

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Waldzustandsbericht der Bundesregierung 2000 – Ergebnis des forstlichen Umweltmonitoring –

#### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Kurzfassung</b> .....	3
<b>I. Einführung</b> .....	4
<b>II. Zustand der Wälder und Einflussfaktoren</b> .....	6
II.1 Aufbau des forstlichen Umweltmonitoring .....	6
II.2 Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitoring .....	7
II.2.1 Kronenzustand .....	7
II.2.2 Einflussfaktoren auf den Waldzustand .....	23
II.2.3 Witterung .....	24
II.2.4 Schadorganismen .....	25
II.2.5 Analyse der stofflichen Belastung durch atmosphärische Einträge .....	27
II.2.6 Gefährdungspotenziale durch Bodenversauerung .....	31
II.2.7 Ernährungszustand der Waldbäume .....	35
II.2.8 Der Einfluss der Fruktifikation auf den Blattverlust der Buche .....	38
II.3 Bewertung der Ergebnisse .....	39
II.4 Waldzustand in Europa .....	41
II.5 Nutzen des forstlichen Umweltmonitoring für Politik, Forschung und Praxis .....	44
II.5.1 Bedeutung des forstlichen Umweltmonitoring für politische Entscheidungsträger .....	44
II.5.2 Nutzen für die Forschung .....	44
II.5.3 Nutzen für den Forstbetrieb .....	45

---

<b>III.</b>	<b>Maßnahmen der Bundesregierung gegen Neuartige Waldschäden</b> . . . .	47
III.1	Maßnahmen der Luftreinhaltung . . . . .	47
III.2	Maßnahmen der Forstwirtschaft gegen Neuartige Waldschäden . . . . .	49
III.3	Waldschadensforschung/Waldökosystemforschung . . . . .	52
<b>IV.</b>	<b>Länderbeiträge</b> . . . . .	52
<b>V.</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	70
<b>VI.</b>	<b>Verzeichnis der Karten und Abbildungen</b> . . . . .	71
<b>VII.</b>	<b>Glossar</b> . . . . .	74

## Kurzfassung

Das forstliche Umweltmonitoring dient mit der bisher einmal bundesweit durchgeführten Bodenzustandserhebung und der jährlichen Waldschadenserhebung auf einem systematischen Stichprobennetz sowie Fallstudien auf 89 Dauerbeobachtungsflächen der Erfassung des Waldzustandes und der Ursache-Wirkung-Beziehungen von Neuartigen Waldschäden. Die Ergebnisse dieser verschiedenen Erhebungsebenen werden zunehmend integrierend ausgewertet. Bei der Beurteilung des Waldzustandes kommt langfristigen Zeitreihen und den daraus ableitbaren Trends eine besondere Bedeutung zu.

Zur aktuellen Einschätzung der Vitalität der Wälder führen die Landesforstverwaltungen seit 1984 jährlich die Waldschadenserhebung durch. Dabei werden auf einem systematischen Stichprobennetz unter anderem die Kronenverlichtung und die Vergilbung von Nadeln und Blättern erfasst.

In der zusammenfassenden Betrachtung aller Baumarten ist das Schadniveau seit 1995 wie zu Beginn der Erhebungen. In diesem Jahr deutet sich gegenüber den beiden Vorjahren eine leichte Zunahme beim Flächenanteil deutlicher Schäden an (1998: 21 %, 1999: 22 %, 2000: 23 %). Die Veränderungen liegen jedoch in einem sehr engen, statistisch nicht gesicherten Bereich. Für die einzelnen Baumarten ergibt sich ein differenzierteres Bild.

In der langfristigen Betrachtung liegt der Flächenanteil der deutlichen Schäden mit 25 % bei Fichte und 13 % bei Kiefer deutlich unter den zu Beginn der Erhebung 1984 ermittelten Werten und hat sich seit 1995 nur noch geringfügig geändert. Gegenüber dem Vorjahr wurden bei diesen Baumarten beim Flächenanteil deutlicher Schäden keine Veränderungen festgestellt. Jedoch nahm der Flächenanteil von Bäumen ohne Schäden im Jahr 2000 bei Fichte und Kiefer ab.

Anders stellt sich die Situation bei den Laubbaumarten Buche und Eiche dar. Im 17-jährigen Beobachtungszeitraum stieg der Anteil von Buchen mit deutlichen Schäden mit größeren jährlichen Schwankungen an und liegt nun deutlich über dem Ausgangsniveau von 1984. Der Flächenanteil deutlicher Schäden stieg zwischen den Jahren 1998 und 2000 von 29 % auf 40 % an. Die Buche ist damit in diesem Jahr die Hauptbaumart mit dem höchsten Schadniveau.

Zwischen 1984 und 1997 stieg das Schadniveau bei der Eiche weitgehend kontinuierlich an. Der Flächenanteil der deutlichen Schäden ging im Jahr 2000 erfreulicherweise auf 35 % zurück. Ob die negative Entwicklung einer zunehmenden Kronenverlichtung nun beendet ist und gegebenenfalls ein gegenteiliger Trend eingesetzt hat, lässt sich aus den Erhebungsergebnissen der letzten drei Jahre noch nicht ableiten.

Der Waldzustand wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Witterung, Insektenfraß sowie andere natürliche Faktoren wirken sich auf die Waldökosysteme aus und beeinflussen den Vitalitätszustand der Bäume. Luftverunreinigungen kommt als ein auf menschliches Handeln zurückführbarer Faktor eine Schlüsselrolle bei den Ursache-Wirkung-Beziehungen zu.

Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) und der Untersuchung auf Level II-Dauerbeobachtungsflächen belegen, dass nach wie vor ein hohes Gefährdungspotenzial für den Wald besteht. Die deutschen Befunde werden durch die beim europaweit abgestimmten forstlichen Umweltmonitoring gefundenen Ergebnisse gestützt.

Luftverunreinigungen mit ihren eutrophierenden, potenziell toxischen, säurebildenden und basischen Eigenschaften haben auf den Stoffhaushalt und die Vitalität der Waldbestände und ihre nachhaltige Entwicklung großen Einfluss.

Längere Messreihen von Level II-Dauerbeobachtungsflächen zeigen, dass die Eintragsraten von Schwefel seit Anfang der 80er-Jahre drastisch, auf ostdeutschen Waldflächen bis zu 85 %, zurückgegangen sind. Die Entwicklung bei den Stickstoffeinträgen und insbesondere bei den Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft ist dagegen uneinheitlich. Im europäischen Vergleich gehören die auf deutschen Level II-Dauerbeobachtungsflächen gemessenen Werte zu den höchsten in Europa.

