

# Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme

Von *Heinz Röhle*

In der Bundesrepublik Deutschland werden seit einigen Jahren Krankheitssymptome beobachtet, die auf eine Schädigung der Waldökosysteme durch Luftverunreinigungen (saurer Regen, staubförmige Partikel, gasförmige Stoffe) hinweisen. Derartige Schäden wurden zuerst an der Tanne, dann an Fichte und Kiefer, und zuletzt auch an verschiedenen Laubbaumarten beobachtet. Das äußere Erscheinungsbild ist bei den Nadelbäumen durch verstärkten Nadelfall und eine darauf zurückzuführende Verlichtung der Krone gekennzeichnet. Bei den Laubbaumarten äußert sich die Erkrankung in einem frühzeitigen Abwurf der Blätter. Am stärksten betroffen sind in Westdeutschland die Mittelgebirgslagen. Doch auch im Flachland sowie in der Alpenregion häufen sich die Schadensfälle zunehmend. Als letzte Konsequenz ist das großflächige

Absterben ganzer Waldteile wahrscheinlich. Im Erz- wie im Riesengebirge sind als Folge des Waldsterbens ganze Bergrücken kahlgeschlagen, ab und zu ragen noch einige bizarre Baumskelette gegen den Himmel. Solche nicht gerade rosigen Perspektiven zeigen auf eindringliche Weise die Notwendigkeit, wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Wenn auch die Wissenschaft noch nicht mit letzter Sicherheit die komplexen Wirkungssysteme in der Lebensgemeinschaft Wald durchschaut, so besteht doch in Fachkreisen kein Zweifel darüber, daß die Luftverunreinigungen Hauptursache für die Bedrohung unserer Waldbestände sind. Wirksame Abhilfe kann deswegen nur eine möglichst effektive Ausfilterung der Schadstoffe an ihrer Quelle schaffen.

## **Gliederung**

1. Ausgangslage	21
2. Beschreibung des Krankheitsbildes	21
3. Regionale Verbreitung des Waldsterbens	22
4. Luftverunreinigungen als Schadfaktoren	22
5. Situation im Alpenraum	24
6. Das Waldsterben als Komplexkrankheit	25
7. Auswirkungen großflächiger Waldverluste	26
8. Notwendige Gegenmaßnahmen	26
9. Ausblick	27

## 1. Ausgangslage

Seit einiger Zeit werden in der Bundesrepublik Deutschland in Waldbeständen neuartige Krankheitsbilder beobachtet. Die diagnostizierten Symptome lassen sich weder auf Infektionen durch Forstpathogene (Viren, Bakterien, Pilze usw.) noch auf Schädlingsbefall (Borkenkäfer, Blattwespen usw.) zurückführen. Auch klimatische Einflüsse wie Frosttrocknis, Dürre, Blitz usw. scheiden als Primärfaktoren aus. Die eigentlichen Ursachen dieser Krankheitserscheinungen werden in den Luftverunreinigungen (Saurer Regen, staubförmige Partikel, Gase) gesehen.

Die ersten Hinweise darauf wurden bereits vor einem Jahrzehnt im Bayerischen Wald an der Tanne beobachtet, einer Baumart, die sehr empfindlich auf Luftverunreinigungen reagiert. Allerdings brachte damals noch niemand die Schäden mit dem Anstieg der Luftverschmutzung in Zusammenhang. Erst als die Schadbilder vor etwa drei bis vier Jahren auch an der Fichte konstatiert wurden, vermutete man im „Saurer Regen“ den auslösenden Faktor und begann mit der gezielten Erforschung der Ursachen. Mittlerweile besitzt die Wissenschaft hinreichende Vorstellungen über die Hintergründe des „Waldsterbens“, so der volkstümliche Begriff dieser Waldkrankheit, wenngleich sich die Erforschung biologischer Phänomene aufgrund ihrer Komplexität meist recht schwierig gestaltet und deswegen noch keine präzisen Angaben über die letzten Details vorliegen oder treffsichere Prognosen für die künftige Entwicklung abgegeben werden können.

## 2. Beschreibung des Krankheitsbildes

Bei allen heimischen Nadel- sowie bei vielen Laubbaumarten lassen sich Krankheitssymptome feststellen. Im nachfolgenden werden die auffälligsten Schadensmerkmale für unsere wichtigsten Baumarten beschrieben:

### — Fichte:

Allmählich fortschreitende Verlichtung der Krone durch Nadelverluste, die meist bei den älteren Nadeljahrgängen einsetzen. Häufig ist auch eine Vergilbung der älteren Nadeljahrgänge zu beobachten.

