern auch wegen der Nichtberücksichtigung wesentlicher Indikatoren der Vitalität der Bäume (z. B. Zuwachsparemeter) und der fehlenden Unterscheidung zwischen „neuartigen“ und „traditionellen“, altbekannten Schäden [20, 25, 26, 27]. Trotz solcher Mängel ist die heute vorliegende Serie von Erhebungen, zusammen mit den Jahrringchronologien, eine wichtige Grundlage für die Beurteilung, ob und in welchem Umfang sich die Waldsterben-Szenarien bewahrheitet haben.

Zur Abschätzung der finanziellen Folgen des vermuteten Waldsterbens wurden unter der Annahme, daß die Bäume je nach der Höhe der Schadstufen Zuwachseinbußen bis zu 70% (Abb. 1) aufweisen, drei Szenarien für die Entwicklung des Holzvolumens bis zum Jahr 2060

<sup>1)</sup> Definition der Schadstufen in % Belaubungsdefizit (Verlichtung): 0 = < 10%; 1 = 11–25%; 2 = 26–60%; 3 = 61–99%; 4 = 100% (tot). Bei deutlichen Verfärbungen der Belaubung wird die Schadklasse erhöht [23].

Prof. Dr. Dr. h. c. dupl. **Otto Kandler** (geb. 23. Oktober 1920) war bis 1986 Ordinarius für Allgemeine Botanik an der Universität München und beschäftigt sich als Emeritus mit Fragen der frühen Evolution der Prokaryoten und mit ökologischen Problemen.

Prof. Dr. Otto Kandler,  
Botanisches Institut der Universität,  
Menzinger Straße 67, 80638 München

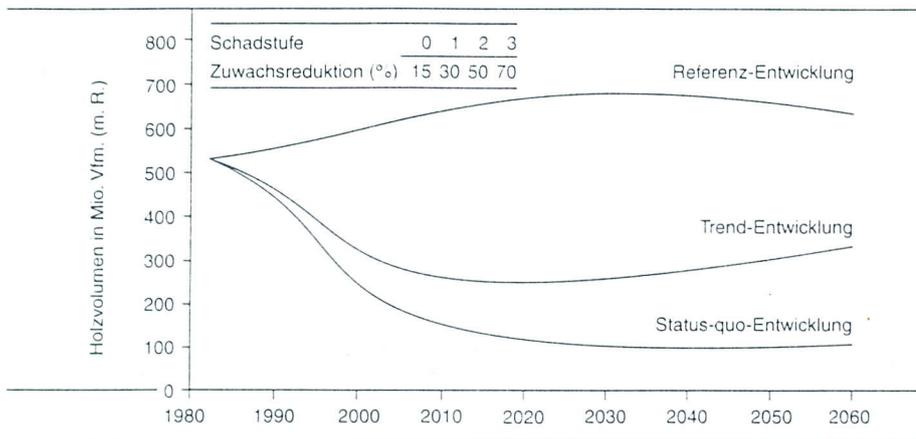


Abb. 1. Entwicklung des Holzvolumens bei der Fichte, entsprechend drei Szenarien, die der monetären Bewertung der Waldschäden im UBA-Bericht 4/86 (16) zugrunde liegen (Referenz-Entwicklung: Zuwachs entsprechend den Ertragstafelwerten von Wiedemann unter den SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionsbedingungen der 30er/40er Jahre; Status-quo-Entwicklung: Zuwachs unter den Emissionsbedingungen der frühen 80er Jahre. — Trend-Entwicklung: Zuwachs unter der 1984 bereits absehbaren, durch gesetzliche Vorschriften bewirkten Reduktion der Schadstoffemission im Prognosezeitraum.)

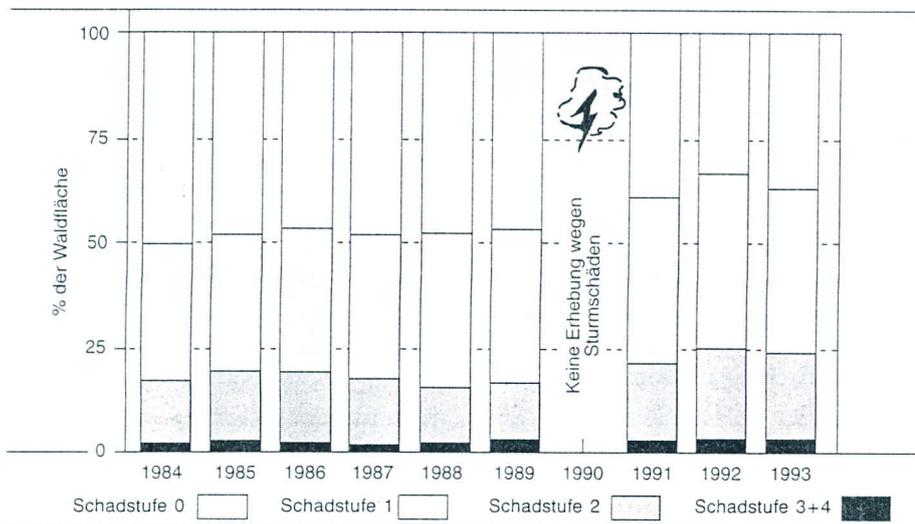


Abb. 2. Prozentsatz der Waldfläche der alten Bundesländer in den Schadstufen 0-4 (Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1993).

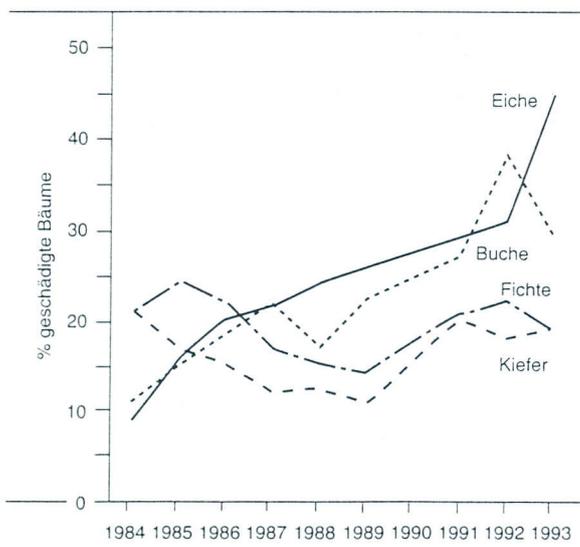


Abb. 3. Verlauf der deutlichen Schäden (2-4) der vier Hauptbaumarten in den alten Bundesländern.

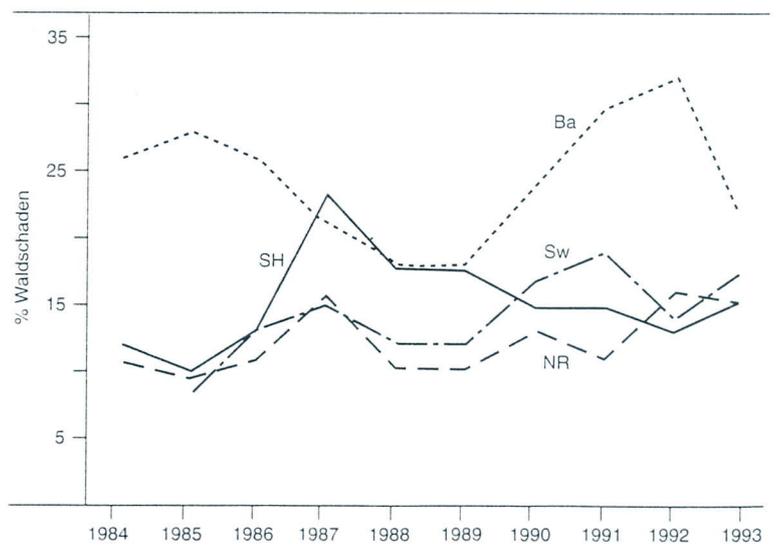


Abb. 4. Verlauf der deutlichen Schäden (2-4) in der Schweiz (Sw), Bayern (Ba), Nordrhein-Westfalen (NR) und Schleswig-Holstein (SH).

entworfen [16]. Danach sollte im Falle der beiden Schadensszenarien das Holzvolumen 1990 bereits um etwa 20% beziehungsweise 24% niedriger sein als im Fall der Referenzentwicklung. Die Monetarisierung der zu erwartenden Waldschäden ergab je nach den berücksichtigten Randbedingungen einen volkswirtschaftlichen Gesamtverlust von jährlich 4,3 bis 18,3 Mrd. DM. Schäden dieser Größenordnung wurden in Pressemeldungen [28] auch 1993 noch genannt.

### Verlauf der „neuartigen Waldschäden“

Die Serie der Waldschadenserhebungen 1984 bis 1993 (Abb. 2) zeigt nicht den, nach der Waldsterben-Hypothese zu erwartenden, steilen Anstieg der neuartigen Waldschäden. Es ergab sich auch keine Erhöhung der Mortalität [29] oder ein wesentlich vermehrter Holzanfall. Dementsprechend blieb der befürchtete Zusammenbruch der Holzpreise aus. Erst die Stürme des Jahres 1990, die anschließende Borkenkäferkalamität und ungünstige Wirtschaftsfaktoren verursachten einen überhöhten Holzanfall und den derzeitigen Preiseinbruch [30].

Die Entwicklung der Schäden verlief bei den einzelnen Baumarten (Abb. 3) und in den verschiedenen Regionen (Abb. 4) in nicht-synchronen Fluktuationen unterschiedli-

cher Höhe. Der leichte Anstieg der deutlichen Schäden (Stufe 2–4, Abb. 2) in den Jahren 1991/92 beruht überwiegend auf dem Schadensanstieg der Laubbäume (Abb. 3), während die Schäden der Nadelbäume nach einem ausgeprägten Schadensminimum in den Jahren 1988/89 im Anschluß an das Sturmjahr 1990 wieder anstiegen, aber auch 1993 noch unter dem Wert von 1984 liegen.

Auffällig ist die 1986/87 erfolgte Überholung des Schädigungsgrades der Nadelbäume (Abb. 3) durch den der Laubbäume. Sie steht in krassem Widerspruch zu der, der Waldsterben-Hypothese zugrundeliegenden Annahme einer kumulativen Schadstoffwirkung, denn eine Veränderung des relativen Schädigungsgrades der verschiedenen Baumarten wäre nur zu erwarten, wenn sich die Art oder die Konzentration der Schadstoffe oder die Empfindlichkeit der Baumarten gegenüber Schadstoffen verändern würde. Dafür liegen aber keine Anhaltspunkte vor.

Nachdem bisher keine der zahlreichen Untersuchungen an kranken Eichen und Buchen einen Hinweis auf eine Auslösung der Schäden durch Luftschadstoffe ergab [31, 32], wird der Anstieg der Laubbaumschäden als eine erneute Welle der früher wiederholt beschriebenen und als Eichen- [31, 32] und Buchensterben [33] bezeichneten, epidemieartigen Erkrankungen aufgefaßt. In diese Richtung weist auch das Vorkommen von *Phytophthora cinnamomi* [34], dem Erreger des sich in Australien seit Jahrzehnten ausbreitenden Eukalyptussterbens [35], in den Wurzeln kranker Korkeichen in Spanien [36] sowie der kürzlich geführte mikroskopische Nachweis charakteristischer Abwehrreaktionen gegen diese Pilzgruppe im Wurzelgewebe erkrankter Eichen in Bayern [125]. Außerdem konnte mit Hilfe der molekularbiologischen PCR-Methode auch das Vorkommen phytopathogener MLO (mycoplasma-like organisms) in Eichenbeständen nachgewiesen werden [38]. Die Klärung der Korrelation zwischen den verschiedenen Symptomen der Eichenkrankung und dem Vorkommen

dieser pathogenen Mikroorganismen ist eine dringende Aufgabe der Forstpathologie.

