

# Waldsterben – Ursachen, Wirkungen und Maßnahmen



Mag. Kurt RUSSMANN  
A-4591 Molln 246

Das Waldsterben, gibt es das eigentlich? Droht uns wirklich eine Katastrophe? Wird nicht maßlos übertrieben, damit neue politische Gruppen oder einzelne profilierungssüchtige Forscher ins Rampenlicht rücken?

Für den Laien sind solche oder ähnliche Fragen nicht verwunderlich. Denn optisch, vor allem bei oberflächlicher Betrachtung durch den Nichtfachkundigen, stellt sich der Wald als nicht todkrank dar. Man muß sich erst die wenigen Prozente schwerst geschädigten bzw. abgestorbenen Waldes ansehen, um tatsächlich einen Eindruck davon zu gewinnen. Leider siecht der Wald aber auch dort dahin, wo man mit dem Auge des Laien kaum Schäden merkt. Die Beweise dafür häufen sich in den letzten zwei Jahren immer mehr.

Die Menschheit in den Industrieländern, vor allem aber die direkt betroffenen Waldbauern, stehen vor einer Herausforderung, deren Ausmaß nicht einmal in Ansätzen abzuschätzen ist. Luft ist eben auch ein lebenswichtiger Rohstoff, der nicht ohne Folgen mit Schmutz belastet werden kann, auch wenn manche glauben, sich rechtzeitig aus dem „Staub machen“ zu können. Die bisherigen amtlichen Untersuchungen decken sich mit dem, was man in Fachkreisen schon länger wußte. Die Waldschadenswerte in den Grenzgebieten zur Bundesrepublik sind um das zwei- bis fünffache höher als im gleichbelasteten österreichischen Grenzraum. Sind die deutschen Werte zu hoch oder gehen in Österreich die Uhren wieder einmal anders?

Es ist deprimierend zu wissen, daß nahezu die totale Entgiftung der Rauchgase technisch machbar ist, daß sie verzögert wird und teilweise unterbleibt, weil sie Geld kostet – Groschenbeträge pro Kilowattstunde oder Liter Treibstoff und Heizöl.

Die knappe Rückschau auf Geschichte und Ausmaß des Waldsterbens ist ein trauriger Triumph für frühe Warner. Nicht Rechthaberei, sondern die Sorge um unsere Wälder, um das Leben überhaupt, sollten nun im Vordergrund stehen. Allzu eifrig ist der „Schwarze Peter“ herumgereicht worden und dadurch zuviel Zeit verlorengegangen.

Humbert Fink schreibt zur Gesamtproblematik (KNOCHE 1984) sehr treffend:

„Wie wir uns umbringen und wie wir  
ÖKO-L 7/1 (1985)

*diesen kollektiven Selbstmord vor uns selbst und den nachfolgenden Generationen zu rechtfertigen versuchen, indem wir ihn verniedlichen, indem wir die Ursachen dieses Selbstmordes verharmlosen oder sogar verleugnen: Das grenzt an kollektive Raserei, das hat mit der Hysterie zu tun, die ein Volk, eine Gesellschaft immer dann erfaßt, wenn sie dem mutwillig heraufbeschworenen Untergang entgegenwankt, aber sich dabei hartnäckig einredet, man schreite ohnedies in Übereinstimmung mit dem vielgepriesenen Fortschritt einher.“\**

## Historisches

Immer wieder wird das Argument angeführt, daß es bereits früher ein Tannensterben und dürre Bäume immer schon gegeben habe.

Das **Tannensterben** wurde zum erstenmal 1856 registriert und niedergeschrieben. Es trat besonders nach heißen und trockenen Sommern auf und wiederholte sich in Abständen von 15 bis 30 Jahren. Die kränkenden Wälder erholten sich zum größten Teil wieder.

Beim heutigen Waldsterben gibt es keine Erholungsphasen mehr, es sind nahezu alle Baumarten betroffen und die Schäden treten überall und nicht nur lokal auf.

Einschlägige wissenschaftliche Untersuchungen begannen Ende der 60er Jahre und waren hauptsächlich auf die Tanne ausgerichtet. Einzelursachen wie Trockenheit, Pilzbefall, Bakterien und Wurmbefall standen

\* In: trend 6/84, Seite 116.

im Vordergrund der Vermutungen. Hätte die heraufziehende Gefahr nicht früher erkannt werden können? Die Antwort lautet: Die Gefahr wurde erkannt. Nur die, die darauf hinwiesen, blieben einsame Rufer in der Wüste.

So führte WENTZEL (1983) schon 1967 in Saloniki bei einer Europäischen Forsttagung aus: „Weil die Abgase nicht zurückgehalten werden, sondern in ständig wachsenden und die Toxizitätsschwelle, also die Schwelle der Hochgiftigkeit, überschreitenden Mengen in die Atmosphäre gelangen, weiten sich die Rauchschäden in der Forstwirtschaft nach Fläche und Intensität besorgniserregend aus. Außerdem kann als Ursache für die Walderkrankung die Praxis genannt werden, nicht über Abgasrückhaltung (spricht Filterung), sondern über höher hinausgebaute Schornsteine eine Erleichterung in den Ballungsräumen zu erreichen.“

Ein Studententeam der Universität Innsbruck hat bereits 1977 und 1978 bei Wasserhaushaltsmessungen an der Rotbuche, Tanne und Fichte im Sengengebirge (OÖ.) krankhafte Veränderungen am Spaltöffnungssystem festgestellt. Diese Ergebnisse habe ich 1978 mehrmals der Öffentlichkeit vorgetragen und darauf hingewiesen, daß auch der Wald in den Staulagen der Nördlichen Kalkalpen zu sterben beginnt. Einige Forstleute und einzelne Lokalpolitiker haben diese Feststellungen nicht ernst genommen und mir Profilierungssucht vorgeworfen. 1981, 1983 und 1984 habe ich auf Grund weiterer erdrückender Untersuchungsberichte darüber in den Zeitungen\* berichtet. Als „grüner Spinner“ und Panikmacher wurde ich angeprangert.

\* OÖN vom 11. Juli 1981, Seite 1: „Sengengebirge in Gefahr“; OÖN vom 15. Oktober 1983, Seite 1 und 5: „Saurer Regen bringt sogar schon die Latschen um“; Salzkammergut-Zeitung vom 15. März 1984, Seite 22: „Auch Latschen sterben leise“; OÖN-Artikelserie „Rettet unseren Wald“, Nr. 1 und 15 (1984).

Erst 1982 wurde in einigen fortschrittlichen Ländern auch offiziell das Waldsterben in Verbindung mit der Luftverunreinigung zugegeben. Ausmaß und Tempo wurden heruntergespielt und die Folgen eher verharmlost. Um sich hinter der Uneinigkeit der Wissenschaft zu verstecken, wurden die Theorien über die verschiedenen Ursachen als Widersprüche hochgespielt, um verbal Zeit zu gewinnen.

Horst Stern schreibt in einem seiner zahlreichen Natur-Kommentare: „Man kann der Wissenschaft jedoch den Vorwurf nicht ersparen, von einer ökologischen Fragestellung zur nächsten zu eilen, ohne sich groß darum zu kümmern, was die Politik von heute mit den wissenschaftlichen Antworten von gestern macht.“

Es ist der Natur zu wünschen, daß ihre wissenschaftlichen Interpreten insgesamt sich mehr für ihre Rettung engagieren. Es könnte sonst geschehen, daß die Feldforscher unter ihnen eines nicht zu fernem Tages nichts mehr zu forschen haben werden.“

Der letzte Stand des Wissens über das Waldsterben reicht bei weitem aus, die Ursachen zu bekämpfen und das Problem in den Griff zu bekommen (z. B. Japan). Eine bis in den Mikrobereich hineingehende lückenlose Erforschung des Gesamtproblems wird es in der Zeit, die uns zur Rettung der Wälder zur Verfügung steht, nicht geben.

Es bleibt zu hoffen, daß die drohende Katastrophe immer mehr Menschen zur Einsicht bringt, daß nur ein Verzicht auf weiteren übermäßigen materiellen Wohlstand und ein entschlossenes Handeln der Regierenden die Lösung sein kann.

## Die Schadstoffe

### Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

ist einer der Hauptverursacher des Baumsterbens. Es entsteht vor allem bei Verbrennungsprozessen von Kohle und Ölprodukten. Hauptlieferanten sind Wärmekraftwerke, Industrien und Hausbrand.

### Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

Diese entstehen vor allem bei Verbrennungsprozessen mit höheren Temperaturen. Der Kraftfahrzeug- und Luftverkehr erzeugt etwa die Hälfte der in die Luft abgegebenen

Stickoxide. Die Stickoxide wirken als treibende Kraft für die Bildung von

Photooxidantien (Ozon – O<sub>3</sub>, Peroxiazetylnitrat – PAN)

Weitere Ausgangssubstanzen sind die Kohlenwasserstoffe, die sich zusammen mit den Stickoxiden, unter dem Einfluß der Ultraviolettstrahlung, im Sonnenlicht zu giftigen Verbindungen verwandeln. Deshalb wirken Stickoxide und Kohlenwasserstoffe oft weit entfernt von ihren Entstehungsräumen.

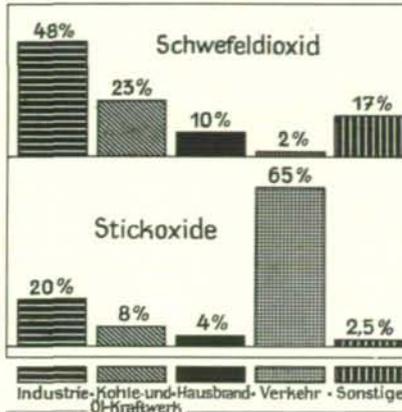


Abb. 1: Der Schwefeldioxid- und Stickoxidausstoß in Österreich nach Verursachergruppen (in %). Leicht verändert aus: UNTERBRUNER, U., FISCHER, G. u. F. TAFERNER (1984).

### Fluorwasserstoff (HF)

entsteht hauptsächlich bei der Aluminiumverhüttung und bei Sinterprozessen (Ziegeleien, Glasfabriken, Müllverbrennungsanlagen).

### Schwermetalle (Blei, Zinn, Kupfer, Cadmium und Quecksilber)

verursacht durch metallherstellende und -verarbeitende Industrien, aber auch durch Abnutzungserscheinungen beim Automobil. Die toxische Wirkung läuft vor allem über den Boden auf die Wurzeln.

Weiters treten noch einige **100.000 chemische Substanzen** in der Atmosphäre auf, von denen ein Teil als Pflanzenschadstoffe wirken.

### Ausmaß – aktuelle Entwicklung

Täglich nimmt die Weltbevölkerung um 200.000 Menschen zu, die Waldfläche aber um 500 Quadratkilometer ab. Der größte Teil des Waldflächenschwundes erfolgt in den Entwicklungsländern, u. a. in den Tropen. In Brasilien, Äquatorialafrika,

den Ländern der Sahelzone und Indien fallen riesige Flächen für immer der Edelholznutzung und Landwirtschaftsflächengewinnung zum Opfer. Weltweit ist derzeit diese Art der Waldvernichtung der ökologischen Gesamtwirkung und der Fläche nach als wesentlich katastrophaler einzustufen, als das Waldsterben durch Luftschadstoffe in den Industrieländern. Dieser ökologische Wahnsinn, an dem wir (Industriestaaten) die Hauptschuld tragen, berührt uns scheinbar weniger, da man sich an Horrorzustände wie die diversen Hungerkatastrophen in unseren reichen gesättigten Ländern allmählich gewöhnt hat. Die globalen Auswirkungen, vor allem mögliche Klimaerwärmungen usw., sind erforscht und bekannt, deshalb wird dieses Problem bei uns kaum registriert.