Nach bisherigen Erkenntnissen sind auf über 90 % der Level II-Dauerbeobachtungsflächen langfristige, stickstoffbedingte Veränderungen u. a. in der Zusammensetzung der Bodenvegetation zu befürchten. Auf etwa 30 % der Level II-Dauerbeobachtungsflächen muss mit einer Stickstoffsättigung der Waldökosysteme und somit mit einem Anstieg der Nitratausträge mit dem Sickerwasser gerechnet werden. Die Säurebelastung erreicht auf fast allen untersuchten Level II-Dauerbeobachtungsflächen relevante Größenordnungen und beschleunigt somit die natürliche Bodenversauerung und die Nährstoffverluste.

Hinweise auf hohe Ozonkonzentrationen geben vor allem die Level II-Dauerbeobachtungsflächen im Südschwarzwald, dem Pfälzer Wald sowie im Thüringer Wald.

Europaweit hat sich die allgemeine Verschlechterung des Kronenzustands in den vergangenen Jahren verlangsamt. Veränderungen des Nadel-/Blattverlusts differieren nach Baumarten und Regionen. In Teilen des Mittelmeerraumes hat der mittlere Nadel-/Blattverlust im Vergleich zu anderen Regionen am deutlichsten zugenommen. Auf ungefähr 55 % der europaweit erhobenen Dauerbeobachtungsflächen betrug der Stickstoffeintrag 1999 über 14 kg pro Hektar und Jahr. Von Einträgen in dieser Höhe können Gefahren für die Artenvielfalt der Bodenvegetation ausgehen.

Die Maßnahmen zur Immissionsminderung müssen daher fortgesetzt und ergänzt werden. Das Ziel, die Luftschadstoffe weiter zu reduzieren, muss dabei in allen Politikbereichen – u. a. Umwelt-, Verkehrs-, Finanz-, Wirtschafts- und Landwirtschaftspolitik – verwirklicht werden.

Die Forstwirtschaft kann zur Stabilisierung der Wälder beitragen. Nur stabile und artenreiche Waldbestände sind in der Lage, ihre Funktionen nachhaltig zu erbringen. Im Staats- und Körperschaftswald und immer mehr auch im Privatwald wird nach den Prinzipien der naturnahen Waldwirtschaft gearbeitet. Im Mittelpunkt steht dabei der

Anbau standortgerechter, d. h. an die Standortverhältnisse angepasster Baumarten und die Schaffung von strukturreichen, ungleichaltrigen Mischwäldern.

Das forstliche Umweltmonitoring mit seinen verschiedenen Untersuchungen und Erhebungen leistet einen hohen, vielfältigen Nutzen, der über die Kernziele dieser Monitoringaktivitäten hinausgeht und mit zunehmender Datenfülle und Datenqualität an Bedeutung gewinnt. Es wurde in den vergangenen Jahren ständig weiterentwickelt. Politik, Forschung und Forstwirtschaft können bei ihrer Arbeit darauf aufbauen.

## I. Einführung

### Wald hat viele Funktionen

Deutschland verfügt über rund 10,7 Mio. ha Wald, das ist fast ein Drittel der Gesamtfläche unseres Landes. Dieses „grüne Drittel“ hat eine Vielzahl von Funktionen: Wald ist wichtig als Lieferant des umweltfreundlichen und vielseitig verwendbaren Rohstoffes Holz, als Schutzfaktor für Boden, Wasser, Luft und Klima sowie als Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten. Ihm kommt damit auch eine große Bedeutung bei der Sicherung der biologischen Vielfalt in unserem Land zu. Er schützt darüber hinaus Menschen vor Naturgefahren und bietet ihnen vielfältige Möglichkeiten für Entspannung und Erholung.

Die nachhaltige Waldbewirtschaftung schafft Arbeitsplätze in der Forstwirtschaft und in nachgelagerten Bereichen sowie Einkommen für die Waldbesitzer.

Je nach Region kommt den Funktionen der Wälder ein unterschiedliches Gewicht zu. Beispielsweise steht bei einem stadtnahen Wald die Erholung der Bevölkerung im Vordergrund, während an einem Steilhang im Gebirge der Schutz von Siedlungen und Straßen vor Lawinen oder Geröllabgängen durch den Wald gegenüber Holznutzung und Erholung Vorrang genießt.

### Wald ist mehr als die Summe von Bäumen

Der Wald ist ein komplexes System verschiedener lebender und unbelebter Komponenten, deren Zusammenwirken durch viele Einflüsse gesteuert wird. In Ökosystemen laufen unterschiedliche Wachstums- und Zersetzungsprozesse parallel, die durch vielfältige Stoffkreisläufe und Energieflüsse verbunden sind. Einflüsse auf diese Vorgänge wirken sich auf das gesamte Ökosystem aus. Einflüsse auf das Ökosystem Wald sind z. B. die Witterung, waldbauliche Maßnahmen (z. B. Durchforstungen), aber auch Stoffeinträge aus natürlichen und anthropogenen Quellen.

Durch die Vielfalt insbesondere von räumlicher Lage, Klima und Boden variieren Waldökosysteme oft auf kleinstem Raum. Waldökosysteme reagieren somit unter-

schiedlich auf Stressfaktoren und unterscheiden sich in ihrer Stabilität.

Nur auf großer Fläche stabile Wälder sind aber in der Lage, die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen für unsere Gesellschaft nachhaltig zu erfüllen. Deshalb sollen forstliche Maßnahmen, wie standortgerechte Baumartenwahl, Nutzungen und bei Bedarf gezielte Waldschutzmaßnahmen die Stabilität der Waldökosysteme erhalten und fördern. Aber auch in weitgehend stabilen Waldökosystemen können Stressfaktoren erhebliche Schäden verursachen.

### Früher wurden Wälder zurückgedrängt und übernutzt

Zum Verständnis für die heutigen Waldverhältnisse bedarf es eines Blickes in die Vergangenheit: Die ersten Siedler unseres Raumes rodeten Wald zunächst nur in geringem Umfang auf für die landwirtschaftliche Nutzung günstigen Flächen. Als Folge des Wachstums der Bevölkerung wurde der Wald dann aber mehr und mehr zurückgedrängt. Diese Entwicklung fand ihren Höhepunkt im ausgehenden Mittelalter. Die Wälder wurden durch hemmungslose Holzgewinnung, Waldweide und Streunutzung insbesondere im Einzugsbereich von Siedlungen so stark degradiert, dass das Holz knapp wurde und deshalb zum Teil ganze Landstriche verarmten oder gar verödeten.

### Die Idee der Nachhaltigkeit entstand

In dieser Zeit wurden die ersten Anweisungen zur pflegerischen Nutzung und zur Erhaltung des Waldes erlassen, denn aus der Not heraus entwickelte sich die Erkenntnis, dass nur so viel Holz genutzt werden darf, wie nachwächst.