### Normale oder neuartige Waldschäden?

Das Ausbleiben des erwarteten raschen Anstieges der Waldschäden verstärkte die Zweifel an der Neuartigkeit der Schäden. So weist H. Ellenberg [128] auf den großen Toleranzbereich der natürlichen Fluktuationen des Kronenzustandes hin, der vermutlich auch die Schadstufe 2 einschließt, und Landmann [39] mahnte einen Vergleich der heutigen Kronenzustände mit denen früherer Jahrzehnte an. Dafür liegen zwar keine Vergleichsdaten aus früheren Jahrzehnten vor, da Erhebungen dieser Art vor 1982 nie durchgeführt wurden, aber die ältere Forstliteratur enthält eine Fülle von Klagen über unbefriedigende bis katastrophale Waldzustände, darunter auch Schätzungen, die den Umfang früherer Waldschäden erkennen lassen. So beschrieb Rebel [40] zu Beginn des Jahrhunderts nicht nur den katastrophalen Zustand der Wälder an Problemstandorten, den er im Falle des Fichtelgebirges auch in einer Handzeichnung (Abb. 5) darstellte, sondern schätzte auch den Anteil der in den trockenen 20er Jahren von der „Hitzekrankheit“ schwer betroffenen Waldfläche Bayerns und der Rhein-

Pfalz, je nach Wuchsgebiet, auf 21% bis 51%.

In der gleichen Periode stellte Wiedemann [41] in verschiedenen Gebieten Deutschlands „Wuchstockungen“ fest und prognostizierte für Sachsen einen Zuwachsrückgang bei Fichten um 20%. Dem erbarmungswürdigen Zustand der Kiefernbestände zwischen der Elbe und Ostpreußen widmete Wiedemann sogar eine eigene Schrift: „Die schlechtesten Kiefernbestände Ostdeutschlands“ [42]. Ursache des schlechten Waldzustandes waren nach damaliger Auffassung die Verschlechterung des Bodens durch Fichten- und Kiefernreinkultur, Streurechen und Waldweide. Als Auslöser von ausgeprägten Schadenserepisoden wie die der 20er Jahre wurde die Häufung von Trockenjahren angenommen.

Eine Objektivierung solcher verbaler Schilderungen früherer Waldschäden wurde durch die Auswertung von alten und neuen schweizerischen Ansichtskarten auf der Basis der heutigen Schadstufeneinteilung erreicht [43]. Beide Gruppen von Ansichtskarten ergaben die gleichen Anteile an deutlich geschädigten Fichten, wie sie in den offiziellen Schweizer Waldschadenserhebungen 1984 und 1988 ausgewiesen werden (Tab. 1). Auch die kritische Bewertung von Wiederholungsphotos derselben Standorte im Abstand bis zu mehreren Jahrzehnten [44] und früherer Photosamm-



Auf Granit in 1000 m Höhe

Abb. 5. Handzeichnung von Rebel [40] zur Illustration des schlechten Zustandes der Wälder auf Granit in den Höhen des Fichtelgebirges („Über 700 m brechen mit der Zeit die Föhren heraus und es bleiben zurück weit unter der letzten Bonität stehende Fichte-Tannenbestockungen . . . die zwar dem Alter nach angehend haubar sind, tatsächlich aber halb verwüsteten Stangenorten gleichen“. Rebel 1924.).

Alter der Postkarten	Anzahl der beurteilten Fichten	% der Fichten in Schadstufe 2-4
1900 – 1928	1000	16 – 41
1978 – 1988	1200	16 – 21
Schweizerische Wald-Schadenserhebungen		
1984 – 1986	ca. 8000	16 – 18

Tab. 1. Ergebnis der Auswertung alter und neuer Ansichtskarten aus verschiedenen Kantonen der Schweiz nach den derzeit für die Waldschadenserhebung verwendeten Kriterien. Nach [43].

lungen typischer Wuchsformen von Fichten [45] spricht für ein relativ konstantes, dem heutigen Anteil der Schadstufe 2–4 entsprechendes Niveau an deutlichen Kronenschäden in früheren Jahrzehnten. Diese Konstanz ergibt sich im wesentlichen aus der planmäßigen Durchforstung unserer Wirtschaftswälder. Sie verhindert, daß die aufgrund des Konkurrenzdruckes im Verlauf der Bestandsentwicklung eintretende Reduktion der Stammzahl auf < 10% des ursprünglichen Bestandes zur Anreicherung von verkümmerten Bäumen und Totholz führt, wie dies in naturbelassenen Wäldern der Fall ist.

Mit steigendem Alter nehmen auch bei Bäumen mit genügend Standraum Schäden durch Krankheiten und Insektenbefall zu. Diese führen meist nicht zum sofortigen Absterben, sondern aufgrund der hohen Regenerationsfähigkeit der Bäume zu fluktuierenden Kronenzuständen, wie es die Wiederholungsfotos von vier Fichten im Bayerischen Wald (Abb. 6) veranschaulichen. Nach heutigen Maßstäben entsprach der Zustand der vier Fichten schon 1959 den Schadstufen 2 oder 3. Bis 1986 hat sich der Zustand bei Fichte 1 deutlich verschlechtert, bei Fichte 2 blieb er nahezu gleich, während sich die Fichten 3 und 4 deutlich erholten und eine neue Oberkrone aufbauten. Solche Fluktuationen der Kronenzustände eng benachbarter Fichten sind typisch für biotische Erkrankungen, wie die auch in diesen Bäumen durch Bohrkernentnahme nachgewiesenen Stamm- und Wurzelfäulen, die zur verstärkten Anfälligkeit für Windwurf [129] und besonders in Trockenperioden zu Kronenverlichtung, Nadelverfärbung [52] und Zuwachseinbrüchen [46, 53]

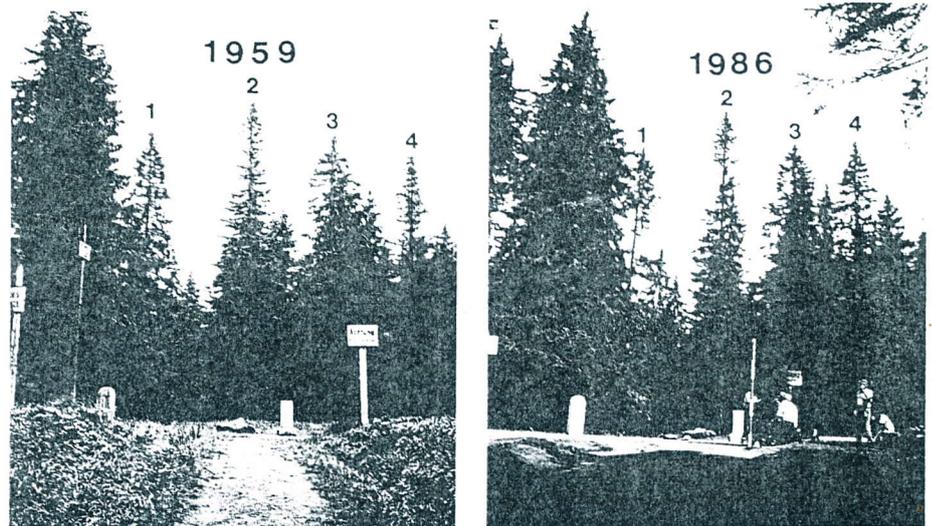


Abb. 6. Vergleich des Zustandes 1959 und 1986 von vier wurzel- und stammfaulen Fichten am Dreiländereck (Bayerischer Wald, 1300 m ü. NN. [Photo Riemenschneider, Kandler]

führen. In den Waldschadenserhebungen werden aber derartige Schäden unter dem Begriff neuartige Waldschäden subsumiert, obwohl die weite Verbreitung und große Häufigkeit pilzlicher Fäulen durch die Arbeiten Hartigs [48] schon seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt und durch die neuere, schwerpunktmäßige Bearbeitung der wichtigsten Fäuleerreger (*Heterobasidion annosum* und *Armillaria mellea* s. l.) in Deutschland [49] und in den USA [50] erneut bestätigt wurde.

Einen direkten Beweis für die Beziehung zwischen der Höhe der Waldschäden und den Stamm- und Wurzelfäulen lieferte die Überprüfung der Probestämme der Schadenserhebung 1989 in der Provinz Bozen [51] auf Stammfäule (Abb. 7)

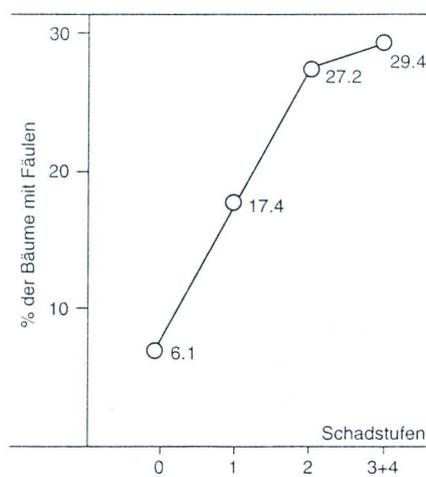


Abb. 7. Beziehung zwischen neuartigen Waldschäden und der Häufigkeit von Stamm-/Wurzelfäulen der Fichte in Südtirol [51].

und die Untersuchung von über 200 Fichten im Schweizer Mittelland auf Wurzelfäulen, bei der sich 86% der Fichten mit > 30% Nadelverlust als wurzelfaul erwiesen [129].

### Zuwachsverlauf und neuartige Waldschäden

Den sichersten Aufschluß über den Zuwachsverlauf geben die zahlreichen, neueren Jahrringchronologien [54–57]. Sie weisen in den trockenen 70er Jahren (Abb. 8) übereinstimmend tiefe Zuwachseinbrüche auf (Abb. 9), die besonders bei wurzel- und stammfaulen Bäumen [43, 53] und der schon seit Jahrzehnten kränkelnden Tanne [58, 59] von Kronenschäden bis hin zum Absterben begleitet waren. Ähnlich wie Rebels [40] „Hitzekrankheit“ und Wiedemanns [41] „Wuchsstokungen“ der Trockenperioden Anfang des Jahrhunderts waren die Trockenschäden der 70er Jahre erneut Anlaß zu Befürchtungen über die Zukunft des Waldes, die zu den Waldsterben-Szenarien der frühen 80er Jahre führten.

Im Gegensatz zur langsamen Regeneration der Kronen der Nadelbäume Mitte der 80er Jahre, normalisierte sich der Holzzuwachs bereits Ende der 70er Jahre und setzte den seit Mitte des Jahrhunderts leicht steigenden Trend fort. Ein typisches Beispiel des Zuwachsverlaufes in diesem Jahrhundert ist die

Jahrringchronologie von 260 Fichten aus verschiedenen Regionen der Mittelgebirge südlich und östlich des Ruhrgebietes [60] (Abb. 9). Sie weist in der Periode 1963 bis 1968 gegenüber den Erwartungswerten eine Zunahme der Ringbreite auf 103% und für die Periode 1983 bis 1988 auf 110% auf.

Die Verbesserung der Zuwachsleistung seit Mitte dieses Jahrhunderts betrifft auch das Höhenwachstum [57, 61] und ergibt sich besonders deutlich aus dem Vergleich der Zunahme des Stammdurchmessers verschieden alter Fichten auf Böden gleicher Bonität [62] (Abb. 10). Demnach wachsen junge Bestände in den letzten 3 bis 5 Jahrzehnten schneller als die älteren Bestände im gleichen Alter wuchsen.