Schon seit Jahren häufen sich in den Industriestaaten die Anzeichen des Baumsterbens durch Luftverschmutzung. Das wahre Ausmaß kann man nur abschätzen und ist katastrophal. Neuere, direkte Erkennungsmethoden – Infrarot- und Falschfarbenaufnahmen mittels Flugzeugen und Satelliten – sind bisher nur in wenigen Ländern angewandt worden. Die katastrophalen Werte werden zum Teil nicht veröffentlicht.

Die Schadstoffe summierten sich in den letzten Jahrzehnten und kamen, bedingt durch die Pufferwirkung des Bodens und die Gegenreaktion der Pflanze, optisch als Schaden nicht eher zum Vorschein, als der biologische Kippunkt erreicht wurde. Von da an schreitet das Sterben sehr rasch (exponentiell) voran und ist in den meisten Fällen (vor allem bei fortgeschrittenem Alter der Bäume) nicht mehr aufzuhalten. Die Intensität und Ausdehnung der Schäden nimmt rapide zu. So hat sich die Schadensfläche in vielen Ländern (z. B. BRD) innerhalb eines Jahres verdoppelt.

### Kanada – USA

Kanada (MOORE und LEWIS 1983) kämpft mit dem Problem wie Skandinavien auf verlorenem Posten. Auf dem wenig pufferfähigen Granitgestein kommt der hauptsächlich aus den USA stammende „Saure Regen“ voll zur Wirkung. Über 3000 Seen sind tot, 8000 am Sterben und 60.000 vor dem Umkippen. Hauptbetroffen sind Ontario, Quebec und Labrador. Aber auch der Westen der USA, vor allem in den Rocky Mountains,

ist beeinträchtigt. Hunderttausende Quadratkilometer Waldflächen sind geschädigt. Am meisten setzen die Schadstoffe den äußerst empfindlichen Arten der Tundra zu. Die Ursachen liegen im Bereich der Kohlekraftwerke und Großindustrie der USA und Südkanadas.

**UdSSR**

Die Verhältnisse liegen ähnlich wie in Kanada. Zusätzliche Belastung sind riesige Industriekombinate mitten im Waldland der Taiga. Die Waldschäden dürften ebenfalls mehrere 100.000 Quadratkilometer betragen. Sie werden – wie so vieles – totgeschwiegen.

**Skandinavien**

Hauptverschmutzer sind England und die südlich gelegenen Nachbarländer (BRD, DDR, Polen). Die Verhältnisse sind ähnlich wie in Kanada: Tausende tote Seen und Hunderttausende Hektar sterbende Wälder. Die Lösung des Problems liegt außerhalb des Hoheitsbereiches der betroffenen Staaten.

**Italien, Frankreich**

In diesen beiden Ländern wird das ganze Problem derzeit noch als „teutonische Phantasie“ belächelt. Von der Öffentlichkeit völlig unbemerkt liegen auch dort die Wälder im Ster-

ben. In Apulien und den Abruzzen konnte ich selbst letztes Jahr Tausende Hektar sterbende Eichenwälder sehen.

**Ökologischer Holocaust: CSSR, DDR**

Nur 200 Kilometer von der österreichischen Nordgrenze entfernt steht, ca. 20 Kilometer nordöstlich von Karlsbad, die „Waldhölle“, das Erzgebirge. Über 80.000 Hektar sind abgestorben. Ähnlich schaut es im Riesengebirge und im Isergebirge aus. Auf weiten Bereichen gedeihen auf den sauren Böden (pH. 2 – 3) keine Bäume mehr; die Grassteppe, vorwiegend aus Reitgräsern gebildet, ersetzt in den ehemals produktivsten Waldgebieten Europas die Bäume.

Die im Egertal stehenden Kohlekraftwerke, welche die dort vorkommende schwefelhaltige Braunkohle verfeuern, geben **jährlich über eine Million Tonnen SO<sub>2</sub>** in die Luft ab.

Das Erzgebirge ist deshalb nicht typisch für das übrige Mitteleuropa. Denn es zeigt das Endstadium einer Entwicklung, die im übrigen Europa, je nach Belastung, verschieden weit fortgeschritten ist. Dieses Ende blüht ebenso dem Schwarzwald, dem Fichtelgebirge oder den Alpenwäldern.

Von den Oststaaten ist auf Grund ihres chronischen Geldmangels und der Wirtschaftsstruktur keine Lösung zu erwarten.

**Bundesrepublik Deutschland**

Die neueste deutsche Waldschadenserhebung braucht nicht näher kommentiert zu werden, die Zahlen sprechen für sich. Die Hälfte des Waldes ist bereits krank. Die Schäden haben sich von 1983 auf 1984 fast verdoppelt. Am meisten betroffen sind das Fichtelgebirge, der Bayerische Wald, der Schwarzwald und die Alpengebiete. Als Beispiele offizielle Zahlen der zwei an Österreich angrenzenden deutschen Bundesländer (O. V. 1984 a):

**Bayern**

Gesamter Waldbestand: 2,5 Millionen Hektar.

**1983 waren geschädigt: 47 Prozent**  
**1984 sind geschädigt: 57 Prozent**

Aufgeschlüsselt nach Baumarten, in Klammern die Zahlen von 1983.

Tanne . . . . .	86 % (81 %)
Kiefer . . . . .	64 % (62 %)
Fichte . . . . .	58 % (48 %)
Buche . . . . .	62 % (47 %)
Eiche . . . . .	51 % (24 %)

Im Frühjahr 1982 schätzte das bayerische Forstministerium, daß nur fünf Prozent der Waldfläche geschädigt seien. Statistiker brauchen 1985 mit der Tanne nicht mehr zu rechnen. Es gibt sie dann nicht mehr.

**Baden-Württemberg**

Gesamter Waldbestand: 1,3 Millionen Hektar.

**1983 waren geschädigt: 49 Prozent**  
**1984 sind geschädigt: 66 Prozent**

Aufgeschlüsselt nach Baumarten, in Klammern die Zahlen von 1983.

Tanne . . . . .	89 % (77 %)
Fichte . . . . .	65 % (50 %)
Kiefer . . . . .	78 % (74 %)
Laubbäume . . . . .	60 % (33 %)

Das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forste Baden-Württemberg: „Insgesamt sind über 60 Jahre alte Wälder deutlich stärker betroffen als jüngere Bestände. Die räumliche Verteilung der Schäden zeigt, daß das Waldsterben, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität, alle Regionen des Landes erfaßt hat. Es gibt praktisch keine schadensfreien Landesteile mehr.“

Trotz dieser Zahlen spricht man amtlicherseits nicht vom Waldsterben, sondern von „neuartigen Waldschäden“.

**Schweiz**

Hat ähnliche Schadenswerte wie die



Abb. 2: Kahlschläge wohin man schaut. Das große Abräumen ist beendet – zurück bleibt die Grassteppe – Hauptsache das Plansoll des Fünfjahresplanes ist erfüllt (Erzgebirge, CSSR 1984). Ähnlich wie im Erzgebirge geht es dem Wald im Riesen- und Isergebirge nordöstlich von Gablonz und Reichenberg. 1958 sind diese Gebiete zum Nationalpark erklärt worden. Übrig blieb ein wirkungsloses Gesetzespapier, die Grassteppe und Hunderte Millionen tote Bäume (Riesengebirge – CSSR, 1984)

Bundesrepublik. Hinsichtlich Meinungsbildung, Aufklärung, Forschung und der getroffenen Maßnahmen liegt die Schweiz in Europa an erster Stelle. Die Folgen des Totalabsterbens nur eines Teiles der Wälder im Gebirge hätten ähnlich katastrophale Folgen wie in Österreich. Die Schadflächen umfassen ca. 40 Prozent vor allem in Hochlagen; schwere Schäden wurden auch an Obstbäumen registriert.

### Lichtblick Japan

Japan hat, nach der enormen industriellen Entwicklung samt ihren Umweltschäden (Luftverschmutzung, Quecksilberverseuchungen), rasch zu Gegenmaßnahmen gegriffen und seither viele Mißstände beseitigt. Strenge Gesetze, rasche Sanierungs- und Kontrollmaßnahmen sowie ungeheure Aufwendungen im Forschungsbereich sind die Fundamente des Erfolges. Japan hat gezeigt, daß es möglich ist, den Abgasausstoß innerhalb kürzester Frist auf ein niedriges Niveau zu drücken. Die Konkurrenzfähigkeit der Wirtschaft hat nicht gelitten. Ganz im Gegenteil: Umweltechnologie entwickelt sich zum Exportschlager – Europa, wie weit bist du zurück!

### Waldschäden in Österreich

In Österreich hat man im Gegensatz



Abb. 3: Erste Symptome von Immissionschäden an Rotbuchen sind Nekrosen am Blattrand: punktförmige Chlorophyllzerstörung und das Umklappen bzw. Einrollen des Blattrandes (Molln – Innerbreitenau, OÖ., 1984).



Abb. 4: Auch die Zirbe, die in der hochmontanen bis subalpinen Stufe der Zentralalpen und der Südabhänge der nördlichen Kalkalpen vorkommt, zeigt großflächig hohe Schädigungsgrade. Die älteren Nadeljahrgänge vergilben und fallen dann ab. Nur der letzte Nadeljahrgang ist noch grün und photosynthetisch aktiv (Warscheneckstock, Totes Gebirge – OÖ./Stmk., 1983).



Abb. 5: Die sonst so robuste Bergföhre, hier in Form der strauchförmigen Latsche, zeigt dieselben Schadenssymptome wie alle anderen heimischen Nadelhölzer. Auch der letzte Nadeljahrgang hat sich verfärbt, die Pflanze stirbt ab. Weite Plateauflächen der Kalkalpen und Schuttflächen werden durch das Absterben der Latschen verkarsten (Höllengebirge, OÖ., 1984).

Alle Fotos: K. Rußmann

zur Bundesrepublik offiziell das Ausmaß der Schäden weniger erkannt und zum Teil verharmlost. Amtlicherseits spricht man derzeit von 330.000 Hektar geschädigter Waldfläche. Hauptsächlich betroffen sind die Ballungs- und Industriegebiete wie: Raum Linz, Wien, Wiener Neustadt, Grazer Becken, Mur-Mürz-Gebiet, Bregenzer Raum, Inntal, Salzburg-Halleiner Raum, Braunau und Vöcklabruckter Gebiet. Es handelt sich größtenteils um bereits früher bekannte Rauchschadensgebiete, die sich weiter ausdehnen. Nur vereinzelt scheinen auf den offiziellen Karten (z. B. Prospekt des BMFLuF. anlässlich der Waldwoche 1984) emissionsferne Schadensgebiete auf. Vergleicht man bezüglich der Schadflächen die an Österreich angrenzenden Gebiete der Bundesrepublik (siehe Tab. S. 5), so ergeben sich für Österreich zwangsläufig andere als die offiziellen Werte.

Auf Grund eigener Schadenserhebungen, die ich in den letzten zwei Jahren in fast allen Hauptwuchsge-



Abb. 6: Der Borkenkäfer hat den wenigen Bäumen, die durch Luftschadstoffe und saure Niederschläge nur einen Teil der Nadeln verloren haben, innerhalb kürzester Zeit den Todesstoß versetzt. Er zerstört die Assimilatleitgewebe unter der Baumrinde (Fichtenstamm, Erzgebirge, 1984).

bieten Österreichs durchgeführte, schätze ich die optisch bereits erkennbaren Waldschäden in Österreich auf **1.200.000 Hektar!** Die Nördlichen Kalkalpen und Hochlagen der Zentralalpen sind zur Gänze betroffen, ebenso das nördliche Alpenvorland. Vor allem weisen süd-

ÖKO-L 7/1 (1985)

seitige Hänge besonders hohe Schädigungsgrade auf, lokal treten kleinflächige Totalschäden auf (vor allem in Nordstaulagen). In den Tälern treten – bei Inversionslagen – durch Hausbrand und Industrie ebenfalls hohe Schadstoffwerte auf, die zu erheblichen Schäden führen. MAYER (1984) gibt in dem Artikel „Waldschäden in Österreich“ den Schadensstand für Ende 1983 mit ca. 500.000 Hektar an.