Auf dieser Erkenntnis aufbauend konnte sich in Deutschland seit mehr als 200 Jahren eine Forstwirtschaft entwickeln, die die Nachhaltigkeit der Holzproduktion und deren periodische Planung und Kontrolle verfolgte. Es entstand der „Wirtschaftswald“. Heute versteht man unter

Nachhaltigkeit die dauerhafte Bereitstellung aller Waldfunktionen, d. h. der ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen und Leistungen des Waldes.

### **Waldschäden im Rückblick**

Schon in früheren Jahrhunderten waren in der Nähe von Industrieanlagen, vornehmlich von Hüttenwerken, Waldschäden zu beobachten, die auf Rauchgase zurückgeführt wurden. Dabei wurde das bei der Verfeuerung vor allem von Kohle für die Verschmelzung von Eisenerz frei werdende Schwefeldioxid für die Schäden verantwortlich gemacht. Bereits im Jahre 1883 veröffentlichten der Agrarchemiker Julius von Schröter und der Goslarer Förster Carl Reuss ein Buch über die „Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden“.

Gegen Ende der 70er-Jahre des 20. Jahrhunderts wurden ähnliche Schadsymptome beobachtet, wobei im Gegensatz zu den früheren Rauchschäden diese Neuartigen Waldschäden großflächig und fernab von Industrieanlagen auftraten. Dabei waren zunächst insbesondere die Nadelbaumarten Tanne und Fichte betroffen. Als Ursache galten der industrielle Aufschwung nach dem Zweiten Weltkrieg samt den mit ihm verbundenen Emissionen, insbesondere von Schwefeldioxid, und die zur Verbesserung der Umweltqualität in den Industriezentren angelegte „Hochschornsteinpolitik“ der 60er-Jahre.

Innerhalb weniger Jahre wiesen nach Tanne und Fichte auch nahezu alle anderen Baumarten die äußerlich sichtbaren Symptome dieser Neuartigen Waldschäden auf.

- Verlichtung der Baumkronen,
- Vergilbung von Nadeln und Blättern sowie
- Veränderung der Verzweigungsstruktur der Bäume.

Betroffen waren vor allem die den Luftströmungen in besonderem Maße ausgesetzten höheren Lagen der Mittelgebirge, wo örtlich sogar die Wälder abzusterben begannen.

Die Ergebnisse der Waldschadens- und Waldökosystemforschung haben aufgezeigt, dass die Neuartigen Waldschäden durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren verursacht werden, deren Gewicht sich von Jahr zu Jahr und mit regional unterschiedlicher Ausprägung ändern kann. Eine Schlüsselrolle spielen dabei Luftschadstoffe, insbesondere Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Ozon. Aber auch natürliche Einflussfaktoren, wie z. B. Insekten, Pilze, Temperaturextreme und Sturm belasten den Wald. Wie sich die prognostizierte anthropogene Klimaänderung auswirkt, ist derzeit nicht abschätzbar.

### **Die Politik reagierte auf Neuartige Waldschäden**

Die beobachteten Waldschäden führten zu raschem politischem Handeln auf nationaler und internationaler Ebene: Die Bundesregierung beschloss im Jahre 1983 das Aktionsprogramm „Rettet den Wald“, das eine Verbesserung der Luftreinhaltung, die Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen (z. B. Bodenschutzkalkungen), die Förderung einer interdisziplinären Waldschadens- und Waldökosystemforschung sowie die jährliche Überwachung der Waldschäden und Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen beinhaltet. Seit 1984 führen die Länder die Waldschadenserhebung nach einem einheitlichen, von Wissenschaftlern entwickelten und vom Bund koordinierten Verfahren durch. Da derartige Waldschäden in anderen Staaten gleichfalls beobachtet wurden, finden seit 1986 Maßnahmen der Waldzustandsüberwachung auch auf europäischer Ebene statt. Die Waldzustandsüberwachung ist damit eines der umfassendsten Biomonitoringverfahren in Europa.

Das Anfang der 80er-Jahre angesichts der toten Waldbestände im Erzgebirge insbesondere von den Medien und einigen Wissenschaftlern prognostizierte großflächige „Waldsterben“ ist nicht eingetreten. Nichtsdestoweniger sind die noch immer zu beobachtenden Waldschäden sehr ernst zu nehmen. Die Politik der Luftreinhaltung sowie die Überwachung des Gesundheitszustandes unseres Waldes müssen deshalb fortgesetzt werden.

## II. Zustand der Wälder und Einflussfaktoren

### II.1 Aufbau des forstlichen Umweltmonitoring

Das forstliche Umweltmonitoring wurde aufgebaut, um den Waldzustand anhand verschiedener Indikatoren erfassen und bewerten, daraus Maßnahmen ableiten und deren Wirkung abschätzen zu können. Erst aus der Verknüpfung von Informationen aus verschiedenen Erhebungen des forstlichen Umweltmonitoring können sichere Erkenntnisse zu den Ursache-Wirkungsbeziehungen sowie Maßnahmen gegen Neuartige Waldschäden abgeleitet werden.

Das forstliche Umweltmonitoring umfasst drei Elemente:

- Erhebungen auf einem systematischen, ganz Deutschland überziehenden Stichprobennetz, die flächenrepräsentative Informationen über den Waldzustand und dessen Entwicklung bereitstellen („Level I“),
- intensive Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren auf Dauerbeobachtungsflächen („Level II“),
- Waldökosystemforschung für spezielle Fragestellungen.

Bei der Auswertung dieser drei Elemente werden auch Aspekte anderer Untersuchungen der Länder auf Bodendauerbeobachtungsflächen und Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden berücksichtigt. Es bestehen vielfache Verbindungen zu weiteren Erhebungen, die für Auswertungen genutzt werden können. Die Länder führen die Erhebungen durch und werten sie aus. Der Bund koordiniert die Arbeiten und fasst ein Bundesergebnis zusammen. Die dabei angewandten Erhebungs- und Analyseverfahren wurden von Wissenschaftlern der beteiligten Disziplinen erarbeitet. Sie werden laufend mit Blick auf den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt überprüft. Die in Deutschland durchgeführten Maßnahmen der Waldzustandsüberwachung sind in das europäische Monitoringprogramm der Europäischen Union und der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa eingebunden.

Die Erhebungen auf dem systematischen Stichprobennetz umfassen die jährliche Waldschadenserhebung und die bisher einmalige Bodenzustandserhebung im Wald. Die Waldschadenserhebung dient dazu, mit vertretbarem Aufwand zeitnahe Aussagen über die Vitalität der Wälder und deren Entwicklung bereitzustellen. Erhebungen auf dem systematischen Stichprobennetz garantieren die sichere Erfassung des aktuellen Waldzustandes für die gesamte Waldfläche. Von der Waldschadenserhebung sind entscheidende Impulse für den schrittweisen Aufbau einer intensiven Waldökosystemforschung ausgegangen.

Die im Rahmen der Waldschadenserhebung gewonnenen Daten werden in zahlreichen Forschungsvorhaben genutzt.