Diese positive Zuwachsentwicklung geht auch aus den jüngsten deutschen und österreichischen Forstinventuren hervor, bei denen die Zunahme des Holzvolumens der Bestände in mehrjährigen Abständen gemessen wird (Tab. II). Danach betrug der mittlere Anstieg des Zuwachses und des Holzvorrates in den vergangenen 20 Jahren etwa 1% pro Jahr, obwohl die Waldschadenserhebungen in den betreffenden Ländern eine Schädigung von 50% der Waldfläche ausweisen (Tab. II). Eine entsprechende Zunahme des Holzvolumens der Wälder ergibt sich nach den von Kauppi und Mitarbeitern [63] zusammengestellten Daten auch für ganz Mittel- und Nordeuropa.

Damit steht die tatsächliche Zuwachsentwicklung der Wälder offensichtlich im Gegensatz zu den Waldsterben-Szenarien, die bis Anfang der 90er Jahre ein Absterben der Wälder Mitteleuropas oder, entsprechend der Studie des Umweltbundesamtes [16] (Abb. 1), eine Ab-

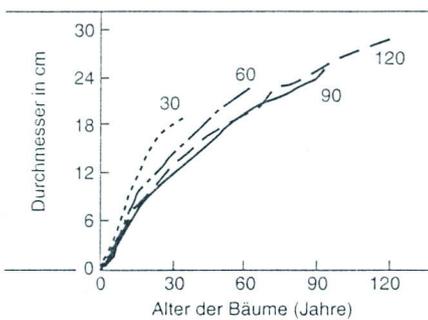


Abb. 10. Durchmesserzuwachs von vier aufeinanderfolgenden Fichtengenerationen unter gleichen Standortbedingungen [62].

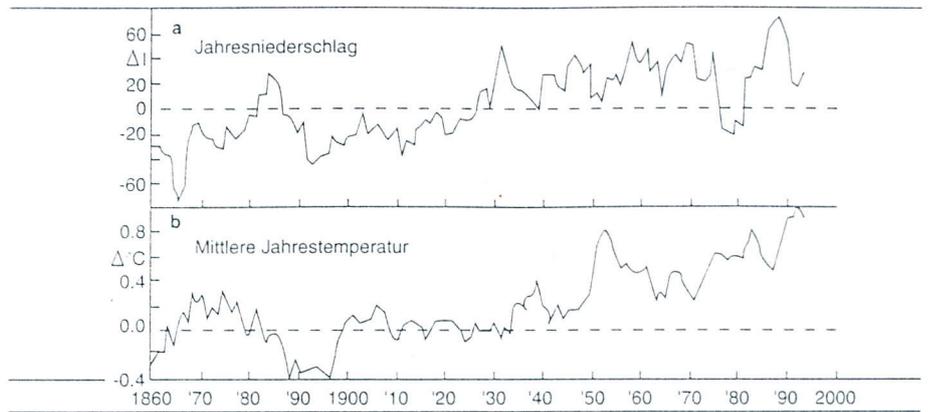


Abb. 8. Abweichung des 10 Jahre übergreifenden, gleitenden Mittelwertes der Niederschläge (14 Stationen) und der Temperatur (4 Stationen) in Mitteleuropa vom Mittelwert der Periode von 1851–1971 (Niederschlag) und von 1781–1970 (Temperatur). Die Mittelwerte sind jeweils dem letzten Jahr der 10-Jahres-Periode zugeordnet (Basis: F. Baurische Daten [113], ergänzt durch die vom Meteorologischen Institut der FU Berlin mitgeteilten neueren Daten).

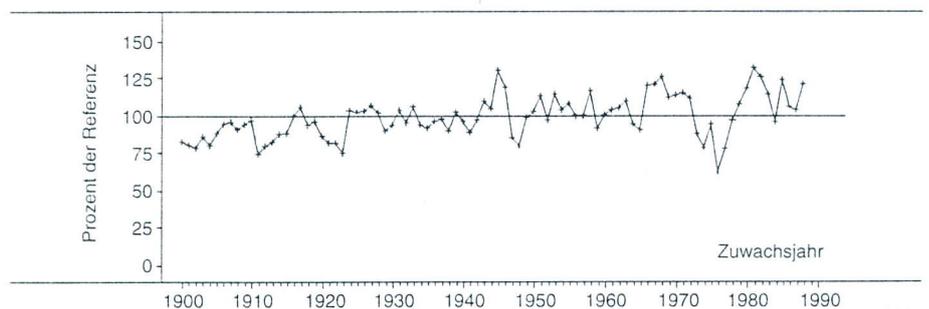


Abb. 9. Jahrringchronologie von 260 Fichten (Alter 40–135 Jahre) von 87 bei der Waldschadenserhebung beprobten Beständen in Nordrhein-Westfalen (vorwiegend Eifel, Rothaar-, Eggegebirge). % der Bäume in den Schadklassen: 0 = 50%; 1 = 36%, 2–4 = 14%. Nach [60].

Land	% der Waldfläche in den Schadklassen			Forstinventur (% der jeweils vorhergehenden Periode)			
	0	1	2–4	Periode	Einschlag	Zuwachs	Vorrat
Bayern	26	39	25	1975–85	100	107	116
				1986–90	102	103	104
Baden-Württemberg	37	43	20	1971–80	110	106	109
				1981–90	105	103	110
Rheinland-Pfalz	51	39	10	1977–80	100	102	101
				1981–86	102	105	105
Hessen	46	35	19	1987–90	102	104	103
				1971–80	112	106	109
				1981–90	110	112	109

Tab. II. Gegenüberstellung der auf der Messung des Höhen- und Durchmesserzuwachses der Bäume beruhenden Ergebnisse der neueren Forstinventuren im Staats- und Körperschaftswald und der auf visueller Beurteilung der Kronentransparenz beruhenden Daten der Waldschadenserhebungen (1984–1992). (Daten der Forstinventuren nach Mitteilung der jeweiligen Landesforstverwaltungen. Im Falle von Baden-Württemberg). Nach [127].

nahme des Holzzuwachses und -vorrates um etwa 20% erwarten ließen. Die Fragestellung der frühen 80er Jahre: Warum stirbt der Wald? hat sich damit in ihr Gegenteil verkehrt, und wir müssen heute fragen: Warum wächst der Wald in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts besser als in der ersten?

### Erhöhte Leistungsfähigkeit der Wälder

Als Ursache für Zuwachsverbesserungen werden häufig erhöhte Stickstoffeinträge in Form von  $\text{NO}_3$  und  $\text{NH}_4$  angeführt. Andererseits sollen aber erhöhte N-Einträge zu N-Über-

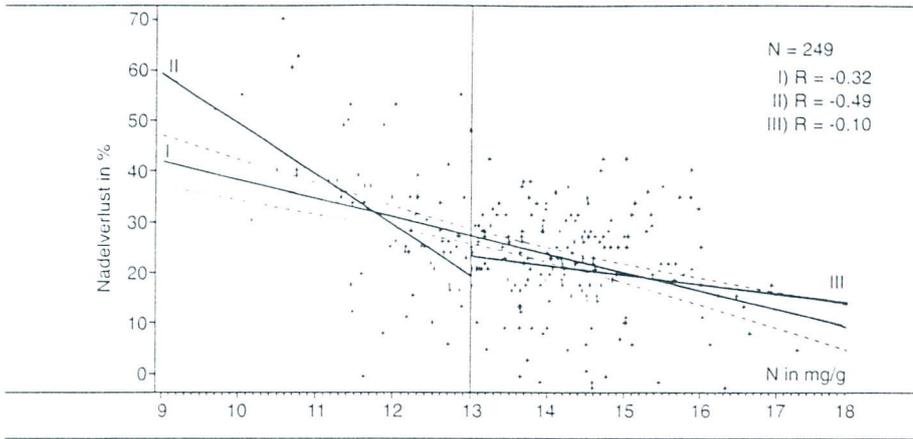


Abb. 11. Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt der Fichtennadeln und der Höhe der Nadelverluste („neuartige Waldschäden“) der Fichte in Bayern [68]. (13 mg N/g = Grenze des N-Mangels.)

Gebiet	Entfernung vom Bestandsrand (m)							Mittlere Jahrringbreite 1973–1992 (mm)	
	Nadeljahrgang	N %	Pb mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Mg/Ca			
Autobahn München–Salzburg	0	1992	1.01	0.747	1061	5616	0.19	2–5	3.9
		1991	1.02	1.06	916	8333	0.11		
	10–15	1992	1.20	0.564	1130	4469	0.25	40–45	4.0
		1991	1.09	0.797	901	6555	0.13		
	40–45	1992	1.24	*	1202	6055	0.20	80–85	3.9
		1991	1.18	*	876	8919	0.10		
	220–235	1992	1.03	*	949	5030	0.20	125–130	4.4
		1991	1.03	*	794	7284	0.11		

Tab. III. N- und Mineralstoffgehalt der Nadeln und mittlere Jahrringbreite von 40- bis 60jährigen Fichten im verkehrsbedingten Schadstoff- (NO<sub>x</sub>-) Gradienten der Autobahn München – Salzburg (85 000 Kfz-Einheiten/24 h). Der Abstand des Bestandsrandes von der Autobahn beträgt 30 m [124]. \* = < 0,5 mg/kg.

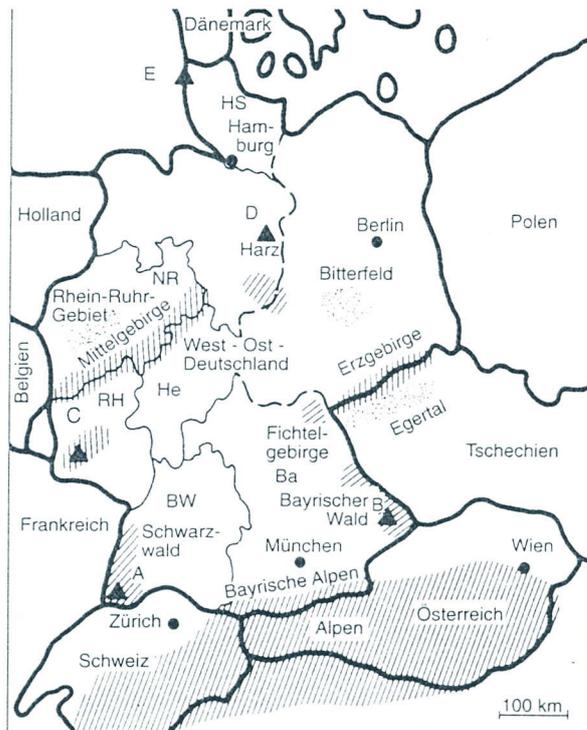


Abb. 12. Hauptquellen von Luftschadstoffen in Mitteleuropa und Standorte der Dauermeßstellen des Umweltbundesamtes. — A Schauinsland 1205 m ü. NN. — B Brojtäckriegel 1016 m ü. NN. — C Deuselbach 480 m ü. NN. — D Waldhof 73 m ü. NN. — E Westerland 10 m ü. NN.

versorgung der Bäume, zu neuartigen Waldschäden und auf lange Sicht durch Versauerung und Mineralstoffverarmung des Bodens zum Verfall der Wälder führen [64, 65, 66]. Die Verallgemeinerung dieser, von vereinfachten Modellen [64], Laborexperimenten [67] und Beobachtungen an Orten mit extremen NH<sub>4</sub>-Einträgen (Massentierhaltungen [65]) abgeleiteten N-Eutrophierungshypothese auf die gegenwärtige Situation des gesamten Waldes ist aber weder mit den Ergebnissen der landesweiten Inventuren des Ernährungszustandes der Wälder in Bayern [68], Baden-Württemberg [69] und Österreich [70], noch mit den Ergebnissen von Nadelanalysen und Jahrringmessungen in verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Gradienten vereinbar.