Betroffen sind die naturfernen Fichtenaufforstungen ebenso wie die au-

Angesichts dieser neuesten Schadenserkundung, die Veränderungen im Chlorophyllbereich optisch sichtbar macht, muß mit einem noch höheren Schädigungsgrad der Wälder in Österreich gerechnet werden, so daß annähernd dieselben Werte wie in der Bundesrepublik (53 Prozent der Wälder sind geschädigt) zu befürchten sind.

Auch das Tempo der Zunahme der Waldschäden ist atemberaubend. So hat sich in Mitteleuropa 1984 die Schadensfläche verdoppelt. Vor al-

ebenso ist die Landschaft und die gesamte belebte und unbelebte Umwelt einschließlich des Menschen betroffen.

● Luftverschmutzung verursacht alljährlich Schäden an Gebäuden in Milliardenhöhe, vor allem an geschützten Kulturdenkmälern. Jahrtausendlang hat der Sandstein und Marmor von Tempeln, Kirchen, Schlössern und Burgen nahezu ohne Schäden überstanden. Die letzten Jahrzehnte haben ihnen hingegen so zugesetzt, daß sie ohne Sanierungs-

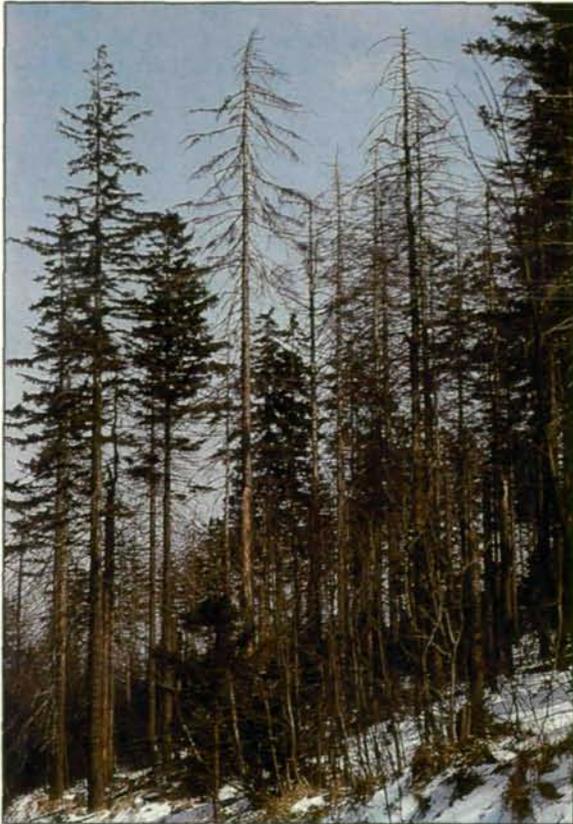


Abb. 7: Fichten mit verschiedenen Krankheitsstadien bis hin zum toten Baum. Der Bestand ist nicht mehr zu retten. Neuaufforstungen sind mit derselben Baumart unwirtschaftlich. Als Sofortmaßnahme müßten unter dem Schutz der noch stehenden schattenspendenden Altbestände standorttaugliche Bodendecker und Sträucher gepflanzt werden (Sengsengebirge – Südseite, OÖ.).



Abb. 8: Nicht nur Waldbäume, sondern auch Obstbäume, u. a. ältere, hochstämmige Mostbirn- bzw. Apfelbäume, sind durch Schademission gezeichnet (Kronenverlichtung). Neueste Schweizer Infrarotaufnahmen zeigen, daß in großen Teilen Mitteleuropas jeder 3. Obstbaum Schäden durch die Luftverschmutzung aufweist.

tochthonen Fichten-, Fichten-Tannen-, Buchenmisch- und Kiefernwälder. Praktisch haben alle wichtigen heimischen Waldbäume mehr oder weniger starke Krankheitssymptome.

Neueste Infrarotaufnahmen, durchgeführt in Vorarlberg, zeigen erschreckende Schäden an erstklassigen Waldstandorten, die von den Forstleuten bisher als kerngesund angesehen wurden. Genaue Zahlen sind nicht veröffentlicht; die Auswertung ist noch nicht abgeschlossen.

ÖKO-L 7/1 (1985)

lem in den Nördlichen Kalkalpen (z. B. Totes Gebirge, Sengsengebirge) nahmen die Schäden im Herbst 1984 besonders stark zu. Als Teilauslöser muß auch das Trockenjahr 1983 mitberücksichtigt werden.

#### Wirkungen

#### Gebäude, Kulturpflanzen, Tier und Mensch sind betroffen

Luftschadstoffe und „Saurer Regen“ wirken nicht nur auf den Wald,

maßnahmen in Milliardenhöhe (Akropolis, Kölner Dom, Stephansdom usw.) heute Trümmerhaufen wären.

● In Landwirtschaft und Gartenbau sind chronische Immissionschäden bei einjährigen Pflanzen weniger ausgeprägt als im Wald. Sie äußern sich in größerer Anfälligkeit gegenüber Schädlingen, Wachstumsveränderungen und Zuwachs- bzw. Produktionsverlusten. Akute Schäden treten vor allem um Nahemittenten auf (z. B. Nachtschattengewächse).

**Mehnjährige Kulturen, z. B. Obstbäume,** sind anfälliger gegen Immissionswirkungen als einjährige. Infrarotaufnahmen zeigen deutlich die Veränderung des Blattgrüns; eine Tatsache, die als Krankheitssymptom betrachtet werden muß. Glashausversuche haben gezeigt, daß bei Verwendung ungereinigter Luft gegenüber gereinigter die Wuchsleistung wesentlich abfällt, ohne daß an der belasteten Pflanze Schäden erkannt werden konnten.

So sind in der Schweiz in vielen Gebieten mehr als 50 Prozent der Obstbäume geschädigt. Eigene Untersuchungen und Aufzeichnungen zeigen auch in Oberösterreich, vor allem im Flyschgebiet, Alpenvorland und im Staubereich der Alpentäler erste größere Schäden an Obstbäumen wie starker Mistelbefall, vermehrt dürre Äste, weniger Blattwerk, Blattnekrosen, mehr aber kleinere Früchte und hohe Anfälligkeit gegen Schädlinge.

● Wenig untersucht ist die Auswirkung der Luftschadstoffe auf **freilebende Tierarten**. Neben den Störungen von Austauschprozessen durch Veränderung von Membranen treten allgemein eine sinkende Widerstandskraft gegen Infektionskrankheiten und genbedingte Schädigungen auf. Besonders gefährlich sind Schwermetalle und nicht abbaubare und sich akkumulierende Stoffe aus Pflanzenschutzmitteln, Düngern und Klärschlamm. Sie potenzieren sich in den einzelnen Ebenen der Nahrungskette, deren letztes Glied vielfach der Mensch selber ist. Ein Teil des enormen Artenrückganges ist eindeutig auf die Auswirkungen der Luftverschmutzung zurückzuführen.

● In den großen Ballungsräumen und in Staulagen treten bei speziellen Wetterlagen (Inversion) derart hohe  $\text{SO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Werte auf, daß die **Bronchial-, Lungen- und Herzkreislaufkrankungen** deutlich zunehmen.

Besonders bei **Kleinkindern** tritt eine Entzündung (ausgelöst durch Viren) der Bronchialverzweigungen („Pseudokrupp“) auf. Die „falschen“ Stimmbänder am Kehlkopf sind entzündet, Schleimhautverdickung und Atemnot sind die Folge. Besonders in Nordböhmen (CSSR) werden an 100 Tagen die zulässigen Höchstwerte um das 12- bis 17fache überschritten. Dadurch liegt das Knochenwachstum bei Kindern aus diesem Gebiet um zwei bis drei Jahre zu-

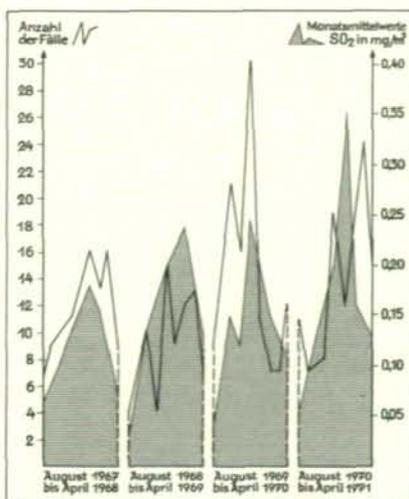


Abb. 9: Korrelation zwischen der Häufigkeit von Pseudokrupp-Anfällen (krampfartiger Husten bei Kindern) und Höhe der  $\text{SO}_2$ -Werte (Ergebnisse des Frankfurter Kinderarztes Dr. W. Bender). Leicht verändert aus B. DOST (1983).

rück. Das Blutbild ist nicht normal, die Lebenserwartung der Menschen ist um zehn Jahre gesunken. Fehlgeburten, Asthma- und Leukämieerkrankungen sind deutlich höher als anderswo. Im Herz Europas ist das Leben nicht mehr lebenswert und wenn die Entwicklung so weitergeht, auch in vielen anderen einstmal blühenden Landschaften der Industriestaaten.

#### Wie sterben die Pflanzen?

Am ehesten läßt sich der Tod einer Pflanze mit einem langsamen Dahinsiechen vergleichen, das wie Krebs

unaufhaltsam zum Ende führt. Das vom „Saurer Regen“ gelöste Aluminium zerstört die feinen Wurzelhüllen und beeinflusst die abbauenden und zersetzenden Kleinlebewesen. Ein Teil des Baumsterbens wirkt über den Wasserhaushalt. Trockenschäden treten in der Endphase auf. Das heißt, daß Trockensommer die Entwicklung beschleunigen, aber nicht verursachen. Die Schadstoffe wirken vor allem auf die Spaltöffnungen der Nadeln und Blätter, die mit einer Schließzelle gesteuert werden. Diese Spaltöffnungen regulieren die Zufuhr von  $\text{CO}_2$  und den Verlust von Wasser. Gesunde Bäume schließen in Stresssituationen ihre Spaltöffnungen während der heißen Mittags- und Nachmittagszeit, damit sie die Feuchtigkeit behalten; sie verzichten dadurch zugunsten des Wasserhaushaltes auf die Assimilation.

Vor allem durch Schwefeldioxid und Photooxidantien wird der Steuerungsmechanismus der Spaltöffnungen und auch die schützende Wachsschicht zerstört. Die Spalten bleiben offen, der Baum trocknet hilflos aus. Einen völlig anderen Wirkmechanismus haben jene Schadstoffe, die, gelöst in Form von Säuren und Schwermetallen, die Nährstoffaufnahme und Wurzelatmung im Feinwurzelbereich stören. Es kommt zur Auswaschung der Nährstoffe aus dem Boden, zur Zerstörung der wichtigen Pilzsymbiosen, z. B. der Mykorrhiza (BLASCHKE 1980), die für die Nährstoffaufnahme eine wichtige Funktion erfüllen. Ebenso kommt es zur Beeinträchtigung der



Abb. 10: Die Gelbfärbung von Laubbäumen (z. B. Esche) lange vor der Herbstverfärbung ist ein deutliches Krankheitszeichen. Der Eschenbestand weist in OÖ. gebietsweise Schädigungsgrade über 40 Prozent auf (Scharnstein, OÖ. - 1983).

Bodenorganismen, die für die Mineralisierung der organischen Abfallstoffe notwendig sind.