Bei der Waldschadenserhebung wird der Kronenzustand (insbesondere die Kronenverlichtung und Vergilbung von Nadeln und Blättern) von Stichprobenbäumen als Weiser für die Vitalität der Wälder ermittelt. Der Bund ermittelt aus den Länderdaten der Waldschadenserhebungen ein Bundesergebnis und stellt es in seinem jährlichen Bericht über den Zustand des Waldes dar. Die Daten einer Teilstichprobe (16 km x 16 km) werden seit 1987 für den europäischen Waldzustandsbericht und seit 1998 für den Bundesbericht ausgewertet.

Zur Erfassung des aktuellen Waldbodenzustandes und dessen Veränderungen im Laufe der Zeit wurde von den Ländern zwischen 1987 und 1993 die erste bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) durchgeführt. Dabei wurden von den Ländern auf einem Teil dieser Erhebungspunkte zusätzlich Nadel-/Blattanalysen zur Bestimmung des Ernährungszustandes der Waldbäume durchgeführt. Der Bund hat die Ergebnisse im „Deutschen Waldbodenbericht 1996“ zusammengestellt.

Die Durchführung der Waldschadenserhebung, der Bodenzustandserhebung und der Nadel- und Blattanalysen auf demselben Stichprobennetz ermöglicht neben der Erfüllung der Aufgaben der jeweiligen Erhebung auch eine statistische Verknüpfung der gewonnenen Daten, eine so genannte „integrierende Auswertung“.

Die Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen auf Dauerbeobachtungsflächen (Level II) als zweites Element im Konzept der Waldzustandsüberwachung umfasst eingehende Untersuchungen an einer begrenzten Zahl ausgewählter Waldstandorte. Diese Probestellen sind im Gegensatz zu Level I nicht an ein Gitternetz gebunden. Sie stellen Fallstudien von häufig in Deutschland vorkommenden Waldökosystemen dar. Das von den Ländern durchgeführte Untersuchungsprogramm umfasst u. a. Beobachtungen des Kronenzustandes, Boden- sowie Nadel- und Blattanalysen, Zuwachs-, Depositions- und Luftkonzentrationsmessungen, Analysen des Sickerwassers, Aufnahmen der Bodenvegetation sowie meteorologische Messungen. Daneben werden von einigen Ländern ergänzende Untersuchungen (z. B. an Wurzeln) durchgeführt. Level II als europaweites Programm wurde auf Initiative und mit Förderung der EU im Jahre 1994 eingerichtet. Es umfasst in Deutschland 89 Flächen, darunter auch solche, die von den Ländern bereits seit Ende der 70er-Jahre im Rahmen der Waldschadensforschung eingerichtet wurden.

Die intensivste Stufe des forstlichen Umweltmonitoring stellt die Waldökosystemforschung der verschiedenen Forschungsträger dar. In Deutschland wird sie in zwei Großprojekten und weiteren Verbundprojekten durchgeführt, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert werden. Hier werden vor allem ökosystemare Prozesse wie z. B. Stoffflüsse möglichst umfassend erhoben und bewertet.

## II.2 Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitoring

### II.2.1 Kronenzustand

#### Methode

Die Waldschadenserhebung ist eine Stichprobeninventur, die flächenbezogene Aussagen über den Waldzustand in Deutschland liefert. Als wichtigster Vitalitätsweiser für den Waldzustand wird dabei insbesondere die Verlichtung der Baumkronen erfasst (auch als Nadel-/Blattverlust bezeichnet).

#### Ansprache der Kronenverlichtung

Für jeden Probebaum wird die Kronenverlichtung im Vergleich zu einem voll belaubten Referenzbaum in 5 %-Stufen eingeschätzt. Dabei werden nur die Bereiche der Baumkrone berücksichtigt, die sich ohne störende Einflüsse durch benachbarte Baumkronen oder Lichtmangel entwickeln konnten.

Da die Regulierung der Kronendichte in einem gewissen Rahmen eine vitale Reaktion der Bäume auf verschiedene äußere Stressoren sein kann, darf nicht jede Kronenverlichtung als Waldschaden interpretiert werden. Kronenverlichtungen sind jedoch in jedem Fall ein Indikator für Belastungen. Zunehmende Kronenverlichtungen sind ein Alarmsignal, das eine Gefährdung der Wälder anzeigt.

#### Schadstufen

Kronenverlichtungen und Vergilbungen, die zu einer Heraufsetzung der Schadstufe führen können, werden in folgende Schadstufen eingeteilt:

Verlichtungsstufe	Verlichtungsprozent	Vergilbung der vorhandenen Nadeln/Blätter				Vergilbungsstufe Vergilbungsprozent	
		0 0-10%	1 11-25%	2 26-60%	3 61-100%		
Kronenverlichtung	0	0-10 %	0	0	1	2	} Schadstufe
	1	11-25 %	1	1	2	2	
	2	26-60 %	2	2	3	3	
	3	61-99 %	3	3	3	3	

„Die Stufe 0 „gesund“ oder „ohne Schadmerkmale“ wurde mit 0 bis 10 % Nadel- bzw. Blattverlust eng gefasst. Dies ist verständlich, wenn man die ersten Bonitierungen der Dauerbeobachtungsflächen Ende der 70er- oder Anfang der 80er-Jahre betrachtet. Hier lagen die durchschnittlichen Nadel- bzw. Blattverluste häufig in diesem Bereich. Die Bäume der Stufe 1 mit 11 bis 25 % Nadel- bzw. Blattverlust wurden als „kränkelnd“ oder „schwach geschädigt“ bezeichnet. Die seitherigen Erfahrungen und Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die natürlichen Schwankungen der Benadelungs- bzw. Belaubungsdichte in diese Stufe hineinreichen. Sie ist deshalb als „Übergangsstufe“ oder „Warnstufe“ zu interpretieren. Für die Darstellung der Schadenserhebungen folgt daraus, dass erst von der Schadstufe 2 ab, d. h. bei mehr als 25 % Nadel- bzw. Blattverlust eindeutige Schäden festzustellen sind, dass also nur die Stufen 2 bis 4 die geschädigte Waldfläche repräsentieren. Sie können deshalb auch zusammengefasst in Tabellen, Graphiken oder Karten als „deutliche Schäden“ dargestellt werden. Die Stufen 0 und 1 sind jeweils getrennt aufzuführen“ (3. Bericht des Forschungsbeirates Waldschäden/Luftverunreinigungen)

#### Mittlere Kronenverlichtung

Der Bericht über den Zustand des Waldes enthält neben den Schadstufen als ergänzendes Instrument der Ergebnisdarstellung die mittlere Kronenverlichtung. Sie ist der Mittelwert der in 5 %-Stufen eingeschätzten Kronenverlichtung aller Einzelbäume. Die mittlere Kronenverlichtung charakterisiert den Kronenzustand unabhängig von den festgelegten Schadstufengrenzen. Allerdings ist aus ihr nicht die Bandbreite der Verlichtungsgrade ersichtlich.

### Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung

Die Verteilung der in 5 %-Stufen angesprochenen Kronenverlichtung nach ihrer Häufigkeit ermöglicht im Vergleich mit dem Vorjahr eine detaillierte Aussage zum Bereich der Veränderungen.

### Stichprobenverfahren

Die Waldschadenserhebung wird in Deutschland jährlich auf einem bundesweiten systematischen Stichprobennetz durchgeführt.

In den meisten Ländern werden die Stichprobenbäume nach folgendem Verfahren ausgewählt: An jedem Probepunkt werden im Abstand von 25 m in den vier Haupthimmelsrichtungen jeweils die sechs nächsten Bäume als Probebäume dauerhaft markiert. Dies sind nur vorherrschende, herrschende und mitherrschende Bäume des Bestandes. Ausscheidende Probebäume werden durch ihren nächsten Nachbarn ersetzt. Die Aufnahmen erfolgen im Juli und August eines jeden Jahres.

Seit Beginn der Waldschadenserhebung werden forstlich ausgebildete und speziell geschulte Teams eingesetzt. Landes-, bundes- und europaweite Abstimmungen dienen einer objektiven Ansprache des Vitalitätszustandes.

Im Rahmen der Waldschadenserhebung wurde im Sommer 2000 an 13 722 Probebäumen auf 444 Probepunkten der Kronenzustand im 16 km x 16 km-Raster angesprochen. Die Stichprobe erfasst 38 Baumarten. Dabei entfallen rund 85 % der Probebäume auf die vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Für die Auswertung werden die Baumarten zu folgenden sechs Gruppen zusammengefasst: Fichte, Kiefer, Buche, Eiche, sonstige Nadelbäume, sonstige Laubbäume. Die Zeitreihen der Waldschadenserhebung liefern für Aussagen auf Bundesebene zuverlässige Informationen über die Entwicklung der Kronenverlichtung insgesamt sowie für die Hauptbaumarten.

Die folgenden Zeitreihen stellen die Entwicklung des Waldzustandes für Deutschland seit 1984 auf der Grundlage des 16 km x 16 km Stichprobennetzes dar. Die Angaben für die Jahre bis 1989 gelten nur für die alten Länder. Getrennte Auswertungen der Altersgruppen jünger als 60 Jahre und älter als 60 Jahre können erst ab 1987 dargestellt werden, weil die hierzu benötigten Daten für frühere Jahre nicht vorliegen.

## Ergebnisse im Überblick<sup>1</sup>

### Gesamtwald

Im Bundesdurchschnitt stieg 1999 und 2000 in der zusammenfassenden Betrachtung aller Baumarten der

Flächenanteil deutlicher Schäden jeweils im Vergleich zum Vorjahr um 1 %-Punkt an und liegt nun bei 23 %. Somit deutet sich eine leichte Verschlechterung an. Allerdings bewegen sich die jährlichen Veränderungen seit 1995 in einem sehr engen, statistisch nicht gesicherten Bereich. Der Flächenanteil deutlicher Schäden hat sich seit 1995 nur noch geringfügig geändert und hat Werte wie zu Beginn der Erhebung 1984 (Abbildung 1). Gleichzeitig nahm der Flächenanteil der Bäume ohne Schäden im Beobachtungszeitraum auf 35 % ab.

Die Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung (Abbildung 3) zeigt im Wesentlichen auch den bei den Schadstufen aufgezeigten zeitlichen Trend.

### Ergebnisse für die einzelnen Baumarten

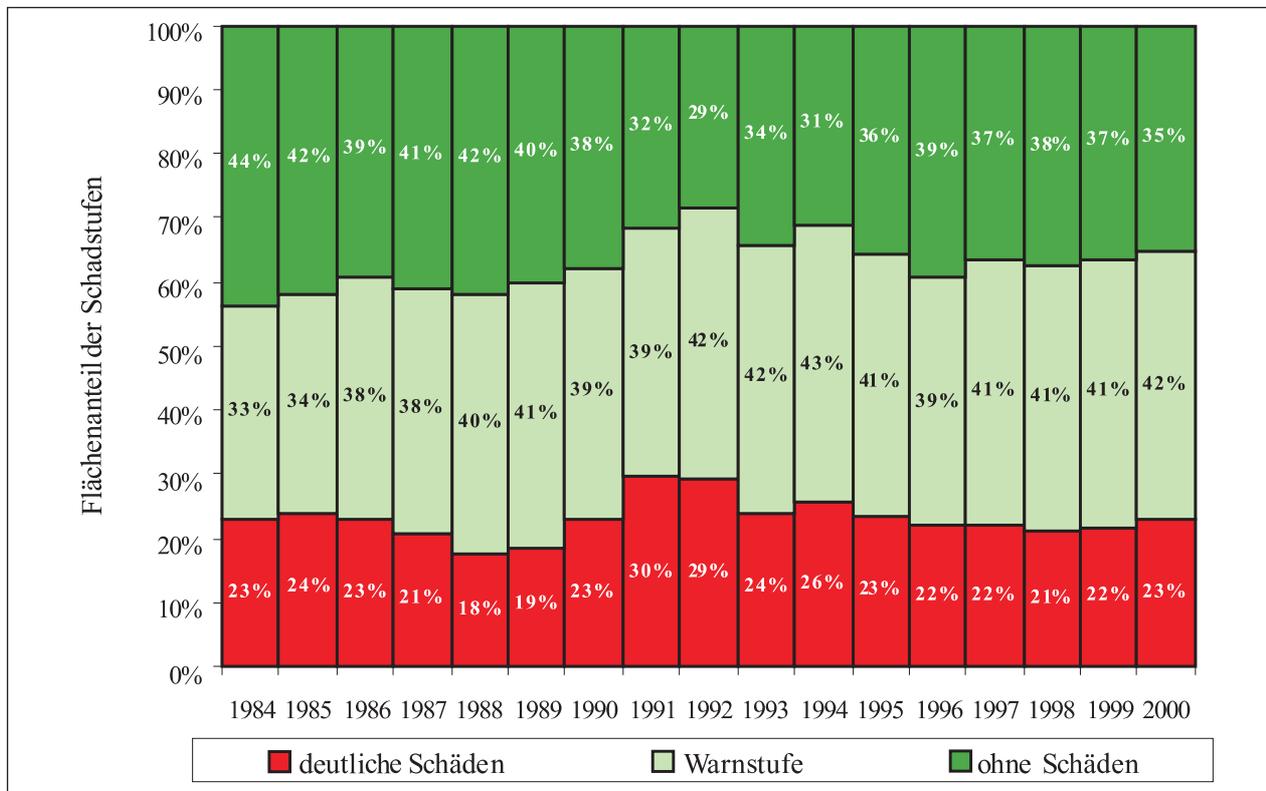
#### Fichte

Die Fichte ist mit etwa 33 % Anteil an der Waldfläche die häufigste Baumart in Deutschland. Wie im Vorjahr weisen in diesem Jahr 25 % der Fichtenfläche deutliche Schäden auf. Das Schadniveau liegt damit unter den zu Beginn der Erhebungen ermittelten Werten (Abbildung 4). Der Flächenanteil der Fichten ohne erkennbare Schäden hat sich gegenüber 1999 verringert. Bei der mittleren Kronenverlichtung ist kein langfristiger Trend erkennbar (Abbildung 6). Phasen mit relativ gutem Kronenzustand liegen zwischen 1987 und 1990 sowie 1996.