— Nach wie vor sind etwa 75% der Fichten und Kiefern nur mangelhaft bis ausreichend, aber nur ca. 25% optimal (15–18 mg N/g) mit Stickstoff versorgt. Bäume mit überoptimaler Stickstoffversorgung wurden nicht festgestellt (Abb. 11).

— In Baden-Württemberg war der Stickstoffgehalt der Nadeln 1988 um etwa 10% niedriger als bei der vorhergehenden Untersuchung im Jahr 1983 [69].

— Die in Österreich vorliegenden, 20jährigen Untersuchungsreihen von Dauerversuchsflächen weisen unterschiedliche Entwicklungen des Stickstoffgehaltes der Nadeln auf, meist mit abnehmender Tendenz [71].

— Die neuartigen Waldschäden bei Kiefern zeigen keinen Zusammenhang mit dem N-Gehalt der Kiefernadeln [68].

— Zwischen den neuartigen Waldschäden bei den Fichten und dem N-Gehalt der Fichtennadeln besteht ein negativer Zusammenhang, das heißt die Schäden sind bei den niederen N-Gehalten am höchsten (Abb. 11).

— In Fichtenbeständen an extrem verkehrsbelasteten Autobahnen und großstädtischen Ausfallstraßen ergaben Nadelanalysen und Jahrringmessungen nicht die erwartete Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes der Nadeln und der Jahrringbreite vom Gefälle des verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Gradienten [126] (Tab. III). Lediglich an den seit Jahrzehnten extrem mit Fäkalien belasteten Autobahn-Rastplätzen ohne Toilettenanlage weisen Kiefern- und Fichtennadeln überoptimale N-Gehalte (> 2%) auf, aber ohne ausgeprägte Verfärbungen oder andere Schäden zu zeigen [13].

- (19) W. O. Binns u. Mitarb., Acid rain and forest decline in West-Germany. Forestry Commission Research and Development Paper 131, Farnham, Hants 1982.
- (20) H.-H. Cramer, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 37, 27-207 (1984).
- (21) O. Kandler, Naturwiss. Rundschau 36, 488-490 (1983).
- (22) D. Mülder, Möglichkeiten der Forstbetriebe, sich Immissionsbelastungen waldbaulich anzupassen bzw. deren Schadwirkungen zu mildern. In: Materialien zur Umweltforschung. Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.) Verlag Kohlhammer Mainz 1983.
- (23) E. Kennel, Forstliche Forschungsberichte München 57, Bayerische Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt München (1983).
- (24) J. L. Innes, Environmental Pollution 54, 1-5 (1988)
- (25) O. Kandler, in: Waldschäden. G. v. Kortzfleisch (Hrsg.) R. Oldenbourg-Verlag München, Wien 1985.
- (26) B. Frenzel, in : Waldschäden. G. v. Kortzfleisch (Hrsg.) R. Oldenbourg-Verlag München, Wien 1985.
- (27) P. Abetz, Allgem. Forstzeitung (Wien) 95, 322-325 (1984).
- (28) L. Hartenstein, Der Wald. Opfer der Verkehrslawine. Pressemitteilung der SPD-Fraktion im Bundestag Bonn 11.10.1993.
- (29) R. Schlaepfer u. Mitarb., Schweiz. Z. Forstwes. 141, 163-188 (1990).
- (30) P. Bartelheimer, Allgem. Forstzeitschr. 48, 1250-1255 (1993).
- (31) Rundgespräche der Kommission für Ökologie 5. Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) Verlag Dr. F. Pfeil München 1993.
- (32) R. Siwecki u. Mitarb., Proceedings of an Intern. Symposium, Kornik, Poland, May 15-18. IUFRO and Polish Academy of Sciences, Institute of Dendrology, Kornik, Poland 1991.
- (33) U. Ruge, Allgem. Forstzeitschr. 5, 217-219 (1950).
- (34) G. A. Zentmyer, American Phytopath. Soc. Monograph 10, 140-145 (1980).
- (35) B. Shearer und Mitarb. , Department of Conservation and Land Management, Western Australia: Research Bulletin No. 5, 38-42 (1991).
- (36) C. M. Brasier u. Mitarb., Plant Pathology 42, 140-145 (1993).
- (37) P. G. Ploaie u. Mitarb., Bull. Prot. Plant. 1, 13-21 (1987).
- (38) U. Ahrens u. Mitarb. , Europ. J. For.Path. 24, 55-63 (1994).
- (39) G. Landmann, Proceedings Intern. Congress on Forest Decline Research: State of knowledge and perspectives. B. Ulrich (ed.) Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH. 1989. p.945-952

heiten bedingten Kronenschäden als neuartige Waldschäden eingeordnet. Vertiefende Untersuchungen über die immer häufiger auch in Laubgehölzen aufgefundenen, für die Forstpathologie noch „unkonventionellen“, pflanzenpathogenen Viren [113–116] und Mykoplasmen [117–120] wurden nicht weitergeführt, neue Anregungen aus der

molekularbiologischen Resistenzforschung [121] nicht aufgegriffen.

Für ein echtes Verständnis der Fluktuation des Gesundheitszustandes der Waldbäume und zur Vermeidung falscher Schuldzuweisungen sowie zur Entwicklung von Konzepten zur Schadensvermeidung und Therapie ist neben einer Vertiefung unseres Wissens über

Waldernährung, Waldwachstum und Baumphysiologie, die Intensivierung und Modernisierung der forstpathologischen Forschung unerlässlich.

*Das 133 Zitate umfassende Literaturverzeichnis kann bei der Redaktion (Postfach 10 16 61, 70009 Stuttgart) angefordert werden.*

---

Druckfehlerberichtigung :

Literatur                    S. 424 : Referenz (13) sollte (131) lauten.  
                                  S. 429 :        "        (150)        "        (105)        "        .

- (1) B. Ulrich et al., Depositionen von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkung auf Waldökosysteme im Solling. Schriftenreihe Forstl. Fakultät Göttingen Nr. 58 (1979).
- (2) B. Ulrich, Allgem. Forstzeitschrift 35, 1198-1202 (1980).
- (3) B. Ulrich, bild der wissenschaft 12, 108-119 (1982).
- (4) P. Schütt, Holz-Zentralblatt 107, 159-160 (1981).
- (5) P. Schütt, Holz-Zentralblatt, 108, 369-372 (1982).
- (6) Der Spiegel, Säureregen: "Da liegt was in der Luft". Heft 47, 96-110; Heft 48, 188-200; Heft 49, 174-188 (1981).
- (7) P. Schütt u. Mitarb., So stirbt der Wald. BLV Verlagsges. München, Wien, Zürich 1983.
- (8) G. Meister u. Mitarb., Die Lage des Waldes. GEO im Verlag Gruner & Jahr Hamburg 1984.
- (9) G. Neuweiler (Koordinator), Waldsterben - Darf die Wissenschaft schweigen? Umbits (Universität München) 13, Nr.5, 1-4 (1983).
- (10) P. Schütt, Der Wald stirbt an Streß. Bertelsmann Verlag GmbH München 1984.
- (11) P. Schütt u. Mitarb., Plant Disease 69, 548-558 (1985).
- (12) B. Ulrich, in: Acidic Precipitation, Vol. 2. D.C. Adriano & A.H. Johnson (eds) Springer-Verlag Berlin 1989.
- (13) H. Schröter, Allgem. Forstzeitschrift 38, 648-649 (1983).
- (14) H. Steinlin, Holz-Zentralblatt 110, 497-498 (1984).
- (15) E. Niesslein, Forschungsbericht Kfk-PEF 18, 5-86 (1986).
- (16) H.-J. Ewers u. Mitarb., in : Zur monetären Bewertung von Umweltschäden. Berichte 4/86, Umweltbundesamt (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag Berlin 1986.
- (17) W. Knabe, Allgem. Forstzeitschrift 36, 660-661 (1981).
- (18) H. J. Braun, Allgem. Forstzeitschrift 36, 661 (1981).

klima(temperatur)bedingten Mobilisierungsschüben des internen N-Umsatzes der Böden, der den atmosphärischen N-Eintrag um ein Vielfaches übertrifft. Daher sind die, meist auf der Basis kurzfristiger Input-/Output-Analysen, ohne hinreichende Berücksichtigung der Denitrifizierung und des von langfristig wirksamen Faktoren, wie Klima, Bestandsalter, frühere Landnutzung usw., abhängigen internen N-Umsatzes [104, 150] geführten Diskussionen über eine N-Sättigung („critical load“) der Waldböden mehr als problematisch.

So fand der vermutete Zusammenhang zwischen der Vergilbung der Fichte und dem als Anzeichen einer N-Übersättigung der Böden interpretierten Nitrataustrag [66, 94] weder im Fichtelgebirge (Abb. 19 [102, 103]) noch an der Langen Bramke [101] durch den tatsächlichen Verlauf der Nitratkonzentration der Sickerwässer eine Bestätigung. In beiden Fällen verlief die Nitratauswaschung in Pendelbewegungen, ohne daß eine Beziehung zur akuten Vergilbung hergestellt werden konnte. Ebenso wenig ist der als Folge einer kumulativen Wirkung der N-Einträge erwartete allgemeine Anstieg des Nitratgehaltes der Bäche in Waldgebieten eingetreten. Weder die Große Ohe, die 20 km<sup>2</sup> des Nationalparks Bayerischer Wald entwässert (Abb. 20 [106]), noch die Bäche des Fichtelgebirges [107, 108] zeigen in den letzten Jahrzehnten eine Tendenz zu erhöhten Nitratgehalten oder fallenden pH-Werten. Allerdings weisen sie sehr niedrige pH-Werte auf, die schon durch die geologische Unterlage vorgegeben waren. Sie wurden aber durch die Huminsäurezufuhr infolge der Umstellung des ursprünglichen Laub-(Misch)waldes auf Nadelwald im Laufe der beiden letzten Jahrhunderte weiter vermindert, so daß schon vor 50 Jahren über das Aussterben von Fischen wegen zu niedriger pH-Werte berichtet wurde [107].

Der niedere Nitratgehalt der Bäche in Waldgebieten (meist < 10 mg NO<sub>3</sub>/l) steht im Gegensatz zur dramatisierenden Darstellung der N-Eutrophierungshypothese in der Öffentlichkeit (z. B. anlässlich der Wissenschaftspressekonferenz vom 2. 2. 1993 in Bonn) [109]. Bei den dort genannten Nitratgehalten des Sickerwassers in Waldgebieten von 60 bis 80 mg NO<sub>3</sub>/l kann es sich nur um extreme, lokale Sonderfälle,

nicht um repräsentative Beispiele für Deutschland handeln. Andernfalls wäre es nicht möglich, daß je nach Bundesland in 65 bis 100% der Gemeinden der Nitratgehalt des geförderten Trinkwassers unter 25 mg/l liegt [110], und selbst der Rhein, der die Waldgebiete des am dichtesten industrialisierten Teiles Mitteleuropas entwässert, mit weniger als 10 mg NO<sub>3</sub>/l heute eine geringere Nitratbelastung im Oberlauf aufweist als zur Zeit der ersten, 1870 bei Basel durchgeführten Analysen, die bereits 15 bis 17 mg NO<sub>3</sub>/l ergaben [111]. Auch die damaligen Analysen der kontinuierlich fließenden Quellwasserbrunnen in Basel [111] und Stuttgart [112] wiesen mit Mittelwerten von 34 beziehungsweise 45 mg NO<sub>3</sub>/l sehr hohe Nitratgehalte auf, eine Folge der damals üblichen hohen Ammoniumeinträge in der Umgebung größerer Städte (Tab. IV).