Die Folge ist eine generelle Schwächung des Gesundheitszustandes, ähnlich wie beim Menschen die Immunschwäche. Die Bäume werden anfällig für alle Arten der Schädigung durch Pilze, Bakterien und Schadinsekten.

### Die Bilder des Sterbens

Die Nadelbäume (siehe Abbildungen S. 10) zeigen äußerlich in der ersten Krankheitsphase eine Verlichtung im Kronenbereich, die Gelbfärbung der Nadeln und das berühmte Lamettasyndrom (kleine Nadeläste hängen wie Christbaumlametta herunter). Vor allem bei der Tanne kommt es zur Ausbildung des „Storchennestes“, einem vermehrten Brei-

Auftreten von Pilzkrankheiten. Die Blätter vergilben schon im Spätsommer und fallen früher ab. Es kommt zu Wuchsveränderungen, zum sogenannten „Besenwuchs“ (Verlängerung einzelner Astbereiche, bei gleichzeitiger Verminderung des Blattansatzes).

Die ungeheuren Schadstoffmengen kommen entweder in Verbindung mit den Niederschlägen oder durch Ausfilterung von Staub wieder auf die Erde zurück. Sie wirken also direkt oder indirekt über den „Saurer Regen“.\*

### Mit Strahlung geht's schneller – Atomkraft ein Ausweg?

Neue Schadenskartierungen aktualisieren eine vergessene Untersuchung. Radioaktivität und Schwefel-

1984 b). Er kartierte neben Wittichen auch sechs Uranerzlager im Fichtelgebirge und Schwarzwald. Dabei wirkt die Radioaktivität nicht direkt, sondern in Kombination mit dem SO<sub>2</sub>. Kartierungen im radioaktiven Einflusbereich von Atomkraftwerken lassen ebenfalls diesen Schluß zu. Der genaue Zusammenhang ist bis ins letzte Detail nicht erforscht.

### Die Wirkung auf das Ökosystem Wald

Die Wirkung von Schadstoffen in der Umwelt dürfen nie auf eine einzige Tier- oder Pflanzenart bezogen werden; betroffen ist immer das gesamte Ökosystem. In dieses ist die geschädigte Art über komplizierte Stoff- und Energieflüsse eingebunden. Die Stabilität des Ökosystems Wald beruht auf der Fähigkeit, nach einer



Abb. 11: Querschnitt eines Fichtenstammes (abgestorben 1983, gefällt 1984). Die Jahresringe zur Stammmitte zeigen normalen Zuwachs (1 – 2 mm). Die letzten 15 Jahresringe (außen zur Rinde liegend) weisen Zuwächse von 0,2 – 0,5 mm aus. Ein Zeichen der Schädigung der Stoffproduktion (Isergebirge – CSSR, 1984).

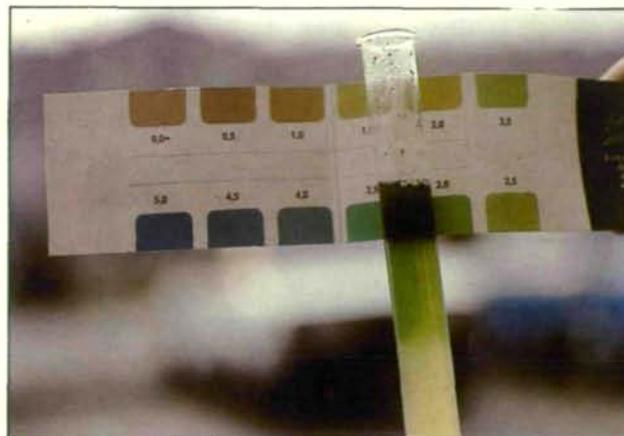


Abb. 12: Der pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration, pH 7 = neutral) der Böden (normal pH 5 – 6) ist auf Werte von pH 2 bis pH 4 abgesunken. Unter pH 2,5 ist für die meisten Bodenlebewesen das Leben unmöglich. Damit ist der für den Wald lebenswichtige Nährstoffkreislauf „Produzent – Konsument – Zersetzer“ unterbrochen; das Ökosystem bricht zusammen.

tenwachstum im Wipfelbereich. Es kommt zum Abfall der älteren Nadeljahrgänge, die Bäume haben immer weniger assimilierendes Blattmaterial und lichten sich weiter auf, bis sie einen gespenstischen, zerrupften Eindruck machen.

Die Laubbäume galten lang als wesentlich widerstandsfähiger gegen Umweltschäden. In Wirklichkeit sind sie jedoch ähnlich empfindlich wie die Nadelbäume. Weil sie die Blätter jedes Jahr abwerfen, können sie sich eine Zeit lang der Schadstoffe entledigen. Der Krankheitsverlauf verläuft jedoch, wenn er optisch erkennbar wird, in einem viel rascheren Tempo. Bei Buchen, Eschen, aber auch bereits bei Eichen und Ahornen zeigt sich ein vermehrtes

dioxid in geringeren Mengen kann explosionsartig giftige Schwefelsäure ergeben. Als Beispiel wird die Silber- und Kobaltgrube Sofia bei Wittichen angeführt. Ebenso wurden in der Bundesrepublik in der Nähe von Kernkraftwerken wesentlich größere Schadensprozentsätze ermittelt. Eindrucksvoll sind die Arbeiten von Prof. Dr. Günther Reichelt (O. V.

\* Ohne Fremdeinflüsse haben Niederschläge einen pH-Wert von 5,6. In Österreich wurden aber bereits pH-Werte unter 4 gemessen. Der pH-Wert (Wasserstoffionen-Konzentration) ist ein Maß für Säure- und Laugencharakter. Die pH-Skala reicht von 0 bis 14. Der Neutralpunkt liegt bei pH 7. Der pH-Wert ist logarithmisch festgelegt, d. h., das Absinken um eine Einheit versauert den Boden um das Zehnfache.

Störung innerhalb eines bestimmten Zeitraumes durch Selbstregulation wieder zur Ausgangssituation zurückzufinden. Der Wald hat nach der Eiszeit bis zum Beginn großer Eingriffe durch den Menschen die höchste Stabilität von allen Land-Ökosystemen bewiesen. Die Eingriffe des Menschen durch Schadstoffe in das Ökosystem Wald greifen sehr tief. Es ist daher ähnlich wie z. B. bei den Fließwasser-Ökosystemen ein „Umkippen“ zu befürchten. Betroffen ist das gesamte Artengefüge, von den Begleitpflanzen (meist Kräuter, Farne, Flechten, Moose . . .) und den Waldtieren bis zu den Mikroorganis-

Im Anschluß folgen vier Seiten zusätzliche Hintergrundinformationen.  
Textfortsetzung Seite 14.

Abb. 1: FICHTE GESUND



- dichte Benadelung
- Stamm nicht sichtbar
- Nadelverlust weniger als 10 Prozent
- 7 – 8 Nadeljahrgänge vorhanden

Abb. 2: FICHTE KRÄNKLND



Schadstufe 1

- beginnende Kronenverlichtung
- Nadelverlust 10 bis 20 Prozent
- einzelne Seitenzweige beginnen herabzuhängen

# So stirbt der Wald

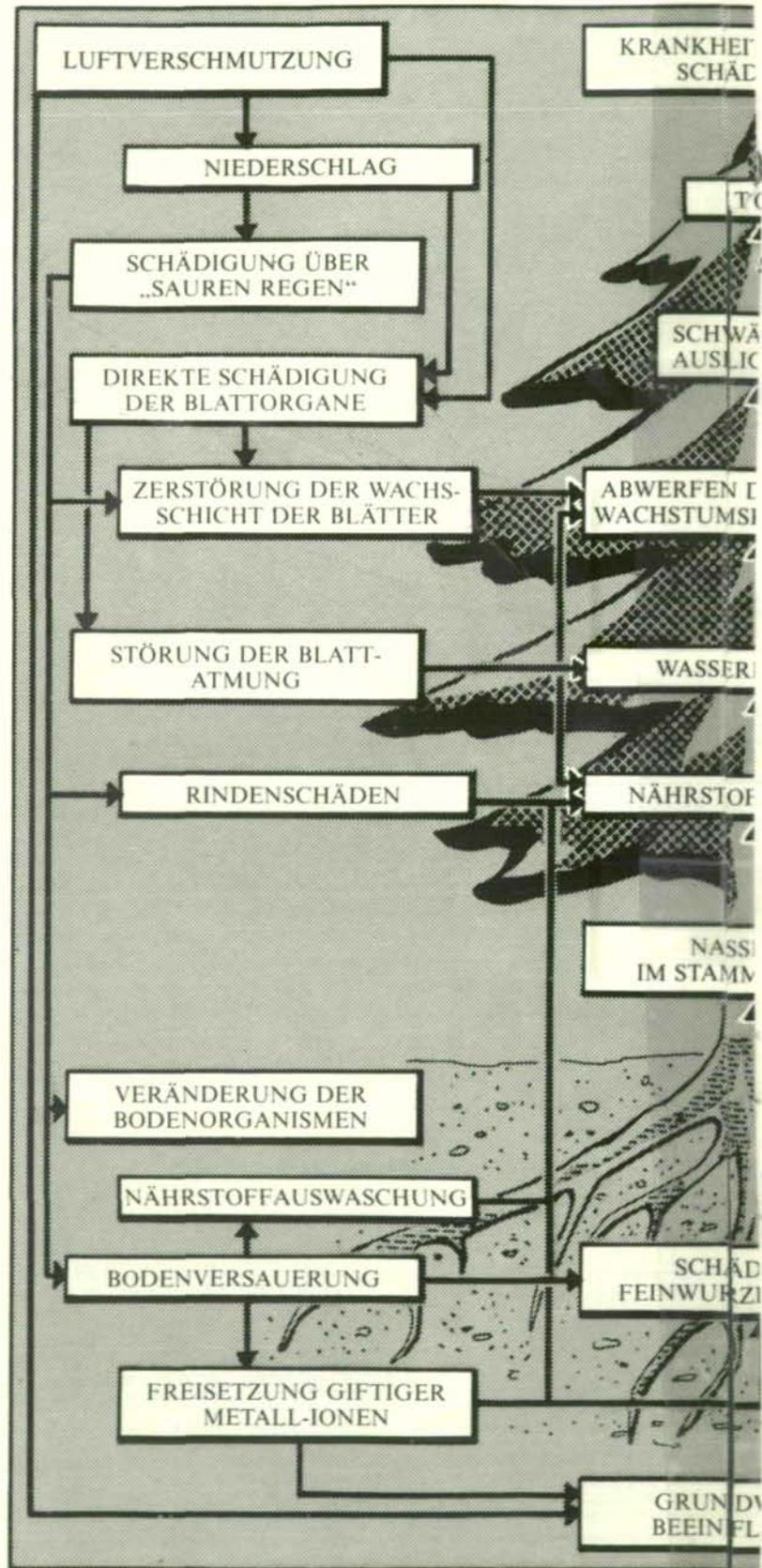


Abb 1 bis 4: Waldschäden erkennen.  
(Informationsbroschüre der SPÖ OÖ. zum Jahr des Waldes 1984, Linz.)