Die Veränderungen innerhalb der 5 %-Stufenverteilung gegenüber dem Vorjahr sind in Abbildung 5 dargestellt. Kronenverlichtungen bis 10 % nahmen ab. Im Bereich von 25 % bis 55 % wurde eine Zunahme verzeichnet.

<sup>1</sup> In Bayern und im Saarland wurde 1990 wegen Sturmschäden keine Waldschadenserhebung durchgeführt. Die Daten der Erhebung 1989 dieser Bundesländer wurden auch für die Auswertung 1990 verwendet. Auf diese Art und Weise konnte ein Gesamtüberblick erreicht werden.

**Abbildung 1: Entwicklung der Schadstufenanteile für alle Baumarten (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 13 722 Bäume)**



**Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für alle Baumarten (dunkelgrün: Schadstufe 0, hellgrün: Schadstufe 1, rot: Schadstufe 2-4)**

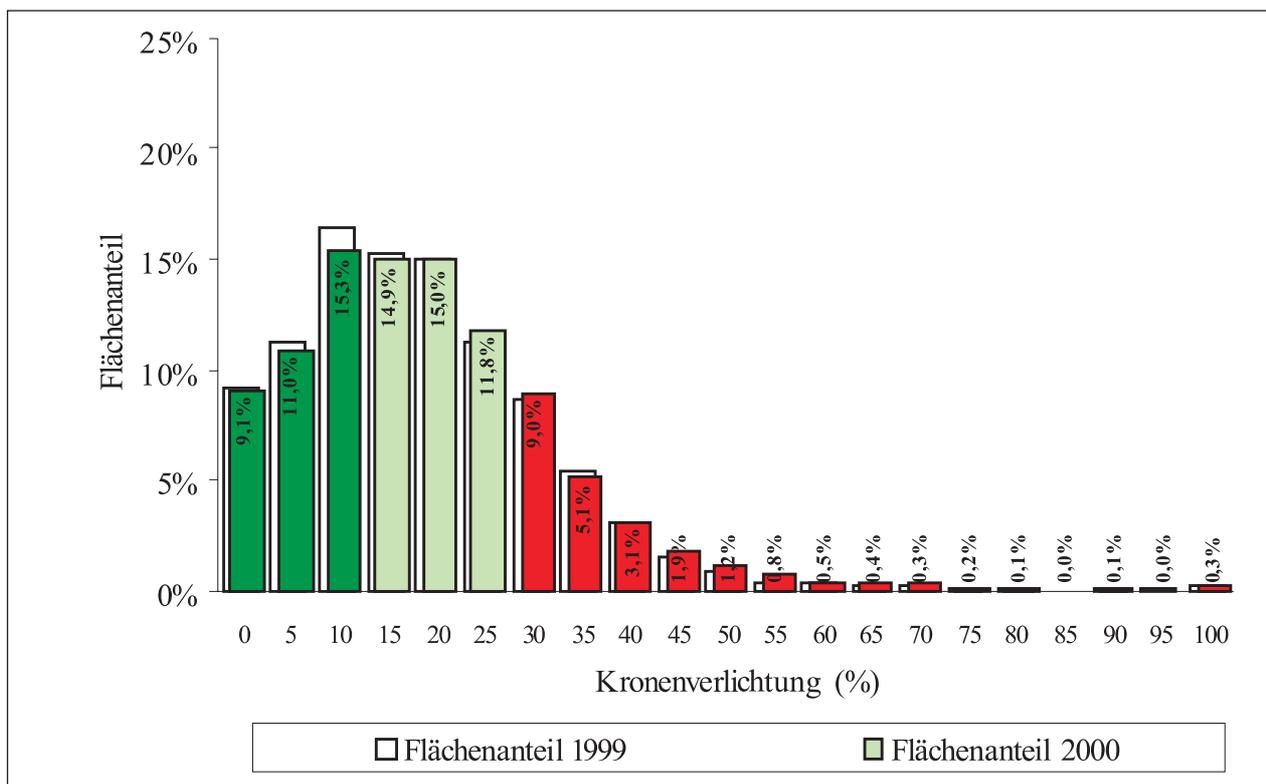


Abbildung 3: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten

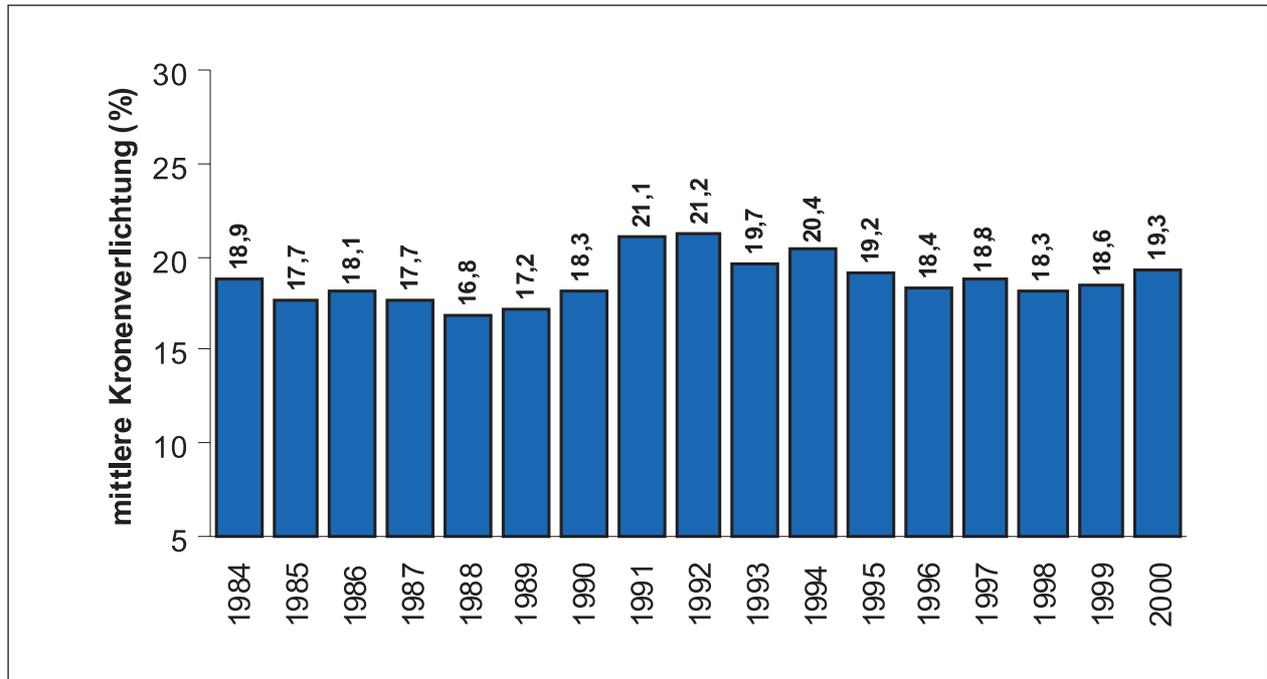


Abbildung 4: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Fichte (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 4838 Bäume)

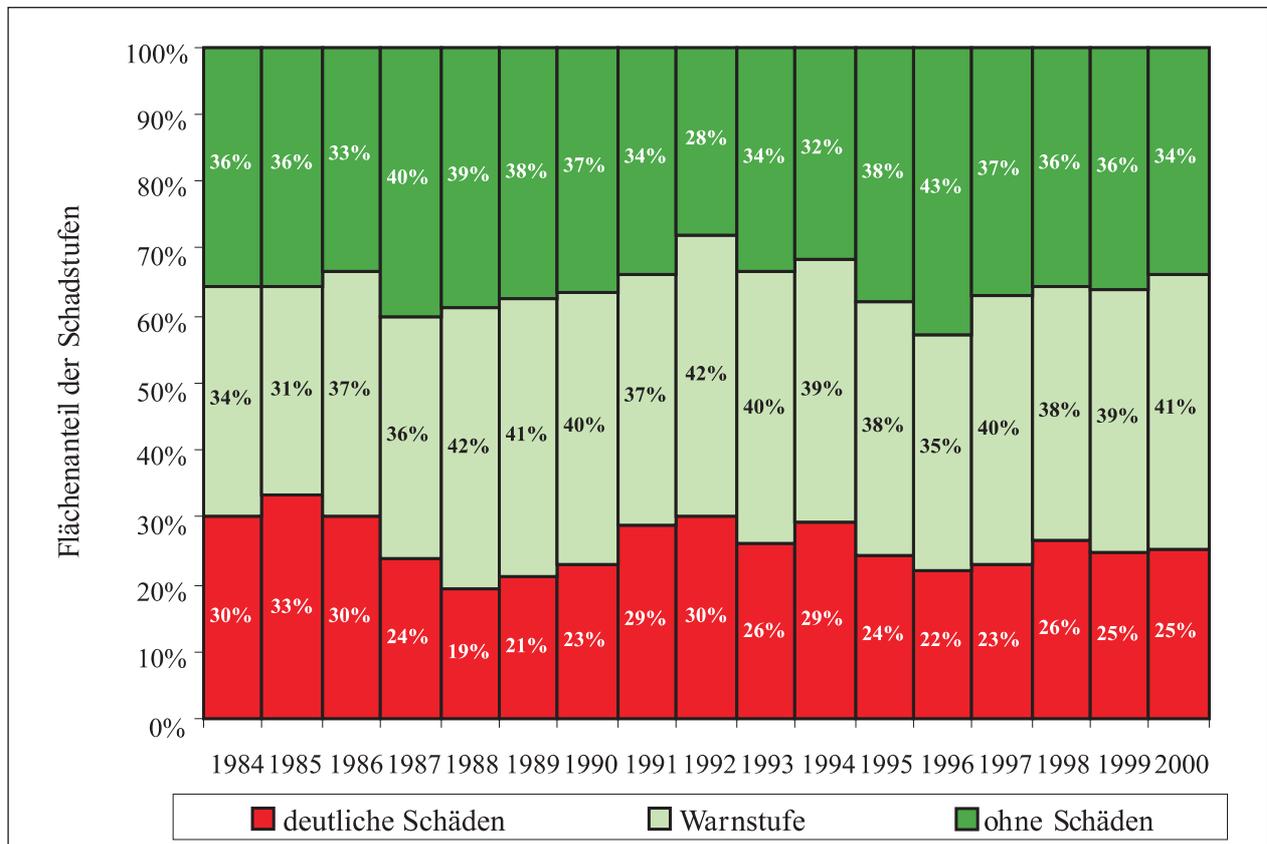


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung der Baumart Fichte (dunkelgrün: Schadstufe 0, hellgrün: Schadstufe 1, rot: Schadstufe 2-4)