Die heute bestehenden Schwierigkeiten, die Versorgung mit hinreichend nitratarmem Trinkwasser aufrechtzuerhalten, beruhen nicht auf einem dramatisch steigenden Nitratgehalt des Sickerwassers aus Waldgebieten, sondern auf dem durch die Steigerung der Bevölkerungsdichte und des Lebensstandards stark erhöhten Bedarf an Trinkwasser, der die Leistungsfähigkeit der traditionellen Quellgebiete übersteigt. Dies zwingt zur Nutzung von Einzugsgebieten, die auch durch die hohen N-Düngegaben der landwirtschaftlich genutzten Flächen [110] beeinflusst sind.

## Fazit und Ausblick

Die Waldsterben-Szenarien der 80er Jahre wurden durch die Zuwachsentwicklung der Wälder und die Ergebnisse der Waldschadenserhebungen nicht bestätigt. Damit sind auch die ihnen zugrundeliegenden holistischen Hypothesen in wesentlichen Punkten widerlegt. Sie bedürfen einer gründlichen Revision zur Anpassung an die tatsächliche baumarten- und standortspezifische Waldentwicklung.

Andererseits hat aber die Mobilisierung der öffentlichen Meinung durch die Waldschadensdiskussion

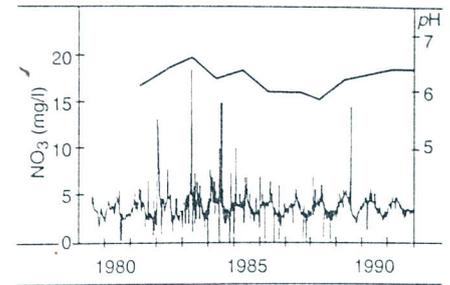


Abb. 20. pH-Wert und Nitratkonzentration der Großen Ohe, die 20 km<sup>2</sup> des Nationalparks des Bayerischen Waldes entwässert (nach [106]).

zur Verwirklichung von zwei für die allgemeine Umwelthygiene wichtigen Zielen geführt:

— Die Beschleunigung der seit Mitte der 60er Jahre eingeleiteten Absenkung der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die heute weit unter dem IUFRO-Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> zum Schutz des Waldes auf Extremstandorten [88] liegen.

— Die Einführung des Katalysators für Kraftfahrzeuge zur Verminderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Die Waldschadensdiskussion hat auch eine Intensivierung der Langzeitmessungen von physikalisch-chemischen Umweltparametern bewirkt, deren Ergebnisse die Grundlagen für eine realistische Beurteilung der tatsächlichen Auswirkungen der derzeitigen und möglicher künftiger Schadstoffbelastungen auf den Ernährungszustand und das Wachstum der Wälder wesentlich verbessern.

Leider kam es aufgrund der einseitigen Ausrichtung der Waldschadensforschung auf die Verursachung von Waldschäden durch schadstoffbedingten Streß nicht zur notwendigen Intensivierung und Modernisierung der forstpathologischen Forschung. Im Gegenteil, selbst altbekanntes Wissen über die von pathogenen Mikroorganismen und Insekten verursachten Schäden wurde weitgehend verdrängt. Die in Epidemischüben immer wieder auftretenden, aber in ihren Ursachen ungeklärten Baumkrankheiten, wie Tannensterben [132, 25, 58, 59], Buchensterben [33] und sogar die durch phytopathogene Pilze verursachten Wurzel- und Stammfäulen, wurden als Folgen einer primär schadstoffbedingten Schädigung aufgefaßt und die durch diese Krank-

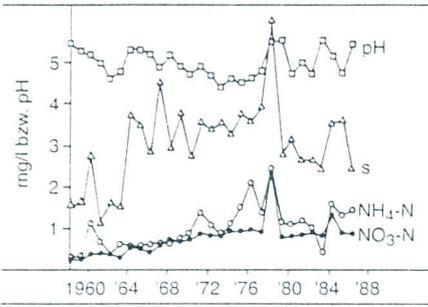


Abb. 17. Längste mitteleuropäische Meßreihe für pH-Wert und S- und N-Gehalt des Regenwassers (Station Retz in Österreich [98], ergänzt nach Mitteilung der Zentralanstalt für Meteorologie, Wien).

Andererseits beweist die heute in den ländlichen Gebieten deutlich höhere  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Deposition und die Verschiebung des Quotienten  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  in Richtung  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Tab. IV) den inzwischen eingetretenen Anstieg der  $\text{NO}_x\text{-N}$ -Emission aufgrund des gestiegenen Verbrauchs fossiler Brennstoffe und die höheren Verbrennungstemperaturen in den heutigen Kraftwerken und Motoren.

Zwischen dem Ergebnis der Hochrechnung der heutigen  $\text{NO}_x\text{-N}$ -Emissionsdichte von etwa  $40 \text{ kg NO}_x\text{-N/ha} \cdot \text{a}$  (von manchen Autoren [94] fälschlicherweise mit der Depositionsdichte gleichgestellt) und der gemessenen gegenwärtigen  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Deposition in ländlichen Gebieten von ca.  $6,5 \text{ kg NO}_3\text{-N/ha} \cdot \text{a}$  (Tab. IV) ergibt sich, auch unter Berücksichtigung höherer Depositionen auf dem etwa 30%igen Anteil der bewaldeten Fläche, eine erhebliche Differenz, auf die zwar schon die Erstautoren hinwiesen [96], für die aber bisher keine Erklärung gefunden wurde. Auch die Bilanz zwischen der Hochrechnung der derzeitigen  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Deposition auf der Basis des Nutztierbestandes [97] von  $22 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$  und einer gemessenen Deposition von etwa  $8,0 \text{ kg/ha} \cdot \text{a}$ , ist auch unter Berücksichtigung der höheren Depositionen in den Waldgebieten noch unausgeglichen.

Die Entwicklung der N-Deposition in neuerer Zeit ergibt sich aus der bis 1958 zurückreichenden Reihe der Regenwasseranalysen der Station Retz [98] (Abb. 17). Danach stieg die N-Deposition in den 60er Jahren parallel zur Erholung der landwirtschaftlichen und industriell-

len Produktion von den kriegsbedingten Einschränkungen an und pendelte sich in den 70er Jahren auf ein weitgehend gleichbleibendes Niveau ein. Entsprechend verliefen in den letzten 20 Jahren auch die landesweiten  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen an den UBA-Stationen (Abb. 13 b), sowie die Freiland-N-Deposition und die Nitratkonzentration im Sickerwasser des Fichtenbestandes im Solling [99] (Abb. 18 a, b), unter episodischen Schwankungen, auf annähernd gleichem Niveau.

Der Anstieg und die starken jährlichen Schwankungen der Bestands-N-Deposition im Solling werden von Ulrich [133] auf eine stark variierende und im Verlauf des Beobachtungszeitraumes abnehmende N-Aufnahme der Kronen aus den

Niederschlägen zurückgeführt, nicht auf einen Anstieg der atmosphärischen N-Deposition.

### Nitratausträge

Ähnlich wie im Solling, ergaben auch andere, mehrjährige Sickerwasseranalysen, zum Beispiel an der Langen Bramke im Harz [101] und auf den Versuchsflächen bei Oberwarmensteinach und Wülfersreuth im Fichtelgebirge [102, 103], einen episodischen Verlauf mit einem Maximum des Nitratgehaltes Mitte der 80er Jahre und einem Rückgang auf nahe Null zu Beginn der 90er Jahre (Abb. 19). Solche Episoden erhöhter Nitratkonzentrationen beruhen vermutlich auf

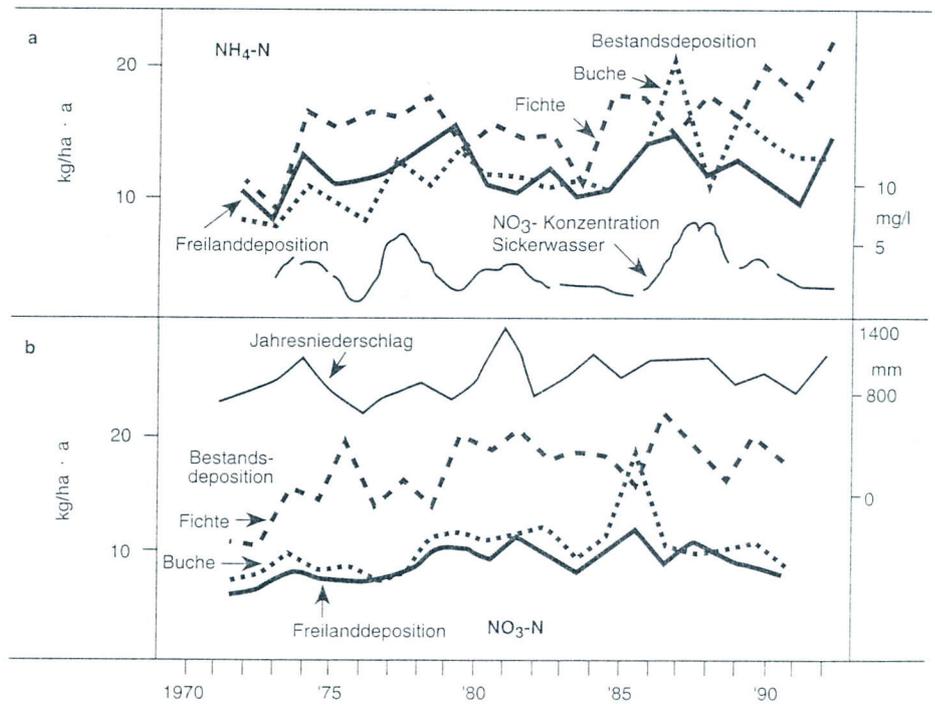


Abb. 18. Jahresniederschlag, Freiland- und Bestandsdeposition von  $\text{NH}_4\text{-N}$  (a) und  $\text{NO}_3\text{-N}$  (b) sowie  $\text{NO}_3$ -Konzentration im Sickerwasser des Alt-Fichtenbestandes im Solling (nach [99] und pers. Mitteilung K. J. Meiwes).

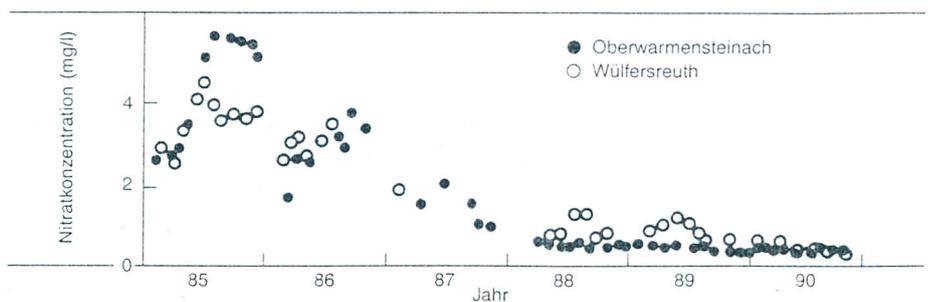


Abb. 19. Verlauf der Nitratkonzentration im Sickerwasser (85 cm Tiefe) der Versuchsflächen der Universität Bayreuth im Fichtelgebirge mit (Oberwarmensteinach) und ohne (Wülfersreuth) Vergilbung der Fichte (nach [102]).