Die Geschwindigkeit und die Art des Krankheitsablaufes kann je nach Region, Bestand und Einzelbaum unterschiedlich ausgeprägt sein. Besonders betroffen sind Altlichten, in den Höhenlagen der Mittelgebirge (ab 900 m NN) sind fast alle Altersklassen geschädigt. Die Krankheit tritt zuerst an einzelnen Stämmen, im Endstadium jedoch großflächig auf.

### — Tanne

Charakteristisch ist die Verlichtung der Krone von unten nach oben und von innen nach außen. Dieser Vorgang erstreckt sich in der Regel über mehrere Jahre und geht oft mit einer Verfärbung der Nadeln von dunkelgrün zu graugrün einher. Parallel dazu vollzieht sich eine ausgeprägte Abflachung der Krone, die sogenannte „Storchennestbildung“. Sie ist daran zu erkennen, daß die oberen 100 bis 150 cm der Krone lange Zeit voll benadelt bleiben, tiefere Partien dagegen bereits teilweise oder vollständig entnadelt sind. Eine geschädigte Krone wird also nach oben hin breiter und nicht schmaler, wie dies bei gesunden Tannen der Fall ist. Kranke Tannen besitzen außerdem im Stammquerschnitt einen „pathologischen Naßkern“, der bis zur Rinde ausufern kann. Wenige Minuten nach der Fällung zeichnet sich die davon ausgehende Verfärbung an der Schnittfläche besonders deutlich ab. Die stärksten Schäden treten ebenfalls an Altbäumen auf, neuerdings wird die Erkrankung aber auch an 20- bis 30jährigen Jungtannen beobachtet.

### — Kiefer:

Kennzeichen für das Schadbild ist ein von innen nach außen fortschreitender Nadelfall (Kronenverlichtung). Meist ist auch eine Verfärbung der Nadeln vom Grünen ins Graugrün zu beobachten.

### — Buche:

Nach den bisherigen, jedoch noch recht unvollständigen Beobachtungen, verlieren geschädigte Buchen einen Großteil ihrer Blätter bereits im Laufe des Sommers. Außerdem sind an den Blättern Randnekrosen (Absterben der Blätter vom äußeren Rand nach innen) und Wuchsanomalien (Einrollen der Blätter vom Rand her) festzustellen.

Die  
Symptome  
Schad-  
Symptome  
fall vor  
wespen  
ändert.

### 3. Regionale Verbreitung des Waldsterbens

In der Bundesrepublik Deutschland wurden die ersten Schadensfälle aus den Mittelgebirgslagen (Bayerischer Wald, Harz, Schwarzwald) gemeldet. In der Zwischenzeit sind auch im Flachland sowie im Alpenraum Schäden festzustellen, vollkommen gesunde Bestände werden immer seltener. Allgemein gilt, daß die Erkrankung an einzelstehenden Bäumen (Solitär-bäumen) und an Bestandsrändern deutlicher in Erscheinung tritt als in geschlossenen Waldteilen. Die Schätzungen über die tatsächlich erkrankte Waldfläche gehen allerdings weit auseinander. Während in Bayern 6 bis 7 Prozent des Waldanteils nach offizieller Darstellung (Stand 1982) erkrankt sind, sprechen Naturschutzverbände von weit höheren Prozentzahlen und stufen bis zu zwei Drittel der Waldfläche als geschädigt ein. Der wahre Wert dürfte sicherlich zwischen diesen beiden Angaben liegen. Die weit voneinander abweichenden Schätzwerte verdeutlichen allerdings die Schwierigkeit bei der Diagnose erkrankter Bäume, die im Anfangsstadium auch für Fachleute nicht immer leicht zu erkennen sind. Zu einer umfassenden und exakten Beurteilung des flächigen Auftretens wäre eine intensive Schadinventur notwendig, die leider — aus welchen Gründen auch immer (Geldmangel, Nichterkennen der Problematik?) — noch nicht in Angriff genommen wurde.

Nach den bisher vorliegenden Informationen herrschen bei uns die leichten und mittleren Schadbilder noch zu etwa 75 Prozent vor. Fortgeschrittene Schäden mit schweren Beeinträchtigungen für die Bestandesgesundheit sind an etwa 20 Prozent der Schadensfläche festzustellen, die restlichen 5 Prozent entfallen auf schwerste Schädigungen im Endstadium (Stand 1982).

telt versuchen die dortigen Forstbehörden die Situation in den Griff zu bekommen. Allerdings können die bisherigen Versuche, die Brachflächen mit Laubbaumarten wie Vogelbeere und Erle oder mit weniger empfindlichen Nadelbaumarten wie Blaufichten wieder aufzuforsten, kaum befriedigen. Auf lange Sicht gesehen wird sich eine Versteppung weiterer Landstriche kaum unterbinden lassen. Nach Informationen aus Fachkreisen sollen in den beiden Gebirgsgruppen mehr als 120 000 ha Wald abgestorben sein, was in etwa der Staatswaldfläche von 26 bayerischen Forstämtern entspricht.