Zusammenstellung (S. 10 – 13)  
Friedrich SCHWARZ, Naturk. Station der Stadt Linz

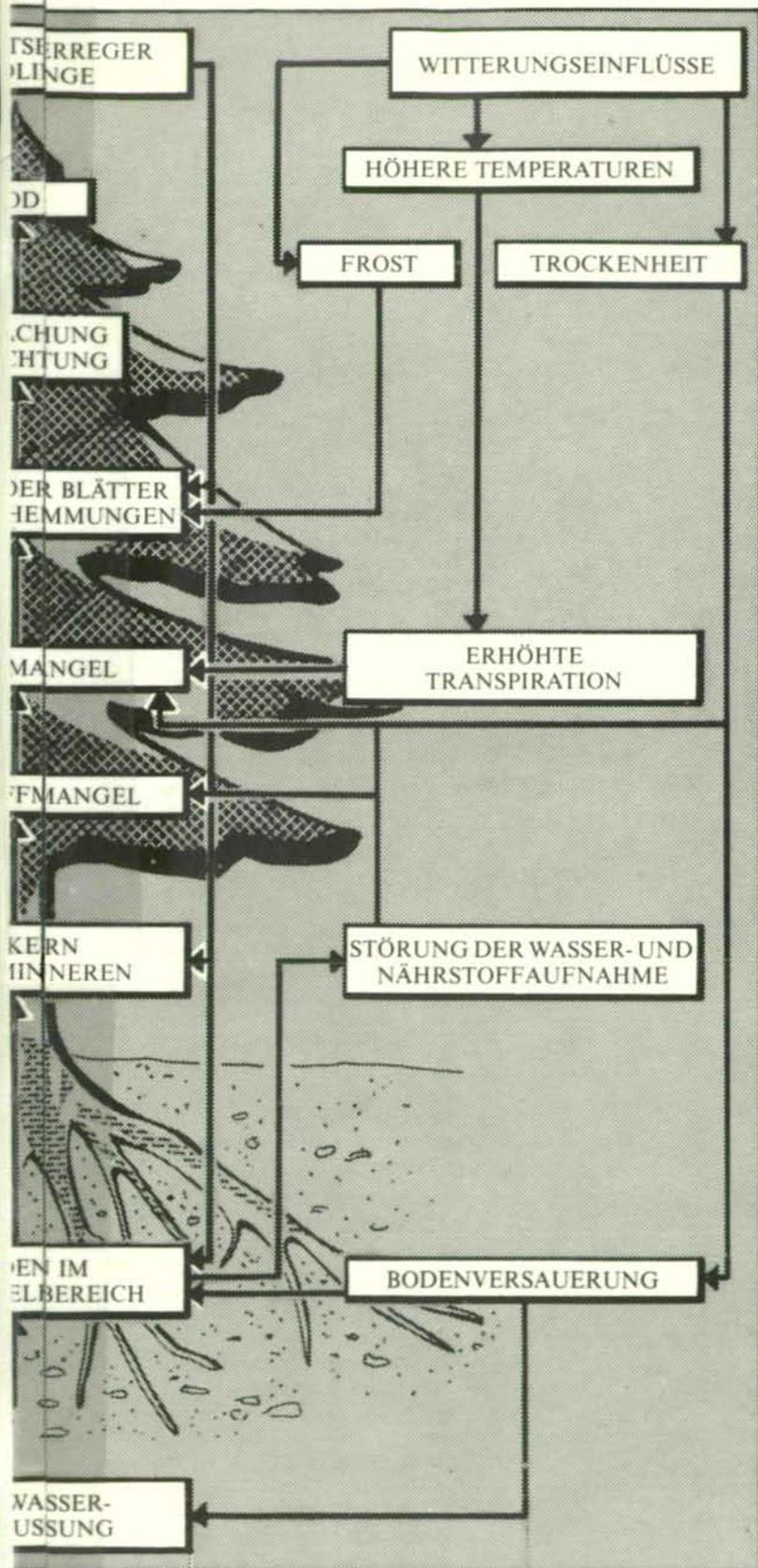
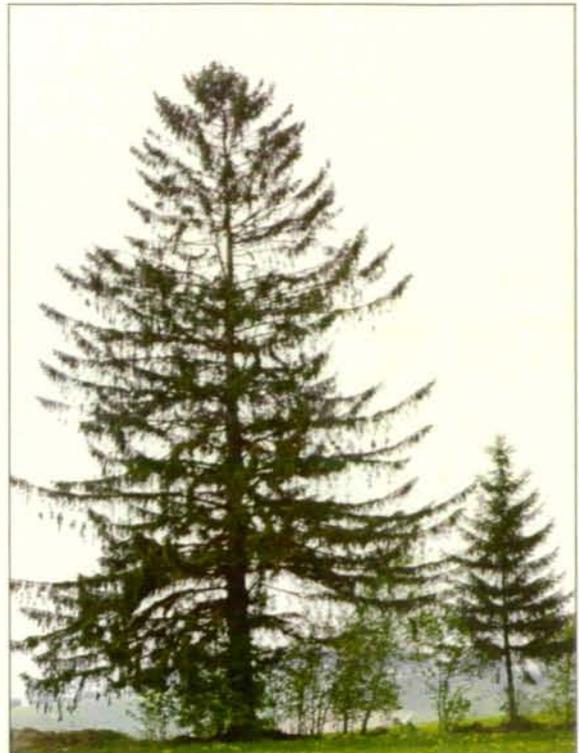


Abb. 5: Schema der Waldschadensfaktoren und ihrer Auswirkungen.  
(Unterricht Biologie, H. 99 (Nov. 1984), S. 7.)

ÖKO-L 7/1 (1985)

Abb. 3: FICHTE KRANK



**Schadstufe 2**

- Krone deutlich verlichtet
- Nadelverlust 25 bis 60 Prozent
- Seitenzweige hängen schlaff herunter („Lamettasyndrom“)

Abb. 4: FICHTE STERBEND



**Schadstufe 3**

- Krone stark verlichtet, einzelne Äste abgestorben
- Nadelverluste mehr als 60 Prozent
- Seitenzweige nur mehr gering benadelt



Abb. 6: Gesunder Laub-Naturmischwald im Urwald Rothwald/Lunz, NÖ.  
Foto: K. Zukrigl

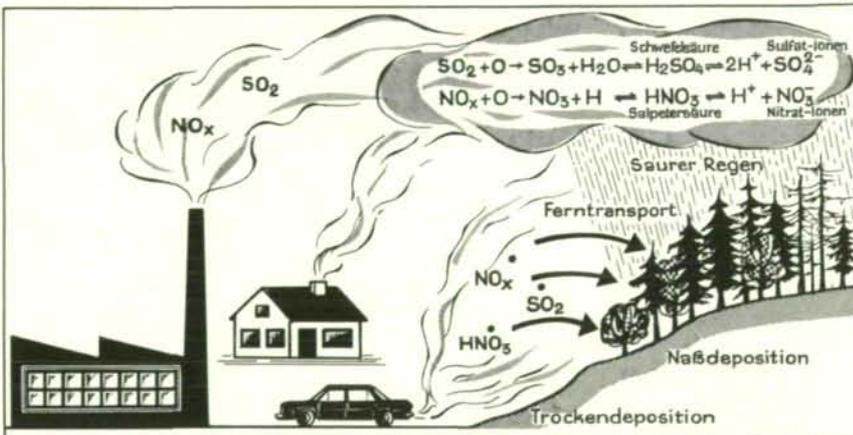


Abb. 7: Schematische Darstellung der Abläufe in der Atmosphäre, die zum sauren Regen führen. (SCHWEDISCHES LANDWIRTSCHAFTSMINISTERIUM: Die Versauerung – eine grenzenlose Bedrohung der Umwelt. Solna, 1983).



Abb. 8: Über 80.000 ha sind allein im Erzgebirge, das im Grenzbereich zwischen der Tschechoslowakei und der DDR nordöstlich von Karlsbad liegt, völlig abgestorben. In einer Höhenlage von 700 bis 1000 Meter fährt man kilometerlang nur noch an Baumskeletten vorbei. Das Bild zeigt das „ökologische Trümmerfeld“ am Plateau südöstlich von Oberwiesental (Erzgebirge, ČSSR, 1984).  
Foto: K. Rußmann

## Der „Saure Regen“ – seine Ursachen und Auswirkungen

Als **Hauptverursacher** der Versauerung der Umwelt gelten Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ). Je länger sich  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  in der Luft aufhalten, um so wahrscheinlicher ist es, daß diese Gase in der Luft oxidiert werden, wobei sich Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) bilden. Diese so entstandenen Säuren bewirken, daß das Regenwasser sauer reagiert. Ohne Luftverschmutzung hat Regenwasser einen pH-Wert von 5,6, der dadurch zustande kommt, daß sich Kohlendioxid in der Atmosphäre zu Kohlensäure verbindet. Allen Säuren ist gemeinsam, daß sie, wenn sie mit Wasser in Verbindung treten, Wasserstoffionen abgeben. Ein Großteil der sich in der Luft befindlichen, im Wasser gelösten Schwefelsäure zerfällt demnach in Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) und Sulfationen ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) in Wasserstoff- und Nitrationen ( $\text{NO}_3^-$ ). Die Menge der freien Wasserstoffionen bestimmt den Säuregehalt der Lösung.

Der mittlere pH-Wert der seit 1970 gemessenen Niederschlagsproben liegt bei 4,1, im Riesengebirge wurden schon pH-Werte von 2,8 gemessen. Extremwerte kennt man aus Schottland mit 2,4.

Die **Auswirkungen** sind entsprechend **gravierend**: die **Versauerung** bewirkt neben der direkten Schädigung der Pflanzen eine Störung des biologischen Gleichgewichts im Boden (Veränderungen der Organismenwelt, Freisetzung giftiger Aluminium-Ionen, Schädigung des Wurzelsystems). Neben den Hauptschadstoffen  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$ , kommt es unter Einwirkung von Sonnenlicht auch zur Bildung von sogenannten **Photooxidantien**, wie z. B. Ozon ( $\text{O}_3$ ), Peroxiacetylnitrat (PAN) oder Peroxibenzolnitrat (PBN).

Diese sekundären Giftstoffe entstehen folgendermaßen: Stickoxide und Kohlenwasserstoffe bilden bei sonnigem Wetter ein toxisches Reaktionsgemisch: Das Sonnenlicht läßt aus Stickoxiden und Sauerstoff Ozon entstehen, das u. a. die Zellmembranen der Pflanzen angreift. Ozon reagiert ferner mit reaktiven Kohlenwasserstoffen (HC) zu den sehr aggressiven Peroxiradikalen, diese wiederum mit anderen Kohlenwasserstoffen zu besonders pflanzengiftigen Photooxidantien, wie PAN. Dieser „photochemische Smog“ entsteht vor allem in der scheinbar sauberen Luft fernab von Ballungsgebieten.

## Der aktuelle Waldzustand in Oberösterreich

Auszug aus der Waldschadensinventur 1984

Das Waldsterben, oder – wie es offiziell heißt – die Vitalitätsminderung des Waldes, hat sich in den letzten Jahren zu einem gravierenden und viel diskutierten Problem entwickelt. Die Bilder großflächig abgestorbener Wälder im Erzgebirge (siehe Titelbild) haben aufgerüttelt und es stellt sich die Frage: Wird es auch bei uns dieselbe Entwicklung geben? Ist in zehn Jahren unser Wald auch tot? In den 60er und 70er Jahren wurden dort jene Symptome festgestellt (und nicht ernstgenommen), die jetzt in unseren Wäldern auftreten. Es entsteht zwangsläufig der Eindruck, wenn man die Schadensziffern der letzten Jahre vergleicht, daß das Ökosystem Wald mit exponentiell ansteigender Geschwindigkeit stirbt.

Besonders in den traditionellen oberösterreichischen Rauchschadensgebieten wie Lenzing, Ranshofen oder Pfenningberg bei Linz, wo schon 1941 die ersten Schäden festgestellt wurden, nahm das Ausmaß der Schädigungen rapid zu. Es fehlt zwar nicht an Versuchen und Absichtserklärungen, dem Waldsterben Einhalt zu gebieten. Wieweit diese jetzt einsetzenden Maßnahmen jedoch rechtzeitig und großräumig eingreifen, um das Voranschreiten des Waldsterbens zu stoppen, wird die Zukunft zeigen.