Damit bestätigt sich die Aussage der regionalstatistischen Auswertung der Daten aller 7016 westdeutschen Probebestände der Waldschadenserhebung 1985 [92]: „Standorte auf Kalkböden mit einer hohen Pufferkapazität sind weitaus stärker geschädigt als Bestände auf schon podsolierten Böden“. Demnach ist der Umfang der Kronenverlichtung der Nadelbäume überwiegend von Faktoren bestimmt, die für mehr neutrale bis basische, Ca-reiche Böden typisch sind, zum Beispiel Wurzelfäulen, manche Mineralstoffmangelzustände (K, Mn, Fe usw.) und Wassermangel.

Die Versauerungshypothese fand auch keine Bestätigung durch den einzigen in Deutschland durchgeführten, mehrjährigen Vergleichsversuch mit Kalkung oder saurer Beregnung ( $pH\ 2.7$ ) von Parzellen eines 80jährigen Fichtenbestandes auf saurer Braunerde [93]. Nach 8 Jahren wies die 6 Jahre mit dem 20fachen des derzeitigen Säureeintrages berechnete Parzelle (entsprechend der Vorwegnahme des Protoneneintrages von 120 Jahren) die höchste Zuwachsleistung auf [126]. Gegenüber der Kontrollparzelle war der Anteil an ungeschädigten Fichten um 22% höher und das Feinwurzelwachstum im Mineralboden verbessert [93]. Dagegen war auf den gekalkten Parzellen der Anteil an gesunden Fichten geringer als auf der Kontrollfläche. Dieses auf der Basis der Versauerungshypothese [1, 2, 3] unerwartete Ergebnis demonstriert eindrucksvoll die große physiologische Elastizität der an saure Substrate angepassten Fichte und zeigt, daß durch die generalisierenden Versauerungshypothesen weder die Auswirkungen der bisherigen „natürlichen“ Protoneneinträge noch die von Kalkungen auf den Zustand der Fichte zutreffend beschrieben werden.

## Stickstoffeintrag

Die N-Eutrophierungshypothese [64, 66, 94] geht von der Annahme eines drastischen Anstiegs der N-Deposition in den letzten Jahrzehnten und deren wesentlicher Beteiligung an Waldschäden aus. Sie stützt sich dabei auf Hochrechnungen der N-Emissionen, bei denen

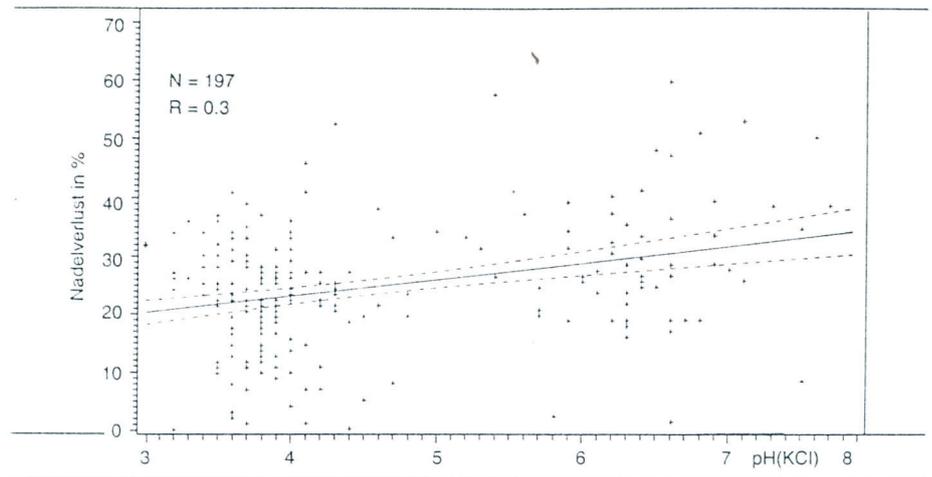


Abb. 16. Beziehung zwischen dem  $pH$  des Bodens (10–30 cm) und dem Nadelverlust der Fichte in Bayern (nach [68]) mit Regressionsgeraden und 95% Vertrauensgrenzen [68].

Ort	$NO_3-N$	$NH_4-N$	Gesamt-N	Jahr	Autor
Frankreich, landesweit	—	5,4	—	1851	[95]
Lyon, Observatorium	2,3	52,8	55,1	1853	[95]
Saussain (Ain), kleinstädtisch	1,6	22,5	24,1	1854	[95]
London	18,0	86	104	1870	[95]
Glasgow	5,6	73	78,6	1870	[95]
Manchester	18	64	82	1870	[95]
England, Inland	1,7	8,2	9,9	1870	[95]
Schottland, Inland	0,84	3,7	4,54	1870	[95]
Rothamsted, Südost-England	0,86	—	—	1853/56	[123]
	0,92	2,6	3,52	1886/90	[123]
	1,91	2,4	4,31	1910/16	[123]
	3,0	2,4	5,4	1960/66	[123]
Berlin (Grünwald)	8,2	7,1	15	1986	A
Westdeutschland, 120 ländl. Stationen	6,5	7,9	14,4	1983/87	B
Bayern, 23 ländl. Stationen	5,8	8,9	14,7	1992/93	C

A = M. Renger u. Mitarb., Teilprojekt 1.2. Wasser-, Nährstoff- und Schadstoffdynamik immissionsbelasteter Waldböden. In: Ballungsraumnahe Waldökosysteme, Senatsverwaltung für die Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin.

B = Aufaddierung der Daten aus dem 3. Bericht des Forschungsbeirates Waldschäden/Luftverunreinigungen 1989.

C = Mittelwerte 1992/93 des neuen bayerischen Depositionsnetzes.

Tab. IV. Historische und neuere Daten zur N-Deposition in Mittel- und Westeuropa. (kg N/ha · a.)

die Werte für das vorige Jahrhundert sehr gering sind [12, 94]. Tatsächlich ergeben sich aber aus den zahlreichen, vorwiegend aus Frankreich und England stammenden Regenwasseranalysen des vorigen Jahrhunderts [95] für die großen Städte nasse N-Depositionen bis zu 100 kg N/ha · a (Tab. IV), wie sie heute nur in der Umgebung von Massentierhaltungen vorkommen.

Die  $NH_4-N$ -Depositionen in den ländlichen Gebieten lagen schon damals in der Größenordnung der heutigen Werte (Tab. IV) und betrug 1851 in Frankreich landesweit nach damaliger Schätzung [95] 5,4 kg  $NH_4-N$ /ha · a, also bereits etwa 70% des 1983–1987 in Westdeutschland gemessenen Wertes von 7,9 kg  $NH_4-N$ /ha · a (Tab. IV).

Die  $NH_4-N$ -Depositionen sind im wesentlichen eine Folge der N-Ausscheidungen von Mensch und Tier und hängen daher von der Bevölkerungs- und Haustierdichte sowie vom jeweiligen hygienischen Standard und der Art der Tierhaltung und Jauchebehandlung ab. Durch die Einführung der aeroben Abwasserbehandlung für die Fäkalien der Menschen und die Verbesserung der Behandlungs- und Ausbringungsmethoden von Jauche und Mist der Nutztiere in diesem Jahrhundert, wurde die  $NH_4-N$ -Emission pro Individuum erheblich reduziert. Damit verminderten sich die Spitzenwerte der  $NH_4-N$ -Deposition in den Städten, und der landesweite Durchschnitt erhöhte sich nicht im gleichen Maß wie die Bevölkerungs- und Nutztierdichte.

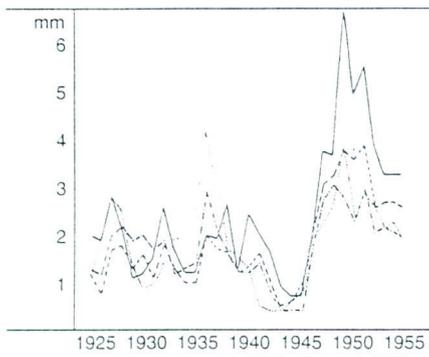


Abb. 14. Veränderung der Jahrringbreite einer Kiefer im Aapener Wald bei Düsseldorf nach Verminderung der  $\text{SO}_2$ -Belastung durch die 1945 erfolgte Stilllegung des benachbarten Rheinmetallwerkes. Stammhöhe: 0,2 m (—), 2 m (— — —), 4 m (— · — · —) und 6 m (· · · · ·). Aus [87].

völlige Absterben von Fichtenwäldern ist aber auf den Erzgebirgskamm in Höhe von etwa 900 m ü. NN beschränkt, wo Jahresmittelwerte von 100 bis 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [83] auftreten und die  $\text{SO}_2$ -Wirkung durch hohe Windgeschwindigkeiten verstärkt wird [84]. Die Verursachung dieser Schäden durch die Abgase der Kraftwerke im Egertal ist aufgrund der Gleichzeitigkeit des Beginns der Zuwachsrückgänge [85] und der Inbetriebnahme der ersten Braunkohlekraftwerke eindeutig belegt. Trotzdem sind diese typischen  $\text{SO}_2$ -Schäden ohne besondere Kennzeichnung in den jährlichen Waldschadensberichten, gemeinsam mit den „neuartigen“ Waldschäden ausgebracht, und Photos von absterbenden Fichten im Erzgebirge werden häufig als Beispiel für neuartige Waldschäden verwendet. Beides führt zur Verwirrung und Fehlinformation der Bevölkerung über die Waldschadenssituation.

Im Gegensatz zu den Verhältnissen in den ehemaligen Ostblockstaaten, wurden die früheren, hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in den Industrie- und Stadtzentren Westdeutschlands bereits seit den 60er Jahren drastisch reduziert. Ein typisches Beispiel ist das Rhein-Ruhr-Gebiet, wo 50% der gesamten  $\text{SO}_2$ -Menge der alten Bundesländer emittiert werden [86]. Im Verlauf der Industrialisierung Ende des vorigen Jahrhunderts starben dort die Nadelbäume auf etwa 80  $\text{km}^2$  ab und wurden auf weiteren 250  $\text{km}^2$  schwer geschädigt [75]. Abgesehen von den ersten Nachkriegsjahren, in denen

sich die  $\text{SO}_2$ -Konzentration infolge des Zusammenbruchs der Industrie drastisch verminderte und die Nadelbäume eine abrupte Zuwachserholung (Abb. 14) aufwiesen [87], setzte sich nach der wirtschaftlichen Erholung die hohe  $\text{SO}_2$ -Belastung und Waldschädigung bis in die Mitte der 60er Jahre fort. Erst dann begann die systematische Reduktion des  $\text{SO}_2$ -Ausstoßes zunächst durch technische Verbesserung der Anlagen, den Bau höherer Kamine und schließlich durch die landesweite, völlige Entschwefelung der Kohlekraftwerke, die ab 1988 wirksam wurde [86]. Durch dieses, schon 20 Jahre vor Beginn der Waldschadensdiskussion eingeleitete Bündel von Maßnahmen, fiel die  $\text{SO}_2$ -Konzentration im Rhein-Ruhr-Gebiet von mehr als 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Anfang der 60er Jahre auf etwa 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  am Ende der 80er Jahre ab (Abb. 15).

Im Gegensatz zu Befürchtungen [8], daß die „Hochschornsteinpolitik“ der 70er Jahre zu einem Anstieg der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in weit entfernten Waldgebieten führen würde, blieb das Niveau der  $\text{SO}_2$ -Konzentration an den UBA-Meßstellen in ländlichen und bewaldeten Gebieten seit Beginn der Messungen Anfang der 70er Jahre unverändert (Abb. 13) und lag auch schon vor der 1988 wirksam werdenden erneuten Absenkung durch die landesweite Kraftwerkentschwefelung unter dem internatio-

nal festgesetzten Grenzwert von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [88] zur Vermeidung von Schäden an Nadelbäumen. Dementsprechend ergaben auch die 1986–88 im Bayerischen Wald [89] und in den Hochlagen der Alpen [90, 91] durchgeführten, mehrjährigen Vergleichsmessungen an Fichtenzweigen in Umgebungs- und schadstofffreier Luft keine Unterschiede der Photosynthese- und Atmungsaktivität.