### 4. Luftverunreinigungen als Schadfaktoren

Direkte Schädigungen von Waldbeständen in der Nähe größerer Industrieanlagen sind seit über einhundert Jahren bekannt. Die Wirkungen dieser sogenannten „Rauchschäden“ auf Pflanzen wurden eingehend untersucht und in ihrer Symptomatik beschrieben. Mit der Zunahme der Industrialisierung wurden immer größere Schadstoffmengen ausgestoßen, die Immissionsbelastung in den Industriegebieten stieg sprunghaft an. Dies führte zu einer generellen Erhöhung der Schornsteine, wodurch die Schadstoffe in immer größere Höhen gelangten und über weite Strecken verfrachtet wurden. Diese Maßnahme wurde zwar als vordergründiges Sanierungskonzept für die Industriezentren gepriesen und es gelang auch, den Schadstoffeintrag im Nahbereich von Industrie und Kraftwerken herabzusetzen. Letztendlich aber führte die „Hochschornsteinpolitik“ zu einem Anstieg der Immissionsbelastung in industriefernen Reinluftgebieten, in jenen Gebieten, in denen wir es heute mit einem Baumsterben von bisher unbekanntem Ausmaß zu tun haben.

Bei den für die Waldbestände bedeutenden Luftschadstoffen handelt es sich um Schwefeldioxid

(SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Photooxidantien (z. B. Ozon) und Schwermetalle (z. B. Blei, Cadmium, Zink). Bei Betrachtung der Immissionsituation für die Bundesrepublik Deutschland fällt auf, daß der Anteil der Schwermetalle seit einigen Jahren zurückgeht, die Belastung durch Schwefeldioxyde auf gleichem Niveau verharret, die Stickoxide und die Photooxidantien jedoch ansteigen. Deswegen darf sich die Untersuchung der möglichen Einflußgrößen auch nicht auf einen einzigen Faktor wie z. B. das Schwefeldioxyd konzentrieren, sondern muß die ganze Palette der möglichen Luftschadstoffe, deren Kombinationswirkungen untereinander sowie die daraus entstehenden chemischen Reaktionsprodukte mit berücksichtigen.

Untersuchungen über die Verfrachtungen der Schwermetalle haben ergeben, daß diese als Feinstäube wesentlich weiter transportiert werden können als bisher angenommen wurde. So wurden beispielsweise in großen Entfernungen von Emissionsquellen relativ hohe Cadmiumimmissionen nachgewiesen. Allerdings sind die bisher gemessenen Schadstoffkonzentrationen noch nicht so hoch, daß die Schwermetalle als primäre Ursache für das Waldsterben in Betracht kommen. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß sie zur Verstärkung der Waldschäden mit beitragen können.

Photooxidantien entstehen als Folge photochemischer Prozesse in der Atmosphäre aus Stickoxiden und reaktiven Kohlenwasserstoffen unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung. In nennenswerten Konzentrationen treten sie bei uns allerdings nur bei besonderen Witterungsbedingungen und auf bestimmten exponierten Standorten auf. Ungeklärt ist noch, ob Photooxidantien nur zu einer Verstärkung der Waldschäden beitragen oder ob sie neben dem Schwefeldioxyd und den Stickoxiden mit zu den Hauptfaktoren gehören.

Ebenfalls schwierig gestaltet sich die Beurteilung der Stickoxide. Etwa ein Drittel der aus Luftverunreinigungen stammenden Säurebelastung der Wälder ist auf Stickoxide zurückzuführen. Bei Betrachtung der Schädigungsgrenzen erreichen jedoch die Stickoxidkonzentrationen in den betroffenen Waldgebieten im Vergleich zum Schwefeldioxyd

relativ niedrigere Werte. Allerdings können aus Stickoxiden Reaktionsprodukte wie das hochgiftige Gas Ozon entstehen.

Die zentrale Bedeutung muß sicherlich dem Schwefeldioxyd zugemessen werden. Das Schwefeldioxyd liefert den weitaus größten Anteil an der sauren Deposition und wird auch in bedeutenden Mengen als trockene Deposition von den Nadelbäumen aus der Luft herausgefiltert. Außerdem wird der größte Anteil des emittierten Schwefeldioxydes über hohe Schornsteine in die oberen Luftschichten gebracht und über weite Entfernungen verfrachtet.