### Umfang der Schäden

Die neueste Waldschadensinventur, die 1984 von der Forsttechnischen Abteilung der oö. Landesregierung erstellt wurde, ergab, daß insgesamt rund 163.000 ha (33,7 % der Gesamtwaldfläche) als nicht mehr gesund (siehe Abb. 9) anzusehen sind. Zum Vergleich: Im Herbst 1983 wurde vom oö. Landesforstdienst eine visuelle Zustandserhebung durchgeführt, die einen Schadensanteil von 79.000 ha (16,3 % der Waldfläche) ergab, was einer Verdoppelung der Schadensfläche innerhalb eines Jahres entspricht.

Diese Waldschadensinventur hat die zuverlässige Erfassung des Gesundheitszustandes des Waldes zum Ziel. Bei jährlicher Wiederholung können dadurch Veränderungen bzw. Trends festgestellt werden.

### Methodik der Erfassung

In 256 Probeflächen (4 × 4-km-Raster) wurden insgesamt 7819 Probebäume nach einheitlichen Kriterien beurteilt, wobei die Fichte mit 7685 Exemplaren im Vordergrund stand. Die beiden wichtigsten Erhebungsmerkmale bei dieser Baumart sind:

- Kronenzustandsform und Entnadelungstyp und
- Zustand der Wipfelregion.

Aufgrund der gleichmäßigen Verteilung

der Probeflächen über das gesamte Bundesland und des hohen Anteils der Fichte an der Baumartenzusammensetzung kann die Fichte als Indikator für den Gesundheitszustand des gesamten oberösterreichischen Waldes herangezogen werden.

### Ergebnisse

Von den untersuchten Fichten wiesen 31,3 Prozent eine schwache Verlichtung auf, 2,2 Prozent waren mittelmäßig und 0,2 Prozent stark verlichtet. Die Auswertung ergab weiter, daß jüngere Bestände (unter 60 Jahre) weniger stark geschädigt sind als ältere. Daraus kann man schließen, daß diese scheinbar vitaler und da-

dioxid sind u. a. die Stickoxide und deren Umwandlungsprodukte, die Photooxidantien (z. B. Ozon), von Bedeutung. (In Österreich werden jährlich 440.000 t SO<sub>2</sub> und 234.000 t NO<sub>x</sub> in die Atmosphäre freigesetzt. Aus: Die Umweltsituation in Österreich, Teil 1: Luft, BI f. Gesundheitswesen, Wien, 1981.)

In Gebieten, in denen es u. a. durch den Ferntransport zu Schäden kommt (sog. „Reinluftgebiete“), trägt i. w. das Nitrat als Säurebildner im Regenwasser zur Versauerung bei, während in Ballungsgebieten das Sulfat stärker in Erscheinung tritt. Es müssen demnach alle Komponenten betrachtet werden, da es sich nicht um ein monokausales Symptom handelt. Noch

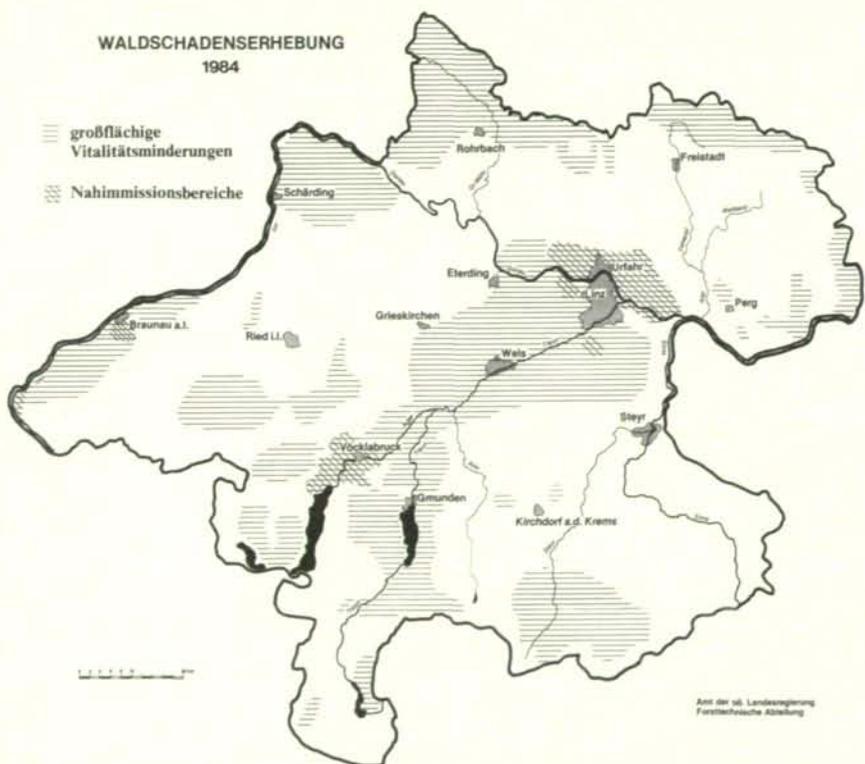


Abb. 9: Waldschadenserhebung 1984, Amt der oö. Landesregierung, Forsttechnische Abteilung.

mit widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse sind. Kein Unterschied hingegen konnte bei der Schadensverteilung zwischen Alpenvorland, Mühlviertel und Kalkalpen, d. h. nach dem geologischen Untergrund, gefunden werden. Einzig in der Flyschzone ist der Schadensanteil etwas geringer. Ferner sind Einzelbäume, die über das Kronendach hinausragen, den Schadstoffen stärker ausgesetzt und deshalb auch stärker geschädigt (Schadensanteil 40 %).

Die umfangreichen Meßergebnisse haben bestätigt, daß neben den eigenen hausgemachten Luftverunreinigungen auch Fernimmissionen aus Nachbarstaaten wirksam werden. Neben dem Schwefel-

weitgehend unerforscht ist beispielsweise, wie die einzelnen Schadstoffe zusammenwirken. Dazu kommen noch andere Streßfaktoren wie Frost, Trockenheit, etc., die diese Schäden verstärken können. Trotz der Einrichtung umfangreicher Meßstellennetze, die über das gesamte Bundesland verteilt sind, gilt es, das Übel an der Wurzel zu packen; d. h., Minimierung der Schadstoffabgabe und Schaffung von Gesetzen und Grenzwerten, die sich an dem empfindlichen Ökosystem Wald orientieren!

**Quelle:** Amt der oö. Landesregierung – Forsttechnische Abteilung – Waldzustandsinventur – Ergebnisse 1984. Unveröffentl. Manuskript, Linz 1984.

men im Boden. Durch relativ geringe Schadstoffkonzentrationen, die über sehr lange Zeiträume wirken, entstehen unsichtbare physiologische Schäden, die sich bei Pflanzen durch Zuwachsverluste und der Herabsetzung der Widerstandskraft gegen Extrembedingungen (Witterung, Schädlinge) äußern. Erst in der Endphase treten optisch deutlich erkennbare Schäden auf, die nicht mehr rückgängig gemacht werden können. Durch den theoretisch angenommenen Stopp der Schadeinflüsse gelingt im besten Fall ein um Jahre verzögerter Stillstand des Schadensverlaufs. Vor allem bei älteren Beständen kommt es dann trotzdem zum Absterben.

Wesentlich verschärft wird die Situation in der Natur durch „synergetische Wirkungen“, also sich überproportional verstärkende Wirkung mehrerer Schadstoffe auf das Ökosystem. Dadurch stellt sich die derzeitige Praxis, für die verschiedenen Luftschadstoffe Grenzwerte festzusetzen, die meistens unter Laborbedingungen ermittelt werden, als nicht erfolversprechend heraus. Die Natur respektiert auf Dauer keine Grenzwerte, sie puffert die negativen Wirkungen einige Zeit ab, bis ein Kippunkt erreicht wird. Dann schlägt sie erbarmungslos zurück.

Die **Schadstoffe** führen, einzeln betrachtet, im Wald zu folgenden **Wirkungen**:

- **Säureeintrag in den Boden:** dadurch wird das Basen-Säureverhältnis gestört; durch die Pufferung wird die Säure angereichert, der Boden verliert seine basischen Nährstoffe mit dem Sickerwasser.

- **Tonmineralzerstörung und Aluminiumfreisetzung:** Aluminium, ein Hauptbestandteil der Tonminerale, wird durch die Säure herausgelöst. Die Aluminiumionen besetzen die Austauschplätze an der Oberfläche des Tonmineralkomplexes,  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  (Kernbaustein des Chlorophylls) werden verdrängt.

Bei einem Absinken unter den pH-Wert 4 gelangt das Aluminium in Form des hochgiftigen, dreifach positiv geladenen Al-Ions in die Bodenlösung. Durch die Auswaschung von  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  kommt es zur Schädigung des Wurzelsystems und zu Mangelerscheinungen im photosynthetisch aktiven Pflanzenmaterial. Durch die negative, vor allem auch durch Schwermetalle verursachte, Wirkung auf die Zersetzer- und die

Konsumentenketten kommt es zu einer weiteren Destabilisierung des Ökosystems. Viele weitere Wirkkomponenten der Schadstoffe im Ökosystem sind wenig erforscht, wie die Störung von Phytohormonen, Verringerung der Pufferwirkung gegenüber Säuren in Blatt und Rinde, Beeinträchtigung des Stoffwechsels und der Photosynthese.

Die einzelnen Theorien über die Ursachen der Waldschäden widersprechen sich im Grunde nicht, allerdings dürften sie je nach Klimlage, Gesteinsuntergrund und sonstiger Eingriffe durch den Menschen (z. B. Holznutzung,\* Streunutzung,\* Anwendung von Herbiziden, Fungiziden, Pestiziden) verschieden zum Tragen kommen.

Zusammenfassend kann man von zwei großen Wirksystemen der Schadstoffe auf das Ökosystem Wald sprechen:

- über die Blätter und Rinde direkt in fester (Staub), gasförmiger oder flüssiger Form oder

- über den Boden, vor allem in flüssiger Form.

Die einzige Möglichkeit, die als Gegenmaßnahme in Frage kommt, ist die sofortige Reduzierung der Schadstoffbelastung der Luft, und zwar auf den Wert, den auf Dauer die lebenden Systeme verkraften.

#### Folgen der Luftverschmutzung

Im Detail sind die Folgen, die durch die Luftverschmutzung entstehen, nicht voraussagbar. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen und des erarbeiteten Grundlagenwissens kann man jedoch die künftigen Probleme grob einschätzen.

Die Folgen für die Forstwirtschaft und dadurch für die Volkswirtschaft werden in einem eigenen Artikel (ANDERL, S. 26–29) in diesem Heft behandelt, deshalb gehe ich nicht näher darauf ein. Ich beschränke mich daher auf eine kurze Übersicht einzelner ökologisch wirksamer Folgen:

- Die Lawinen- und Steinschlaggefahren wachsen, einzelne Alpentäler werden unbewohnbar.

\* Durch die Holz-, vor allem aber durch die Streunutzung kommt es ebenfalls zu einem indirekten Säureeintrag, da das Holz und die Streu nicht im Wald, sondern außerhalb des Ökosystems abgebaut werden und so die Mineralstoffe nicht wieder in den Boden rückgeführt werden.

- Der Bodenabtrag durch Erosion nimmt stark zu; im Kalkgebiet folgt die Verkarstung.

- Die Murenabgänge werden häufiger.

- Die Wasserqualität nimmt ab, da der Boden als Filter unwirksam wird; die Trinkwasserversorgung ist gefährdet.

- Der Grundwasserspiegel sinkt durch den Rückgang der Speicherwirkung.

- Überschwemmungskatastrophen werden häufiger, die Hochwasserspitzen steigen stark an.

- Die Wasserverdunstung, die Kohlendioxidbindung und die Sauerstoffproduktion gehen zurück.

- Die Filterfunktion für Staub und Luftschadstoffe geht verloren.