Die erneute Verminderung der  $\text{SO}_2$ -Belastung ab 1988 führte auch nicht zu einer Zuwachsverbesserung, wie sie im Ruhrgebiet unmittelbar nach der Reduktion der hohen, wachstumshemmenden  $\text{SO}_2$ -Konzentration bei Kriegsende eintrat (Abb. 14) oder zu einer Verminderung der neuartigen Waldschäden. Diese stiegen nach 1988 sogar wieder an (Abb. 1) und verhielten sich insgesamt eher gegenläufig zur Entwicklung der  $\text{SO}_2$ -Belastung (Abb. 13 a, 15). Ebenso wenig bestätigte sich die auf der Basis der Al-Toxizitäts- und Versauerungshypothese zu erwartende Zunahme der Schäden bei niedrigem pH. Im Gegenteil, die statistische Auswertung der bayerischen Waldbodeninventur ergab für Kiefer und Fichte eine positive Korrelation zwischen der Höhe des pH-Wertes des Bodens und der Höhe der Waldschäden, das heißt deutlich höhere Schäden bei mehr neutralen bis basischen pH-Werten (Abb. 16).

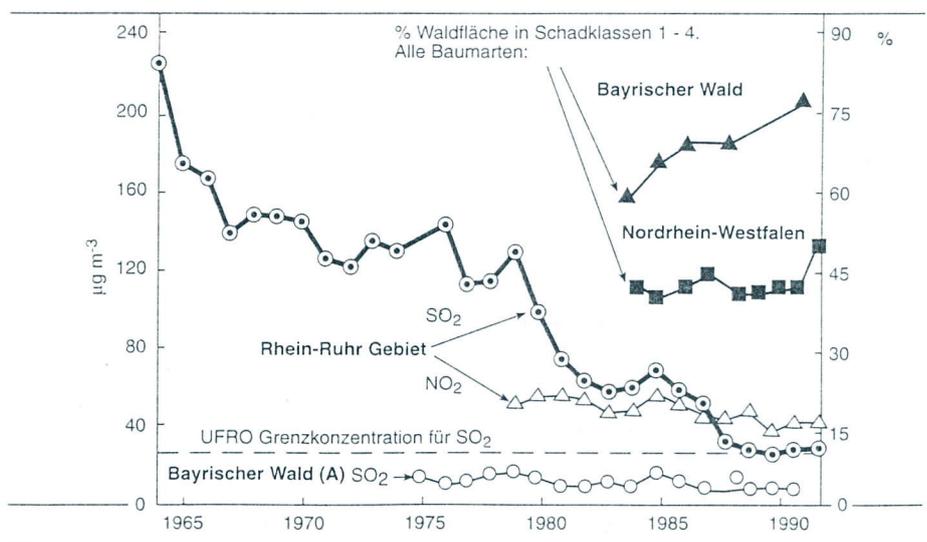


Abb. 15. Verlauf der Jahresmittelwerte der  $\text{SO}_2$ - und  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen im Rhein-Ruhrgebiet [86] und der  $\text{SO}_2$ -Konzentration im Bayerischen Wald (Monatsberichte des UBA) sowie der Waldschäden (alle Baumarten) im Bayerischen Wald und in Nordrhein-Westfalen.

Die N-Eutrophierungsszenarien überbewerten die Wirkung der großräumigen Stickstoffeinträge in der bisherigen Höhe und unterbewerten Faktoren, die wahrscheinlich schon seit der Mitte dieses Jahrhunderts, nicht erst im letzten Jahrzehnt, zu einer Zunahme des Wachstums der Bäume führen, zum Beispiel: Anstieg von Temperatur, Niederschlag und  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts (Abb. 8), die synergistisch fördernd auf das Waldwachstum wirken; die langfristigen Auswirkungen der stetig verbesserten waldbaulichen Maßnahmen, wie Bodenmelioration, Durchforstungspraktiken usw. und insbesondere die Einschränkung der Waldweide und endgültige Einstellung der Streu- und Humusentnahme aus den Wäldern. Das Zuwachspotential der früher streugenutzten Wälder geht aus Rebels [72] Darstellung hervor, wonach zu Beginn des Jahrhunderts 20 bis 30% des Zuwachses der bayerischen Staatsforste durch die Streuentnahme verloren gingen. Die derzeitigen extremen Zuwachsteigerungen in den früher besonders intensiv streugenutzten und heute wieder Humus akkumulierenden Wäldern der Oberpfalz [54] bestätigen die Rebelschen Schätzungen.

### Luftschadstoffsituation

Verlauf und geographische Verteilung der Konzentration der drei für die Waldschadensdiskussion wichtigsten Luftschadstoffe,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  und Ozon, sind, zumindest für die letzten ein bis zwei Jahrzehnte, gut bekannt (Abb. 12, 13 a, b, c). Da die Konzentrationen in den westdeutschen Waldgebieten unterhalb der Grenze der direkten toxischen Wirkung liegen und keine schadstoffspezifischen Blattschäden nachgewiesen werden konnten, hat sich die Diskussion über die Ursachen der neuartigen Waldschäden von der Annahme einer direkten Schädigung über den „Luftpfad“ [73, 74, 75] auf die Möglichkeit einer indirekten Wirkung über den „Bodenpfad“ durch Schadstoffdeposition verlagert, eine Vorstellung, die schon

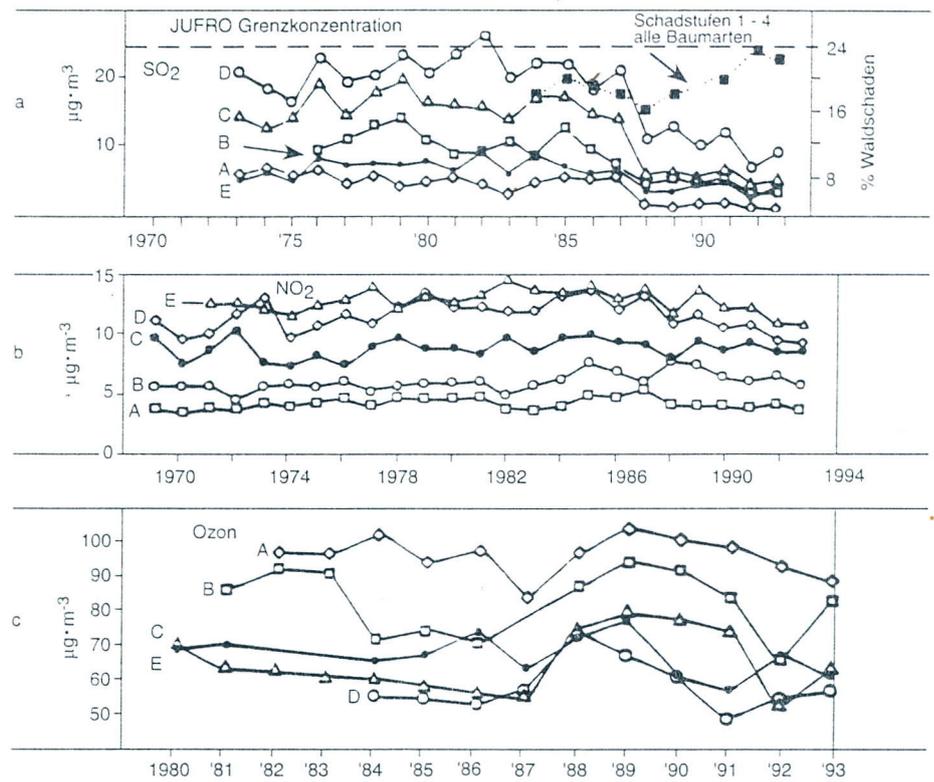


Abb. 13. Jahresmittelwerte der  $\text{SO}_2$ - (a),  $\text{NO}_2$ - (b) und Ozon- (c) Konzentrationen an den UBA-Stationen A–E (s. Abb. 12; nach: Monatsberichte des UBA), % der Fichtenfläche der alten Bundesländer in den Schadstufen 2–4 (Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1993) und JUFRO Grenzkonzentration für  $\text{SO}_2$  zum Schutz des Waldes auf extremen Standorten [88].

zur Jahrhundertwende von Borggreve [76] und Wieler [77, 78] entwickelt und von Ulrich [1, 2] als Versauerungs- und Aluminiumtoxizitätshypothese den Waldsterben-Szenarien der frühen 80er Jahre zugrundegelegt wurde. Heute steht neben der Versauerung der Böden auch deren Eutrophierung durch  $\text{NH}_4$ - und  $\text{NO}_3$ -Eintrag im Mittelpunkt der Diskussion [64–67].

Dagegen ist Ozon bei der Waldschadensdiskussion in den Hintergrund getreten, da

— die Ozonkonzentrationen in den 80er Jahren nicht wie erwartet anstiegen, sondern auf einem weitgehend gleichbleibenden Niveau verliefen (Abb. 13 c) und keine Paralleltät mit dem Verlauf der neuartigen Waldschäden (Abb. 2, 3, 4) erkennen lassen;

— bei Waldbäumen unter den gegenwärtigen Bedingungen in Mitteleuropa keine eindeutigen Ozonschäden festgestellt werden konnten;

— Ozonbegasung keine Verminderung des Mg-Gehaltes und Vergil-

bung der Fichtennadeln auslöste [79];

— die Pigmentverminderung bei der akuten Vergilbung der Fichte [80] nicht, wie ursprünglich angenommen wurde, auf einer durch Ozon verstärkten Photooxidation [81] beruht, sondern auf einer durch Mineralstoffmangel ausgelösten metabolischen Regulation, die am D1-Polypeptid des Reaktionszentrums von Photosystem 2 angreift [82]. Dabei bleibt die Funktionstüchtigkeit des Photosynthesapparates auf einem allerdings niedrigeren Niveau erhalten, so daß eine Wiederergrünung möglich ist (s. Titelbild) [53, 80].