Die Schadstoffe können nun als nasse Deposition (Saurer Regen), trockene Deposition oder als Gase auf die Waldbestände wirken. Gasförmige Stoffe werden direkt durch die Spaltöffnungen der Blätter aufgenommen. Die trockene Deposition vollzieht sich durch Ablagerung auf der Pflanzenoberfläche. Dabei können sich in längeren Trockenperioden erhebliche Schadstoffmengen auf Blättern, Nadeln oder Rinde ansammeln. Beim nächsten Niederschlag gehen diese Schadstoffe in Lösung und führen zu Gewebeschäden. Am bedeutsamsten für die Belastung der Waldökosysteme ist nach allgemeiner Auffassung allerdings die nasse Deposition (Saurer Regen).

Der biologische Neutralpunkt des Regenwassers ist aufgrund des natürlichen Vorkommens von Kohlensäure in der Atmosphäre mit pH 5,6 unter dem chemischen Neutralpunkt mit pH 7 angesiedelt. Aus Schwefeldioxyd und Stickoxiden entstehen nun zusammen mit dem Wasserdampf der Luft Schwefel- und Salpetersäure, die den pH-Wert (Weiser für den Gehalt an Säuren oder Basen) des Regenwassers weiter senken. Der durchschnittliche pH-Wert des Niederschlagswassers in der Bundesrepublik Deutschland liegt deswegen bereits bei etwa 4,1–4,2. Im Bayerischen Wald wurden sogar schon pH-Werte von nur 3,3 gemessen, das ist über 100 mal saurer als normaler Regen und entspricht in etwa dem pH-Wert von Essig. Da der pH-Wert als negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration angegeben wird, bedeutet ein Absinken um eine pH-Stufe (beispielsweise von pH 5 auf pH 4), daß das Lösungsmittel um das

10fache saurer geworden ist, ein Absinken um 2 pH-Stufen (beispielsweise von pH 5 auf pH 3) demnach eine 100fache höhere Versauerung.

Da sich die Wissenschaft bei der Erforschung der Ursachen des Waldsterbens bisher hauptsächlich mit den Auswirkungen von Schwefelverbindungen auf Waldökosysteme befaßt hat und die übrigen Schadstoffe erst in neuerer Zeit in diesem Zusammenhang in ihre Untersuchungen miteinbezieht, lassen sich tiefergehende Aussagen über die Wirkungsweise der einzelnen Schadstoffe auch nur für das Schwefeldioxid und dessen Reaktionsprodukte treffen.

## 5. Situation im Alpenraum

Seit etwas mehr als einem Jahr sind Krankheitsbilder, wie wir sie aus den deutschen Mittelgebirgen zur Genüge kennen, nun auch in den Alpen anzutreffen. Dabei handelt es sich nicht nur um vereinzelt auftretende Schadensfälle, vielmehr dürften der gesamte bayerische Alpenraum, das Voralpengebiet wie auch weite Teile Österreichs und der übrigen Alpenländer betroffen sein. Zwar tritt die Krankheit im Alpenraum noch nicht mit derselben Heftigkeit auf wie im Fichtelgebirge oder in den Hochlagen des Bayerischen Waldes, beunruhigend ist jedoch, daß der Schadensverlauf teilweise rapide fortschreitet. Im Forstamt Garmisch-Partenkirchen verschlechterte sich z. B. der Gesundheitszustand von Fichtenbeständen während des Sommerhalbjahres 1982 mit bisher noch nicht bekannter Geschwindigkeit. Fichtenbestände mit besten Wachstumsleistungen, die noch im Frühjahr als nahezu ungeschädigt angesprochen wurden, verloren über den Sommer einen Großteil der älteren Nadeljahrgänge und haben nun verlichtete Kronen. Aus großer Entfernung besitzen solche Fichten ein „lärchenartiges“ Aussehen. Der Nadelfall fand bei Fichte und auch bei Tanne in einem Umfang statt, der weit über das als normal geltende Maß hinausgeht und weder durch besondere Standorts- oder Witterungseinflüsse erklärt werden kann.