- Die Klimasituation wird extremer (heiße trockene Sommer, kalte Winter); dadurch geht die Produktion von Biomasse sowohl im Wald als auch in der Landwirtschaft zurück.

- Die austrocknende und erosionsgefährdende Windwirkung nimmt zu.

- Die Schutz- und Erholungsfunktion entfällt.

- Die Tier- und Pflanzenvielfalt geht stark zurück.

- Die natürliche Schädlingsbekämpfung entfällt.

- Der Wert der Landschaft geht verloren.

- Der Tourismus geht sowohl im Sommer als auch im Winter stark zurück.

#### Der Einfluß auf den Wasserhaushalt

In Gebieten mit silikatischem Untergrund hat der „Saure Regen“ längst Tausende Seen und Flüsse aus dem biologischen Gleichgewicht gebracht. In Kalkgebieten stellt sich dieselbe Wirkung nach der Erschöpfung der Pufferkapazität ein. Als direkte Folgen treten die Versauerung der Oberflächengewässer, das Absterben der meisten Wassertiere, die Belastung mit Nitraten und Schwermetallen und die vermehrte Korrosion von Wasserbehältern- bzw. -leitungen auf. Durch die fehlende Speicherwirkung des Bodens wird die Schüttung von Wasserquellen kleiner, das Wasser verliert seine Trinkwasserqualität.

Durch den Rückgang des Bodenlebens gehen die Bodenporosität und der Feinwurzelaanteil stark zurück –

der Oberflächenabfluß nimmt zu.

Die Nährstoffauswaschung sowie die Anreicherung mit Säuren, Schwermetallen und Aluminium verschlechtern rapid die Wasserqualität.

### Folgen für das Klima

Es gilt als sicher, daß die Luftverschmutzung einen direkten Einfluß auf das Klima hat. Riesige Dunstschichten, bestehend aus Sulfatpartikeln und Staubteilchen, über Europa und Nordamerika verändern Ein- und Ausstrahlung von Wärme und Licht. Dadurch kommt es langfristig zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur. Die Eismassen werden kleiner, die Trockengebiete dehnen sich weiter aus.

Aber auch der enorme Rückgang der Waldbiomasse hat Klimafolgen: Die Strahlungsabsorption geht zurück, die Verdunstung und damit die Kühlwirkung durch den Entzug der Verdunstungswärme nimmt lokal ab; vor allem Stadtgebiete erwärmen sich übermäßig.

### Auswirkung auf die Artenvielfalt

Der größte Teil der Wildtiere und -pflanzen wird mit dem Wald sterben. Ganze ökologische Systeme brechen zusammen. Welche Auswirkung ein Verlust nur einer einzigen Art nach sich ziehen kann, soll die Biene verdeutlichen:

Durch die Schadeinwirkung gehen die honigspendenden Pflanzenläuse nach einer kurzen Bestandszunahme stark zurück. Dadurch geht die Hauptnahrungsquelle für die Bienen verloren, da die Blütentracht durch die intensive Landwirtschaft ebenfalls schon stark reduziert ist. Es kommt zu einem drastischen Rückgang der Wildbienen, aber auch die Imkerei wird unrentabel. Als direkte Folge würden viel Wild- und Kulturpflanzen nicht mehr bestäubt, was einen zusätzlichen starken Rückgang der Blütenpflanzen nach sich ziehen würde.

### Gegenmaßnahmen

Gleichzeitig mit dem totalen Einsatz aller möglichen Maßnahmen muß eine fundierte Aufklärung der Bevölkerung mit allen derzeit zur Verfügung stehenden Mitteln über das wirkliche Schadensausmaß und die Folgen durchgeführt werden. Bisher hat man allzuviel beschwichtigt und die Dinge zu optimistisch gesehen.

ÖKO-L 7/1 (1985)

So gibt es von wichtigen staatlichen Stellen, wie etwa den „Österreichischen Bundesforsten“ als Hauptbetroffene nicht viel mehr als „Schweigen im Walde“. Nur eine lückenlose und ehrliche Darstellung des Problems in der Öffentlichkeit wird bei der Mehrzahl der Staatsbürger die Bereitschaft auch für einschneidende Maßnahmen entstehen lassen.

### Vermeintliche Lösungen – keine Rettung für den Wald!

Die **Kalkung** und **Düngung** mit anderen Mineralstoffen kann sich an einigen Standorten als sinnvoll erweisen. Die Bodenversauerung kann nicht rückgängig gemacht werden, da die Einwirkung des Düngers viel zu langsam voranschreitet. Eine Düngung des Waldbodens ist immer ein schwerwiegender Eingriff in den Stoffkreislauf des Ökosystems. Negative Wirkungen, wie Humuschwund, Mineralstoffauswaschung und Grundwasserverseuchung sind neben den hohen Kosten meistens die Folgen.

Die Entwicklung und Erzeugung von verschiedenen chemischen **Verdunstungsschutzmitteln** auf ligninähnlicher Basis wurde hochgejubelt. Das Mittel mag im Gartenbau und für Baumsetzlinge einen Schutz gegen Austrocknung und Pilzbefall bewirken. Den Wald damit zu behandeln, ist schon aus ökologischen und technischen Gründen undenkbar, abgesehen von den hohen Kosten.

Die Züchtung **resistenter Baumarten** ist bestimmt bis zu einem gewissen Grad möglich. Man benötigt aber Jahrzehnte bis zu ersten Erfolgen und weitere für eine großflächige Anwendung. Aus Zeitgründen scheidet auch diese Maßnahme aus; tiefgreifende ökologische Nebenwirkungen liegen auf der Hand.

Ebenso absurd finde ich die Vorschläge, **Baumarten aus anderen Vegetationsgebieten**, womöglich noch aus anderen Erdteilen, als Ersatz zu pflanzen. Man hat heute genug Erfahrung mit den Nebenwirkungen solcher Einbürgerung fremder Florelemente; sie sind größtenteils negativ verlaufen.

Als wichtigste Maßnahmen bleiben daher die rigorose Reduzierung aller waldschädigenden Luftschadstoffe, Sparmaßnahmen und waldbauliche bzw. vegetationskundliche Hilfen. Aufgrund der Vielzahl erforderlicher Maßnahmen ist hier nur eine stichwortartige Erwähnung möglich (Rei-

hung nach Wichtigkeit):

### Technische Maßnahmen

#### Energiesparen

ist die wichtigste aller Maßnahmen, denn sie hilft zugleich Kosten und wertvolle Energieträger zu sparen.

● **Kraft-Wärme-Koppelung:** ein Kraftwerk erzeugt Strom und nutzt gleichzeitig die Abwärme.

● **Dezentrale Erzeugung:** Leitungsverluste sind geringer, die Anpassung an den ständig wechselnden Bedarf ist günstiger.

● **Bessere Wärmeisolation:** 40 Prozent der Primärenergie könnte im Wärmebereich eingespart werden.

#### Kohle-, Öl- und Rauchgasentschwefelung

Durch die Schwefelreduzierung vor der Verbrennung von Öl und Kohle lassen sich die SO<sub>2</sub>-Emissionen bis zur Hälfte reduzieren. Damit werden auch viele an den Schwefel gebundene Schwermetalle reduziert. Über 200 Verfahren zur Rauchgasentschwefelung werden derzeit angeboten. Die meisten Verfahren wurden in Japan und den USA entwickelt. Es gibt Trocken- und Naßverfahren, die vor allem Kalk einsetzen, wobei Gips entsteht (STAUDINGER 1983).

Weiterentwickelte Verfahren vermeiden Gips und damit den erheblichen Kalkverbrauch durch Anwendungen von Recyclingverfahren. Es entsteht Schwefelsäure. Diese Anlagen reduzieren den SO<sub>2</sub>-Gehalt um bis zu 95 Prozent. Zusätzlich werden in diesen Anlagen Elektrofilter (KREMER 1983) eingesetzt.

#### Stickoxid-Reduktion bei Kohlekraftwerken

Bei der Wirbelschichtfeuerung liegen die Temperaturen niedriger (700 bis 900 °C) als bei herkömmlichen Feuerungen. Damit wird die Bildung thermischer Stickoxide ganz vermieden. Übrig bleiben die Brennstoffoxide. Eine Reduktion um zirka 50 Prozent wird erreicht. Beim Stufenbrenner wird die Verbrennungsluft stufenweise zugeführt. Beide Verfahren kombiniert ergeben NO<sub>x</sub>-Reduktionen bis zu 60 Prozent. In Japan erreicht man mit Einblasverfahren in katalytischen Reaktionskammern eine Reduzierung um 90 Prozent.

Durch die Anwendung aller heute verfügbarer Maßnahmen einschließ-

lich dem Energiesparen lassen sich die Luftschadstoffe aus diesen Erzeugungsbereichen um bis 98 Prozent reduzieren.

#### Automobil

Völlig neue abgasfreie Motortypen (Elektro, Wasserstoff) sind im Erprobungsstadium und werden frühestens Ende der neunziger Jahre zum Tragen kommen. Bei den herkömmlichen Verbrennungsmotoren (Otto- und Dieselmotoren) wird man durch bessere Einstellung, neue Techniken (Stufenladung, Einspritzsysteme), Katalysatoren, Kraftstoffzusätze und bleifreies Benzin bzw. Alternativkraftstoffe wie Flüssiggas und Alkohole bei den Abgaswerten Reduktionen bei NO<sub>x</sub>, CH, CO, Blei und Ruß erzielen.

Als billigste Sofortmaßnahme gilt unbestritten die Temporeduzierung. Tempo 80 bis 90 auf Autostraßen und Tempo 100 bis 110 auf Autobahnen helfen nicht nur Treibstoff sparen (bis zu 40 Prozent), sondern verringern den Schadstoffanteil dementsprechend.

#### Hausbrand

Einsatz von Fernwärme, Einzelöfen mit Holzfeuerung bei Ausnutzungsgraden von 90 Prozent durch Kachelöfen, Wärmepumpen (besser als Elektrowärmepumpen sind Gas- oder Dieselwärmepumpen) sind anzustreben.

Elektroheizungen sind nur in Ausnahmefällen umweltfreundlich, da für die Wärmeenergie zuviel Primärenergie verbraucht wird. Auch bei den Feuerungstechniken herkömmlicher Kohle- und Ölheizungen gibt es revolutionierende Entwicklungen und Filteranlagen.

#### Weitere Vorschläge

- Diverse Gesetze und Verordnungen so verschärfen, daß sie dem neuesten technischen Standard entsprechen.
- Schwefelarme Brennstoffe sind zu bevorzugen.
- Mehr Forschung und Anwendung für alternative Energiegewinnung (Sonnen-, Wind- und Thermalenergie).
- Stromtarif ändern – Grundgebührenweg, Strompreisstaffelung nach Verbrauch (Stromsparen soll durch niedrigen Preis pro kWh belohnt werden).

- Aufbau von Recyclingsystemen aller wichtigen Grundstoffe (Papier, Glas, Metalle, Kunststoffe, Aluminium usw.).

- Bessere Berücksichtigung ökologischer Belange in Lehrplänen, Medien und Publikationen.

- Mehr Förderung von Vereinen, freiwilligen Initiativen.

- Schwerlastverkehr von der Straße auf die Schiene.

#### Vegetationskundlich-ökologische Maßnahmen

In vielen Bereichen, vor allem in Schutzwäldern der Alpen und auf Sonderstandorten, werden die Waldbestände, trotz der hoffentlich in vollem Umfang einsetzenden Gegenmaßnahmen, nicht mehr zu retten sein. Darum muß bereits heute ein umfangreiches vegetationskundliches Forschungsprogramm anlaufen.