### Schwefeldioxidbelastung

Die altbekannten, von hohen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen verursachten Rauchsäden in den Industriegebieten [73–77] kommen heute nur noch in den ehemaligen Ostblockländern vor, zum Beispiel im Bereich des Braunkohleabbaus bei Bitterfeld und der Kraftwerkskonzentration des Egertals (Abb. 12). Das

- (40) K. Rebel, Waldbauliches aus Bayern. II. Band. Jos. E. Huber Diessen vor München 1924.
- (41) E. Wiedemann, Zuwachsrückgang und Wuchsstockungen der Fichte in den mittleren und unteren Höhenlagen der sächsischen Staatsforsten. Akademische Buchhandlung Walter Laux Tharandt i. S. 1924.
- (42) E. Wiedemann, Die schlechtesten ostdeutschen Kiefernbestände. Reichsnährstand Verlag GmbH. Berlin 1942.
- (43) F. H. Schweingruber, Allgem. Forstzeitschr. 44, 262-268 (1989).
- (44) W. Zielenkowski u. Mitarb., Berichte der ANL 10, 1-71 (1986).
- (45) K. Rubner, Tharandter Forstl. Jahrbuch 87, 101-176 (1936) und 90, 883-915 (1939).
- (46) O. Kandler, Allgem. Forst- u. Jagdztg. 159, 179-194 (1988).
- (47) A. I. Shigo, Sci. Am. 252, 76-83 (1985).
- (48) R. Hartig, Wichtige Krankheiten der Waldbäume. Springer Verlag Berlin (1874).
- (49) H. Zycha u. Mitarb., Der Wurzelschwamm (Fomes annosus) und die Rotfäule der Fichte (Picea abies). Beihefte z. Forstwiss. Ctbl. Heft 36 1976.
- (50) Ch. G. Shaw III u. Mitarb., Armillaria root disease. Agricult. Handbook No. 691, Forest Service USA, Dep. of Agriculture Washington DC 1991
- (51) Assessorat für Forstwirtschaft der Autonomen Provinz Bozen, Wie gesund sind unsere Wälder ? 7. Bericht über den Zustand der Wälder in Südtirol 1989.
- (52) K. F. Sinner u. Mitarb., Allgem. Forst.-Jagdztg. 143, 74-80 (1972).
- (53) O. Kandler, Plant Disease 74, 1-12 (1990)
- (54) H. Pretzsch, Allgem. Forstzeitschr. 40, 1122-1126 (1985)
- (55) M. Becker u. Mitarb., in: Forest Decline and Air Pollution Effects in the French Mountains, G. Landmann u. M. Bonneau (Hrsg.), 1-12, 1993.
- (56) M. Becker u. Mitarb., Allgem. Forstzeitschrift 11, 263-274 (1990).
- (57) G. Kenk u. Mitarb., Referenzdaten zum Waldwachstum, Kfk-PEF 82, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Projekt Europäisches Forschungszentrum f. Maßnahmen zur Luftreinhaltung 1991.
- (58) O. Kandler, Proceedings 2. Statusseminar der PBWU z. Forschungsschwerpunkt Waldschäden, München-Neuherberg, Feb. 4-6, GSF-Berichte 10, 100-110, 1991.
- (59) O. Kandler, in: Forest Decline in the Atlantic and Pacific Regions, R. F. Hüttl u. D. Mueller-Dombois (Hrsg.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1993.

- (60) G. Spelsberg, Zuwachsmessungen in den Stichprobenbeständen der Waldschadenserhebung in Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen, Bericht der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung u. Forstplanung 1992.
- (61) W. Keller, in: Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Freiburg. Bericht der Jahrestagung vom 1.-3.6.1992 der Sektion Ertragskunde 1992.
- (62) T. W. Schneider u. Mitarb., Mitt. Bundesforschungsanstalt. Forst-Holz-wirtschaft. 155, 61-77 (1987).
- (63) P. E. Kauppi u. Mitarb., Science 256, 70-74 (1992).
- (64) B. Nihlgard, Ambio 14, 2-8 (1985).
- (65) G. Hofmann u. Mitarb., Forstwirtschaft Berlin 40, 40-44 (1990).
- (66) H. Mohr, Spektrum d. Wissensch. 1/ 94 , 48-53, (1994).
- (67) M. Flaig u. Mitarb., Allgem. Forst-Jagdzeitung 162, 35-40 (1990).
- (68) H.-J. Gulder u. Mitarb., Waldbodeninventur in Bayern, Forstl. Forschungsberichte München 132 (1993).
- (69) E. E. Hildebrand u. Mitarb., Ergebnisse der Belastungsinventur Baden-Württemberg 1988, Mitteilungen der Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg Freiburg Heft 172 (1993).
- (70) K. Stefan, Forstliche Schriftenreihe Univ. für Bodenkultur, Wien, Band 5 (1992).
- (71) K. Stefan, First Workshop on Ecological Monitoring in Forestry, IUFRO WP 2.05.01 (1989).
- (72) K. Rebel, Streunutzung, insbesondere im bayerischen Staatswald. Jos. E. Huber Diessen vor München 1920.
- (73) J.v. Schröder u. Mitarb., Die Schädigung der Vegetation durch Rauch. Paul Paray Berlin 1883.
- (74) H. Wislicenus, Waldsterben im 19. Jahrhundert. Reprint edition VDI Verlag Düsseldorf 1984.
- (75) K. F. Wentzel, Schriftenreihe des Bundesministeriums f. Ernährung, Landw. u. Forsten, Reihe A Landwirtschaft-Angew. Wissensch. 107, 140-169 (1960).
- (76) B. Borggreve, Waldschäden in ober-schlesischen Industriebezirken und ihre Entstehung durch Hüttenrauch. Sauerländer Frankfurt/M. 1895.
- (77) A. Wieler, Untersuchungen über die Einwirkung schwefeliger Säure auf die Pflanzen. Borntraeger Berlin 1905.
- (78) A. Wieler, Jahrbuch f. Wissensch. Botanik 76, 333-406 (1932).
- (79) G. H. M. Krause u. Mitarb., LIS-Berichte Nr. 80, Landesanstalt f. Immissionschutz Nordrhein-Westfalen 1989.

- (80) O. Kandler u. Mitarb., Allgem. Forstzeitschr. 42, 715-723 (1987).
- (81) H. K. Lichtenthaler u. Mitarb., Das Waldsterben aus botanischer Sicht, G. Braun Karlsruhe 1984.
- (82) D. Godde u. Mitarb. Planta 193, 290-299 (1994).
- (83) E. Liebold u. Mitarb., Allgem. Forstzeitschr. 46, 492-499 (1991).
- (84) E. Liebold, Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. Dresden 37, 243-247 (1988).
- (85) B. Vins, Communicationes Instituti Forestalis Cechosloveniae, Praha, 235-245 (1965).
- (86) P. Bruckmann u. Mitarb., VDI Berichte 952, 152-166 (1992).
- (87) K. F. Wentzel, Forstarchiv 27, 84-89 (1956).
- (88) K. F. Wentzel, Mitt.d.Forstl.Bundesversuchsanstalt Wien 137/II, 175-180 u. 327-328 (1981).
- (89) W. Koch, Forstl. Forschungsberichte München 130, Bayer. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt (1993).
- (90) G. Wieser u. Mitarb. GSF-Bericht 24/91. Neuherberg, Germany, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (1991).
- (91) R. Häsler, in: Luftschadstoff und Wald. M. Stark (Hrsg.) Verlag der Fachvereine ETH Zürich 1991.
- (92) H. Neuland u. Mitarb., Forschungsvorhaben FKZ 0339124A, PT-BE0 Forschungszentrum Jülich 1990.
- (93) K. Kreutzer u. Mitarb. (Hrsg.) Ökosystemforschung Höglwald. Paul Parey Hamburg, Berlin 1991.
- (94) E.-D. Schulze, Science 244, 783 (1989).
- (95) R. A. Smith, Air and Rain, Longmans, Green & Co. London 1872.
- (96) M. H. Häberle, Allgem. Forstzeitschr. 39, 761-766 (1984).
- (97) W.A.H. Asman u. Mitarb. Atm. Environ. 22, 725-735 (1988).
- (98) K. Cihak, VDI Berichte 560, 295-312 (1985).
- (99) E. Matzner u. Mitarb., J. Environ. Qual. 23, 162-166 (1994).
- (100) B. Ulrich, Forstarchiv 64, 147-152 (1993).
- (101) H. Lange u. Mitarb., Water, Air and Soil Poll. (im Druck).
- (102) T. Türk, Bayreuther Bodenkundliche Berichte Bd. 22, Bayreuth (1992).
- (103) O. Kandler, Naturwiss. Rundschau 47, 28-29 (1994).
- (104) H. Zöttl, Plant & Soil 128, 83-89 (1990).
- (105) R. F. Hüttl, Angew.Bot. 67, 66-75 (1993).
- (106) Bayer. Landesamt f. Wasserwirtsch., Informationsberichte 6/92, (1992).
- (107) H. Zahn, Sonderuntersuchung 80.6 Versauerung oberirdischer Gewässer, Bayer. Landesamt f. Wasserwirtsch. (1991).

- (108) L. Steidle u. Mitarb.; in: Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. Materialien 1/84, 24-38, Umweltbundesamt Hrsg., Erich Schmidt Verlag Berlin 1984.
- (109) K.Kreutzer, WPK-Hintergrundpapier v. 2.2.1993. Wissenschafts-Pressekonferenz Bonn (1993).
- (110) H. Sturm, Rundgespräche d. Komm. f. Ökologie Bd. 7, Fr. Pfeil München 1993.
- (111) F. Goppelroeder, Fresenius, Zeitschr. f. Analyt. Chemie IX, 1-15 (1870).
- (112) Marx, Fresenius, Zeitschr. f. Analyt. Chemie VIII, 413-415 (1868).
- (113) J. D. Castello, Proceedings Intern. Congress on Forest Decline Research: State of knowledge and perspectives. B. Ulrich (ed.) Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH. 1989.
- (114) V. Jacobi u. Mitarb., Plant Disease 76, 518-522 (1992).
- (115) P. Nienhaus u. Mitarb., Ann. Rev. Phytopathol. 27, 165-186 (1989).
- (116) C. Büttner u. Mitarb., Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzdienst 45, 110-115 (1993).
- (117) E. Seemüller, Forum Mikrobiol. 12, 144-151 (1989).
- (118) E. Seemüller, in: Rundgespräche d. Kommiss. f. Ökologie 5, 145-150, Verlag Dr. Friedrich Pfeil München 1993.
- (119) C. Hiruki (ed.) Tree mycoplasmas and mycoplasma diseases, The University Alberta Press 1988.
- (120) E. Seemüller, Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd. 44, 143-148 (1992).
- (121) J. Ryals, Plant. Physiol. 104, 1109-1112 (1994).
- (122) M. Schmidt, VDI Berichte 560, 527-544, VDI Verlag 1985.
- (123) P. Brimblecombe u. Mitarb. Tellus 32, 261-267 (1980)
- (124) O. Kandler u. Mitarb., in: Proceedings of the 7th Symposium of IUFRO and C.I.E.C.: Agroforestry and Land Use in Industrialized Nations. Berlin, May 30 - June 2, 1994 (im Druck).
- (125) H. Blaschke, Allgem. Forstzeitschr. 49, 775-777 (1994).
- (126) H. Röhle, Allgem. Forstzeitschr. 49, 765-768 (1994)
- (127) P. Weidenbach, Allgem. Forstzeitschr. 47, 711-717 (1992).
- (128) H. Ellenberg, Schweiz.Z.Forstwes. 145, 413-416 (1994).
- (129) P. Schmid-Haas, Schweiz.Z.Forstwes. 145, 371-387 (1994).
- (130) O. Kandler u. Mitarb., in: Rundgespräche der Kommission für Ökologie 5, Bayer. Akademie d. Wissenschaften (Hrsg.) Verlag Dr. F. Pfeil München 1993.
- (131) O. Kandler u. Mitarb., Manuskript in Vorbereitung (1994).
- (132) F. W. Neger, Tharandter Forstl. Jahrb. 58, 201-225 (1908).
- (133) B. Ulrich ; in Effects of Acid Rain on Forest Processes. ( A.Hüttermann u.D.L. Godbol Hrsg.) Wiley Publ. New York 1994.

## Nachtrag im April 2000

Inzwischen wurden die 3 spektakulärsten Baumsterben (Tannen-, Buchen- und Eichensterben) als Phytophthorawurzelfäulen erkannt.

### Tannensterben:

H. Blaschke: European J. of Forest Pathology, 12, 232-238 (1982).

### Buchensterben:

G. Hartmann und R. Blank: Forst und Holz, 53, 187-193 (1998).

### Eichensterben:

T. Jung, D.E.L. Coope, H. Blaschke, J.M. Duncan and W. Oswald: Mycol. Res., 103, 785-798 (1999).