Auf extremen Standorten im Gebirge sind Fichten und Tannen schon seit eh und je weniger vital. Dies gilt zum Beispiel für flachgründige, stark besonnte Südhänge, wo die Gefahr der Frosttrocknis

besteht oder in ungünstigen Muldenlagen mit dichten Böden und hochanstehendem Stauwasser. Auch in der Kampfzone des Waldes, im Bereich der natürlichen Baumgrenze, sorgen kränkelnde oder abgängige Bäume kaum für Beunruhigung. Umso alarmierender ist die Feststellung, daß sich die Schadsymptome im Gebirge nicht mehr auf die erwähnten extremen Standorte konzentrieren und dort für verstärkte Abgänge sorgen, sondern auch in bisher kerngesund erscheinenden Beständen und auf Böden auftreten, die schlechthin als Spitzenstandorte im Bezug auf Vitalität und Holzmassenleistung für den Bergwald gelten können. In diesen Beständen ist die Luftverschmutzung als wahrscheinliche Schadensursache dann auch leicht zu diagnostizieren, da nur außergewöhnliche Witterungsverhältnisse zusammen mit Massenvermehrungen von Forstschädlingen ähnliche Schadsymptome hervorrufen können, diese Erscheinungen in den betroffenen Waldbeständen in den letzten Jahren jedoch nicht zu beobachten waren.

Die Tatsache, daß das Baumsterben vor dem Hochgebirge nicht halt macht, hatten allerdings auch Fachleute nicht erwartet. Denn bis vor geraumer Zeit wurde angenommen, daß die Schädigung der Bäume ausschließlich über den Boden und somit über das Wurzelwerk erfolgen könne. Eine derartige Wirkungsweise setzt jedoch eine starke Versauerung voraus, die wiederum nur in schwach gepufferten Böden möglich ist. Eine hohe Pufferkapazität dagegen neutralisiert den Säureeintrag und kann so den pH-Wert des Bodens stabilisieren und die Freisetzung toxisch (giftig) wirkender Ionen weitgehend verhindern.

Im Gegensatz zu den schwach gepufferten Böden der meisten Mittelgebirge verfügen die Böden der nördlichen Kalkalpen über hohe Pufferkapazitäten (bei der Verwitterung kalkhaltiger Böden bilden sich Tonminerale, die zusammen mit den Huminstoffen die wichtigsten Puffer darstellen) und bedeutende Kalzium- und Magnesiumvorräte (alle Kalkböden weisen hohe Kalzium- und Magnesiumgehalte auf, die Magnesiumvorräte hängen hauptsächlich vom Dolomitanteil ab). Durch die Abpufferung des Säureeintrags kann die in nicht kalk-

haltigen Böden nachgewiesene Nährstoffauswaschung, vor allem von Kalzium, Magnesium und Kalium, verhindert und gleichzeitig die Freisetzung toxisch wirkender Aluminiumionen unterbunden werden. Deswegen ist in kalkhaltigen Böden auch keine Zerstörung des für die Wasseraufnahme der Bäume wichtigen Feinwurzelsystems und der damit verbundenen Mycorrhizierung (Symbiose von Feinwurzeln und Pilzen zur Vergrößerung der Oberfläche für die Wasser- und Nährstoffaufnahme) zu befürchten. Außerdem sichern die hohen Kalzium- und Magnesiumvorräte kalkhaltiger Gebirgsböden die Nachlieferung der für die Waldbestände wichtigen Nährelemente, ausgeprägte Mangelsymptome dürfen aus diesem Grund eigentlich nicht auftreten. Da nun trotz der meist günstigen Bodenverhältnisse eindeutige Krankheitsbilder im Bergwald beobachtet werden, erhebt sich die Frage, ob die bisher für richtig befundene Theorie einer ausschließlichen Schädigung über den Boden nicht der Ergänzung bedarf. Neueren Erkenntnissen zufolge vollzieht sich der Angriff der Schadstoffe nicht nur auf dem Umweg über den Boden in den Baum, sondern auch direkt über die Blattorgane (bei den Nadeln von Coniferen [Nadelbäumen] spricht man ebenfalls von Blattorganen). Dadurch lassen sich auch auf nährstoffreichen Böden und bei hohen Pufferkapazitäten die Krankheitserscheinungen durch die unmittelbare Nährstoffauswaschung aus den Nadeln wie auch durch die Einwirkung gas- und staubförmiger Luftverunreinigungen erklären. Anhand experimenteller Untersuchungen in Skandinavien konnten beispielsweise direkte Nährstoffauswaschungen aus den Blattorganen von Nadelbäumen durch künstlich versauerten Regen nachgewiesen werden. Andere Forschungsergebnisse belegen wiederum die schädlichen Einflüsse gasförmiger Luftverunreinigung, wie z. B. von Ozon, die zu ähnlichen Krankheitsbildern führen können.

## 6. Das Waldsterben als Komplexkrankheit

In der Wissenschaft erhärtet sich die Auffassung mehr und mehr, daß die Krankheitserscheinungen, die mit dem Begriff „Waldsterben“ umschrieben werden, auf eine ganze Reihe von Einflußfaktoren

zurückzuführen sind, also eine Komplexkrankheit darstellen.