#### Pionier-, Begleit- und Bodendeckergelözpflanzung

Die Lücken, die allmählich im Schutzwald durch lokale immissionsbedingte Waldzusammenbrüche entstehen, müssen sofort mit standorttauglichen, gegen Schadstoffe widerstandsfähigeren Bäumen, Sträuchern und Pioniergehölzern bepflanzt werden. Diese Pflanzungen müssen aber auch im Schutz der Altbestände dort, wo ein Zusammenbruch befürchtet werden muß, vorgenommen werden, um wenigstens den Boden zu halten. Als Voraussetzung für derartige Pionierpflanzungen sind flächendeckende Vegetations- und Bodenkartierungen durchzuführen.

Die als Ersatz der bisherigen Wälder vorgeschlagenen Baum- und Straucharten sind durch folgende Eigenschaften ausgezeichnet: Schnellwuchs, guter Bodenschutz, hohe Elastizität, Wasserschutz, Lawinenschutz, hohe Widerstandskraft gegen Luftschadstoffe, hohe Anpassungsbereitschaft, guter Steinschlag- und Erosionsschutz und hohe Vermehrungsrate.

Je nach Höhenlage und Gesteinsuntergrund kommen verschiedene Pflanzenarten in Betracht: Haselnuß, Grauerle, Wolliger Schneeball, Weißdorn, Gemeiner Liguster, Brombeere, Purpurweide, Esche, Gemeine Traubenkirsche, Bergahorn, Faulbaum, Gemeine Felsenbirne, Vogelkirsche, Rote Heckenkirsche, Schwarzer Holunder, Himbeere, Traubenholunder, Ohrweide, Besen-

ginster, Berberitze, Salweide, Alpenheckenrose, Vogelbeere und Grün-erle.

Derartige Maßnahmen sollen nur dort ergriffen werden, wo die natürlichen Schutzwaldgesellschaften die Schutzwaldfunktion nicht mehr erfüllen können. Die Kosten betragen pro Hektar mit Verbißsicherungen und Nachbehandlung rund 500.000 Schilling. Dies scheint vorerst sehr teuer – die Folgekosten bei Nichtdurchführung dieser Maßnahmen überschreiten diesen Betrag um das Vielfache.

Für manche Gebiete werden auch derartige Maßnahmen zu spät kommen. Fundierte Gefahrenzonenpläne, ähnlich wie sie der Deutsche Alpenverein für den bayerischen Gebirgsraum erstellt hat, und darauf abgestimmte Schutzbauten oder Absiedlungen sind dann die wichtigsten zu erstellenden und durchzuführenden Maßnahmen. Sehr viel Forschung, Arbeit und Geld sind dafür nötig.

#### Kosten

Bei sofortiger Inangriffnahme würde sich der finanzielle Aufwand für die gefährdeten Schutzwaldbereiche Österreichs auf etwa 100 Milliarden Schilling belaufen. Zirka die doppelte Summe wird für die vorher beschriebenen technischen Maßnahmen bei Kraftwerken, in Industrie und Gewerbe, beim Hausbrand und im Verkehrsbereich aufgebracht werden müssen, also zusammen rund **300 Milliarden Schilling**. Die Sanierung der verstaatlichten Unternehmungen, die Forschungsarbeiten und Schutzpflanzungen werden größtenteils mit öffentlichen Geldern zu bewerkstelligen sein. Dagegen nimmt sich die derzeitige Umweltschutzmilliarde im Budget 1985 nur als „Almosen“ aus. Für die Lösung der wichtigsten Probleme müßten in den nächsten drei Jahren zirka 50 Milliarden Schilling aus öffentlichen Mitteln eingesetzt werden.

Ein aus qualifizierten Wissenschaftlern, Technikern und Organisatoren bestehendes Team müßte mit den Planungen und Arbeiten sofort beginnen.

#### Schlußbetrachtung

Jeder, der mit dem Problem auch nur am Rande zu tun hat, weiß, daß die derzeitigen Maßnahmen des Bundes und der Länder (Katalysa-

tor- und Autoabgasbestimmungen, Dampfkesselmissionsgesetz, Luftreinhaltegesetz, Förderungsmaßnahmen, Umweltschutzfonds u. a.) zwar ein Anfang, aber keineswegs die große Lösung darstellen. Dazu fehlen die notwendigen, sehr hohen Geldmittel und greifende Maßnahmen im Industrie- und Kraftwerksbereich.

Nur wenn alle notwendigen und nach dem neuesten Stand der Technik möglichen Maßnahmen ergriffen, finanziert und die bürokratischen Hürden ausgeräumt werden, sehe ich bei einer Zusammenarbeit aller politischen und gesellschaftlichen Kräfte eine kleine Chance, die Katastrophe noch abzuwenden.

Dieses „Wenn“ wäre bei der derzeitigen österreichischen und europäischen Situation ein Wunder, und die gibt's nur höchst selten – „Hoffnung bleibt der einzige Trost“.

Die Gesetze lebender Systeme sind unantastbar, wir können die Wirklichkeit nicht so biegen, wie wir uns das in unserer – der Natur entrückten – Denkweise vorstellen.

Es muß alles getan werden, um das Selbstregulationspotential der Natur wieder herzustellen und Kreislaufsysteme in nahezu allen Produktionsbereichen zu installieren.

Bequemen wir uns zu einem neuen Aufbruch – zu neuem Arbeiten und Gestalten mit der Natur statt gegen sie; lassen wir die logischen und einfachen Gesetze der Natur wieder in unser System einfließen.

**Dazu wird es dynamische und idealistische Menschen, Wissenschaftler, Techniker und Politiker brauchen, die nicht den Nutzen für die Partei, für eine Lobby oder für die eigene Person in den Vordergrund stellen, sondern realistischweise die Erhaltung des Lebens in seiner Vielfalt als oberstes Prinzip anerkennen und danach handeln.**

#### Zitierte Literatur:

BLASCHKE, H., 1980: Zur Mykorrhizaforschung bei Waldbäumen. Forstwirtschaftliches Centralblatt, **99**, S. 6 – 12.  
 DOST, B., 1983: Die Erben des Übels. Kösel Verlag.  
 KNOCHE, R., 1984: Der Pesthauch. In: trend, H. 6, Wien.  
 KREMER, H., 1983: Minderung der Emission von Stickstoff- und Schwefeloxiden aus Industriefeuerungen durch verbrennungstechnische Maßnahmen. In: Gas-Wärme International **32**, H. 1, S. 69 – 75.

MAYER, H., 1984: Waldschäden in Österreich. Jb. des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 49 Jg., S. 35 – 59, München.  
 MOORE, T. R. u. J. E. LEWIS, 1983: Saurer Regen in Kanada. Geographische Rundschau, H. 8, S. 381 – 385.  
 O. V., 1984 a: Deutscher Wald – neueste Daten aus den Krankenblättern. In: Natur, H. 11, S. 31.  
 O. V., 1984 b: Mit Strahlung geht's schneller. In: Natur, H. 8, S. 12 – 14.  
 STAUDINGER, G., 1983: Versuche zur Rauchgasentschwefelung mit dem Kalk-Trocken-Additiv-Verfahren. Vortrag auf dem internationalen Treffen für chemische Technik auf der ACHEMA, Frankfurt.  
 UNTERBRUNER, U., FISCHER, G. u. F. TAFERNER, 1984: Waldsterben. Schriftenreihe des BM. f. Gesundheit und Umweltschutz, Bd. 12, Wien.  
 WENTZEL, K. F., 1983: Ursachen des Waldsterbens in Mitteleuropa. In: Allg. Forstzeitschrift, München, S. 1365 – 1368.

#### Weiterführende Literatur:

ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (Hrsg.), 1984: Biotop-Pflege im Wald. Kilda Verlag, Greven.  
 ARBEITSKREIS CHEMISCHE INDUSTRIEKATALYSE, UMWELTGRUPPE KÖLN (Hrsg.), 1984: Das Waldsterben. Kölner Volksblatt Verlag GmbH., S. 366.  
 BAUCH, J. u. W. SCHRÖDER, 1982: Zellulärer Nachweis einiger Elemente in den Feinwurzeln gesunder und erkrankter Tannen und Fichten. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt, Nr. **101**, S. 285 – 294.  
 BERGE, H., 1970: Immissionsschäden. In: Handbuch der Pflanzenkrankheiten, Bd. 1, Berlin.  
 FELLEBERG, G., 1977: Umweltforschung – Einführung in die Probleme der Umweltverschmutzung. Band 194, Berlin, Heidelberg, New York.  
 FRANKE, J. u. D. VIEHUES, 1983: Fiasko Atomenergie. Köln.  
 FRITSCHKE, U., 1982: Sanfter Weg statt saurem Regen. In: Saurer Regen, ÖKO Magazin, Bd. 7, Fellbach.  
 GRIESSHAMMER, R., 1983: Letzte Chance für den Wald? Freiburg.  
 HLUBEK, W., 1983: Die Elektrizitätswirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie. In: RWE-Öffentlichkeitsinformation, Essen.  
 KAEMPFER, M., 1975: Vegetationsschäden durch Kraftfahrzeugabgase und Streusalz. In: Naturschutz und Landschaftspflege, Bonn-Bad Godesberg.  
 MAYER, R.: Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushaltes von Waldökosystemen. In: Göttinger Bodenkunde, Bericht Nr. 70/81.

MURACH, D., 1983: Die Reaktion von Fichtenfeinwurzeln auf zunehmende Bodenversauerung. In: Allg. Forstzeitschrift, München, S. 683 – 686.  
 REHFUESS, K. E., 1981: Über die Wirkung von sauren Niederschlägen in Waldökosystemen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, **100** (6), S. 363 – 381.  
 SCHÜTT, P., 1984: Der Wald stirbt an Streß. Bertelsmann Verlag, 264 S., München.  
 SCHMIDT, A. u. W. L. KIM, 1983: Ökologische Auswirkungen bei Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung. In: Brennstoff-Wärme-Kraft **6**, S. 294 – 297.  
 STERNGLASS, E. J., 1977: Radioaktive Niedrigstrahlung, Berlin.  
 STROHM, H., 1981: Friedlich in die Katastrophe. Frankfurt.  
 WEIDNER, H., 1977: Ökologische Ignoranz als ökonomisches Prinzip – Umweltzerstörung und Umweltpolitik in Japan. Aus: Politik und Zeitgeschichte, **23**, S. 11 – 29.  
 ZECH, W. u. E. POPP, 1983: Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt, Nr. **102**, S. 50 – 55.

## ÖKO-L- Werbeaktion 85

Helfen Sie mit, das Gedankengut der Ökologie zu verbreiten – werben Sie einen neuen Abonnenten!

Nützen Sie die Möglichkeiten eines

**Geschenkabonnements** – siehe beiliegenden ÖKO-L-Geschenkscheck: Dem von Ihnen auf der Karte angeführten Adressaten werden die Hefte des Jahrganges 1985 in Ihrem Namen zugestellt –  
 oder eines

**Werbeabonnements** – siehe beiliegende ÖKO-L-Abonnementkarte: Der neue Abonnent bestätigt mit seiner Unterschrift die Gültigkeit Ihrer Werbung.

**Sie gewinnen aber auf jeden Fall:**

● **Durch Ihr persönliches Engagement** tragen Sie wesentlich zur **Verbreitung des Gedankengutes der Ökologie, des Natur- und Umweltschutzes** und des **Naturverständnisses** bei.

● Für jeden Neuabonnenten erhalten Sie eine **Gutschrift von 25 Prozent** auf Ihr eigenes Abonnement.

● **25 Bücher** werden unter allen ÖKO-L-Werbern zusätzlich **verlost** (30. Mai).

● Die **drei besten Werber** erhalten ein **wertvolles Buch**.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [ÖKO.L Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz](#)

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: [1985\\_1](#)

Autor(en)/Author(s): Russmann Kurt

Artikel/Article: [Waldsterben- Ursachen, Wirkungen und Maßnahmen 3-17](#)