Wengleich aufgrund der Vielzahl der Wechselwirkungen in der Lebensgemeinschaft Wald die letzten Details dieses Wirkungsgefüges noch nicht mit naturwissenschaftlichen Methoden abgeklärt werden konnten, so besteht doch weitgehend Einigkeit darin, daß die Luftverunreinigungen in ihrer Gesamtheit, also nicht nur der Saure Regen, als die Primärfaktoren für die Schädigung unserer Waldökosysteme verantwortlich sind. Zwar werden in der Diskussion um das Waldsterben öfters die Einflüsse nicht immissionsbedingter Faktoren, wie das Eindringen von Pathogenen, das Auftreten von Frost und Trocknissschäden sowie eventuelle Einflüsse des Bestandesaufbaues geltend gemacht. Dagegen spricht allerdings, daß Krankheitserscheinungen bei Waldbäumen noch nie gleichzeitig in so weit voneinander entfernten Gebieten und an den verschiedensten Baumarten aufgetreten sind. Auch sind extreme Dürreperioden als Primärfaktoren mit ziemlicher Sicherheit auszuschließen, da auf gut mit Wasser versorgten Standorten ebenfalls Schäden festgestellt wurden. Ein Einfluß der Bestandesstruktur kann auch ausgeschlossen werden, da Schädigungen in Rein- wie in Mischbeständen auftreten. Durch Luftverunreinigungen geschädigte Waldbestände sind natürlich in ihrer Widerstandskraft gegenüber zusätzlichen sekundären Streßfaktoren stark beeinträchtigt. Insofern wirken sich die genannten nicht immissionsbedingten Einflußgrößen in solchen Beständen wesentlich schwerwiegender aus als in gesunden Waldökosystemen.

Sicherlich sind auch im bayerischen Alpenraum mehrere Faktoren für die rapide nachlassende Vitalität der Waldbestände verantwortlich. Unabhängig davon, ob nun die Schadstoffeinwirkung über die Wurzel oder über die Blattorgane oder auf beiden Wegen vollzogen wird, und ob ausschließlich die feuchte oder auch die trockene Deposition sowie gasförmige Stoffe für die Beeinträchtigung der Waldbestände im Gebirge bedeutsam sind, decken sich die beobachteten Schadsymptome weitgehend mit den Krankheitsbildern, die aus stärker immissionsbelasteten Räumen bekannt sind.

## 7. Auswirkungen großflächiger Waldverluste

Mit dem Verlust des Waldes gehen selbstverständlich auch seine unersetzlichen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen verloren. Besonders hinzuweisen ist auf die Bedeutung intakter Waldökosysteme bei der Regulierung des Wasserhaushaltes, der Reinigung des Grundwassers und der Ausfilterung von Luftverunreinigungen, eine Funktion, die unsere Wälder letztendlich umzubringen droht. Darüber hinaus wird angesichts der weltweiten Rohstoffverknappung die Bedeutung der Forstwirtschaft als Holzlieferant stetig wachsen.

Durch die zunehmende Belastung der Wälder mit Schadstoffen ist auf lange Sicht deren Existenz in Frage gestellt und somit auch die Nachhaltigkeit der Holzproduktion gefährdet. Unbestritten würde ein großflächiges Absterben des Waldes im Hochgebirge weitaus schlimmere Folgen als im Flachland nach sich ziehen. Neben den bereits genannten Aufgaben garantiert der Bergwald wirksamen Schutz vor Lawinenabgängen und Bodenerosion. Einrichtungen, wie z. B. Lawinenverbauungen, können diese besonderen Funktionen nur unzureichend und mit unvorstellbaren hohen Kosten wahrnehmen, oder, wie im Falle des Erosionsschutzes, überhaupt nicht ersetzen. Großflächige Waldverluste in steileren Hanglagen würden zum irreversiblen Abtrag des Oberbodens führen und das nackte Gestein zutage treten lassen. Die unersetzliche Funktion des Alpenraumes als Wasserspeicher und Wasserspender wäre damit für immer verloren. Die herausragende Bedeutung dieser Eigenschaft muß angesichts der angespannten Wasserversorgungssituation in Mitteleuropa nicht erläutert werden.

## 8. Notwendige Gegenmaßnahmen

Ohne Frage stellt die Erhaltung unseres Waldkleides das vorrangige Ziel dar. Der langfristige Schutz der Waldbestände kann jedoch nur gewährleistet werden, wenn es gelingt, alle Schadfaktoren so weit wie möglich zu beseitigen oder zu vermindern. Unstreitig ist, daß die Luftverunreinigungen sicherlich zu den größten Belastungen unserer Waldökosysteme gehören und deswegen nur eine Reduk-

tion des Schadstoffausstoßes für die Gesundheit und die Erhaltung unserer Wälder sorgen kann. Folglich müssen die Schutzmaßnahmen beim Verursacher, d. h. an der Emissionsquelle ansetzen. Die dazu notwendigen gesetzlichen Grundlagen zur wirksamen Ausfilterung von Schadstoffen sind deswegen unverzüglich zu schaffen. Allerdings sollten in den jeweiligen Verordnungen nicht zahlenmäßig fixierte höchstzulässige Grenzwerte festgeschrieben, sondern eine Reduzierung auf das technisch mögliche Mindestmaß gefordert werden. Vordringlich erscheint dabei eine drastische Absenkung der Schwefeldioxidemissionen bei Großfeuerungsanlagen und Industrie (etwa 80 Prozent des Schwefeldioxidausstoßes stammt aus diesen beiden Verursachergruppen) sowie der Einbau von Abgaskatalysatoren in Kraftfahrzeugen zur Ausfilterung der Stickoxide (etwa 50 Prozent aller freigesetzten Stickoxide entstehen in Verbrennungsmotoren).

Forstliche Maßnahmen zur Bekämpfung des Waldsterbens sind nur von untergeordneter Bedeutung. Durch eine Änderung der bisherigen waldbaulichen Grundsätze läßt sich kaum wirksame Abhilfe schaffen, da nicht nur in anfälligeren Monokulturen, sondern örtlich auch in ungleichaltrigen Mischbeständen Krankheitserscheinungen auftreten. Die Begründung von Mischwäldern sollte allerdings noch konsequenter als bisher verwirklicht werden. Auch durch Kalkung und Düngung, verschiedentlich als Notmaßnahmen gegen die Waldschäden vorgeschlagen, kann keine langfristige Sanierung der geschädigten Bestände erreicht werden. Abgesehen von den enormen Kosten einer Kompensationskalkung der betroffenen Waldbestände, die sich, da wiederholt durchzuführen, auf ein mehrfaches der Anlagekosten entsprechender Entschwefelungseinrichtungen belaufen dürfte, ist die großflächige Ausbringung von Kalk und Mineraldüngern nicht unproblematisch. Zwar können durch Kalkung und Düngung der pH-Wert des Bodens stabilisiert und Nährstoffverluste ausgeglichen werden, doch führen derartige Maßnahmen auch zur Beschleunigung der Stoffumsätze im Boden und damit zu Humus- und Nährstoffverlusten. Großräumige Düngungsvorhaben sind auch im Hinblick auf

die zu erwartende Grundwasserbelastung nicht unbedenklich und sollten deswegen nur örtlich und zeitlich begrenzt in besonders stark geschädigten Beständen durchgeführt werden.

Als wichtigste Maßnahme ist deswegen eine drastische Reduzierung des Schadstoffausstoßes unumgänglich. Wie jedoch die Entscheidungen der letzten Jahre gezeigt haben, sind wirksame Vorschriften zur Luftreinhaltung nur schwer und nicht mit der notwendigen Schnelligkeit durchzusetzen. Unsere Waldbestände werden also längere Zeit unter einer erhöhten Schadstoffbelastung leiden müssen. Denn selbst wenn ein sofortiger Stopp des Schadstoffausstoßes erreicht werden könnte — was allerdings vollkommen utopisch ist — würde es noch Jahre dauern, bis die in Boden und Pflanzen akkumulierten Gifte wieder abgebaut werden.

Aus diesem Grund sollten als flankierende Maßnahmen alle weiteren, unsere Wälder schädigenden Einflüsse ausgeschaltet werden. Dazu zählen neben den beschränkten Möglichkeiten forstlicher Natur auch bisher politisch so wenig durchsetzbare Maßnahmen wie z. B. die Reduzierung der Schalenwildbestände auf ein ökologisch vertretbares Niveau.

## 9. Ausblick

Wenn wir der Verantwortung, die wir unseren Nachkommen gegenüber tragen, auch nur einigermaßen gerecht werden wollen, müssen wir unsere ganze Kraft daran setzen, die langfristige Erhaltung der Waldökosysteme zu sichern. Nur eine gründliche Neubesinnung kann uns vor einer forstlichen Katastrophen bewahren. Sollte dieses Umdenken nicht gelingen, wird das Wort Chateaubriands, wonach „die Wälder dem Menschen vorangingen und ihnen die Wüsten folgten“, auch für Mitteleuropa traurige Wirklichkeit erlangen.

### Anschrift des Verfassers:

Dr. Heinz Röhle  
Gassenfleckl 1  
8000 München 45

## Literatur

- Bauer, F.: Inwieweit ist Ozon am Waldsterben in der Bundesrepublik Deutschland beteiligt? AFZ 1/2, 1983, S. 16—18
- Krapfenbauer, A.: Versauerung des Bodens und/oder Ozonisierung als Ursachen des Baumsterbens? AFZ 5, 1983, S. 106—107
- Rehbock, N.: Der Stand der Luftschadstoff-Problematik in der Forstwirtschaft. AFZ 39, 1982, S. 1179 bis 1187
- Röhle, H.: Saurer Regen im Bergwald. Vortragsmanuskript, München 1982, 8 S.
- Seliger, J.: Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion von Immissionen aus der Sicht der Emittenten. AFZ 1/2, 1983, S. 12—14
- Umwelt-Bundesaamt: Großräumige Luftverunreinigung in der Bundesrepublik Deutschland. Texte 33/1982, Berlin 1982, 87 S.



Abb. 1 Schwer erkrankter Fichtenbestand aus den Hochlagen des Bayerischen Waldes; etwa zehn Prozent der Bestandesglieder sind bereits abgestorben.



Abb. 2 Fichte aus dem Werdenfelser Land; deutlich zu erkennen ist die verlichtete Krone und die herabhängenden Triebe zweiter Ordnung (Lamettasyndrom)



Abb. 3 Voll benadelter Zweig aus der Lichtkrone einer gesunden Fichte.

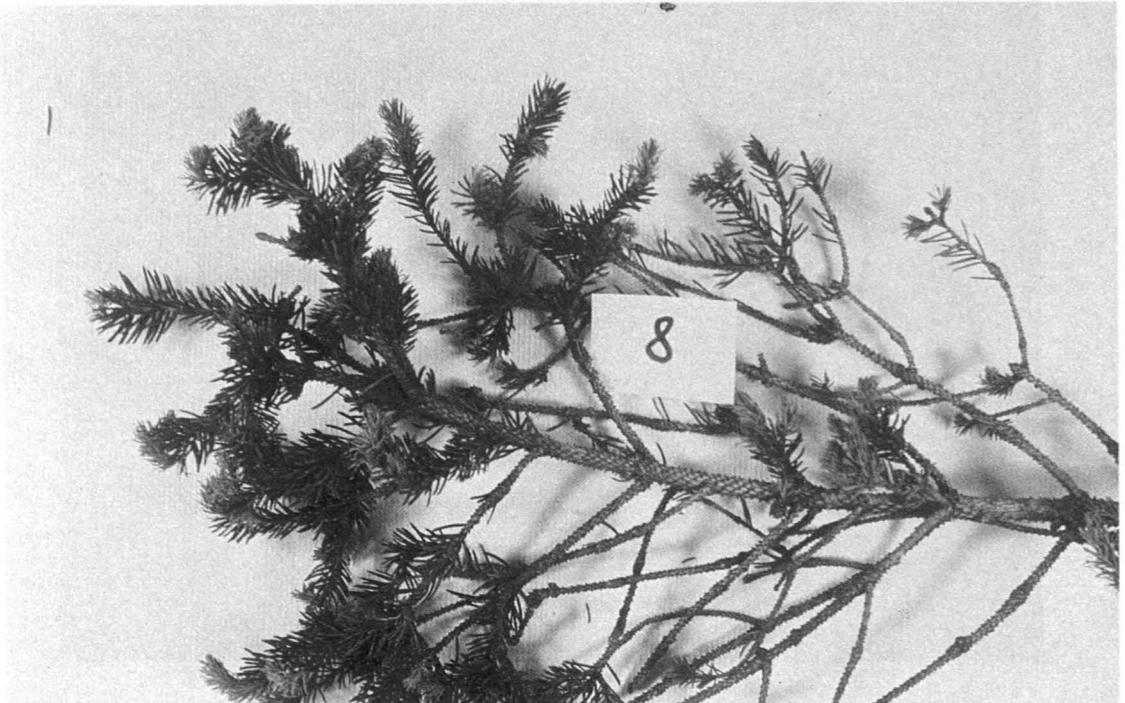


Abb. 4 Nur teilweise benadelter Zweig aus der Lichtkrone einer erkrankten Fichte



Abb. 5 Abgestorbene Fichtenbestände im Erzgebirge (CSSR).



Abb. 6 Die letzte Konsequenz: Kahlschlag der toten Bestände; nur die etwas widerstandsfähigeren Laubbäume können — wie lange noch — überleben.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [48\\_1983](#)

Autor(en)/Author(s): Röhle Heinz

Artikel/Article: [Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Waldökosysteme 19-32](#)