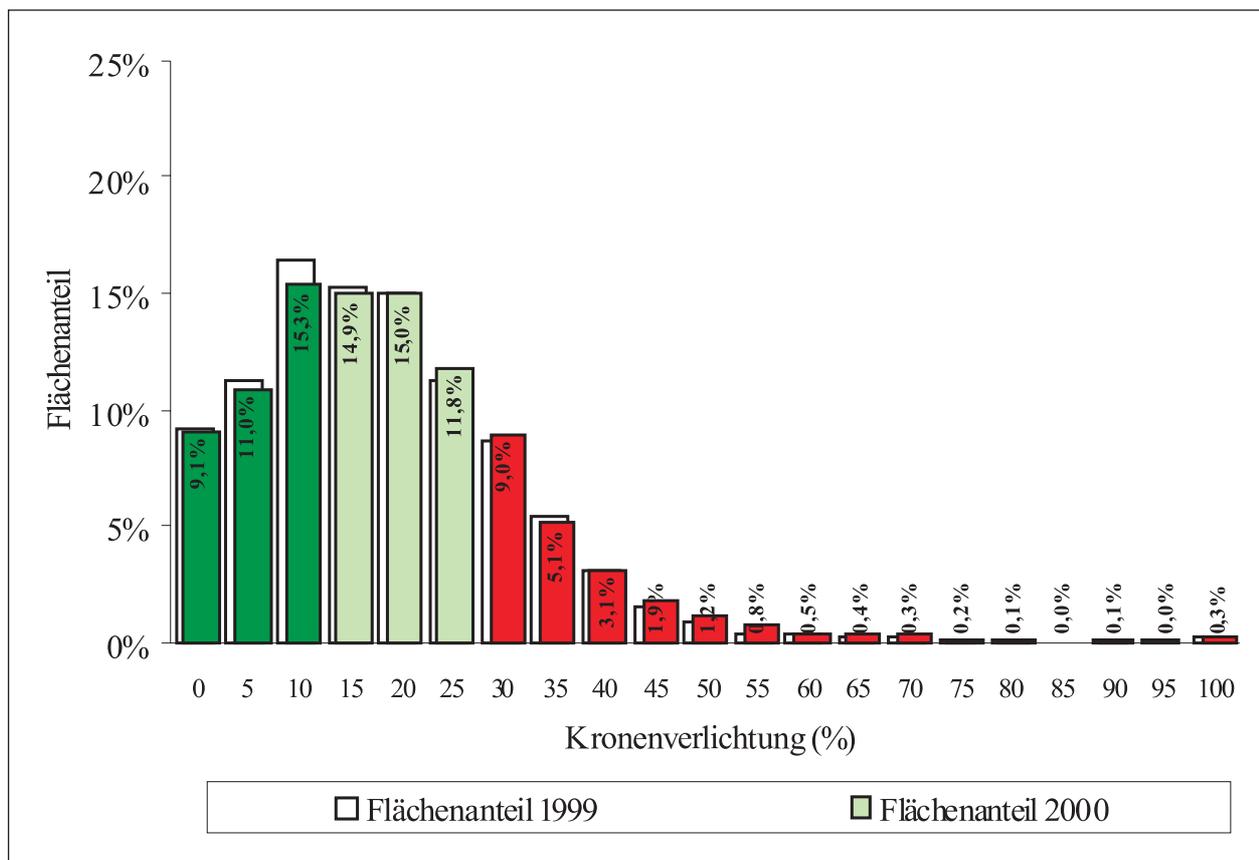
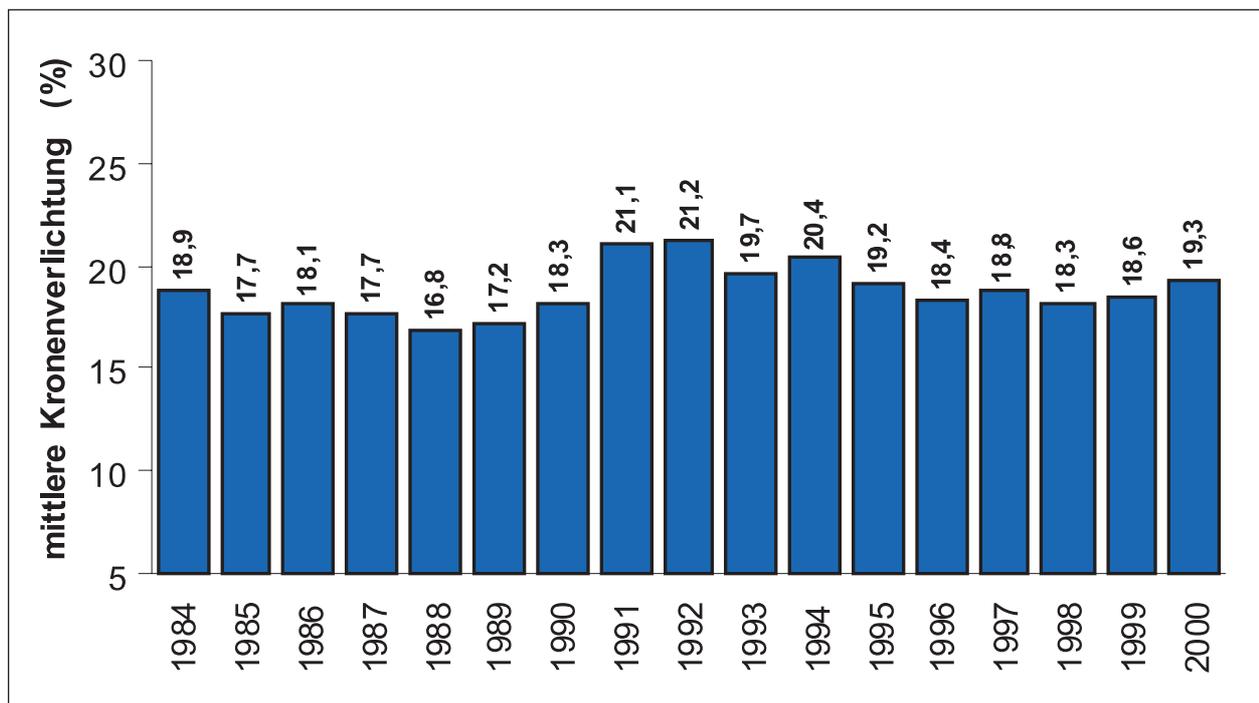
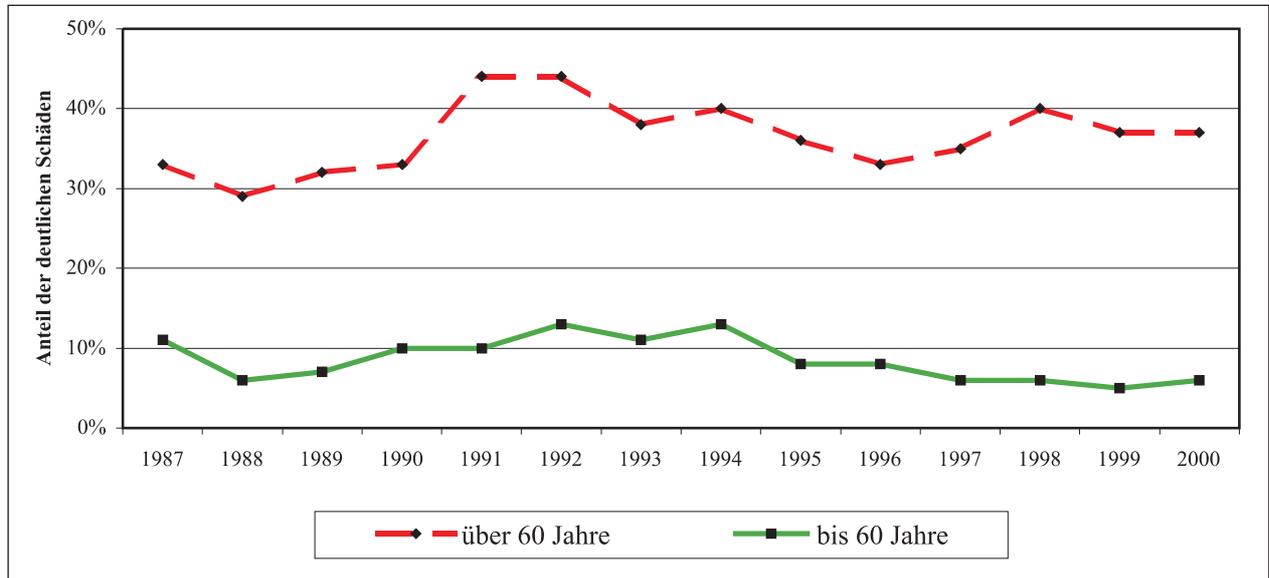


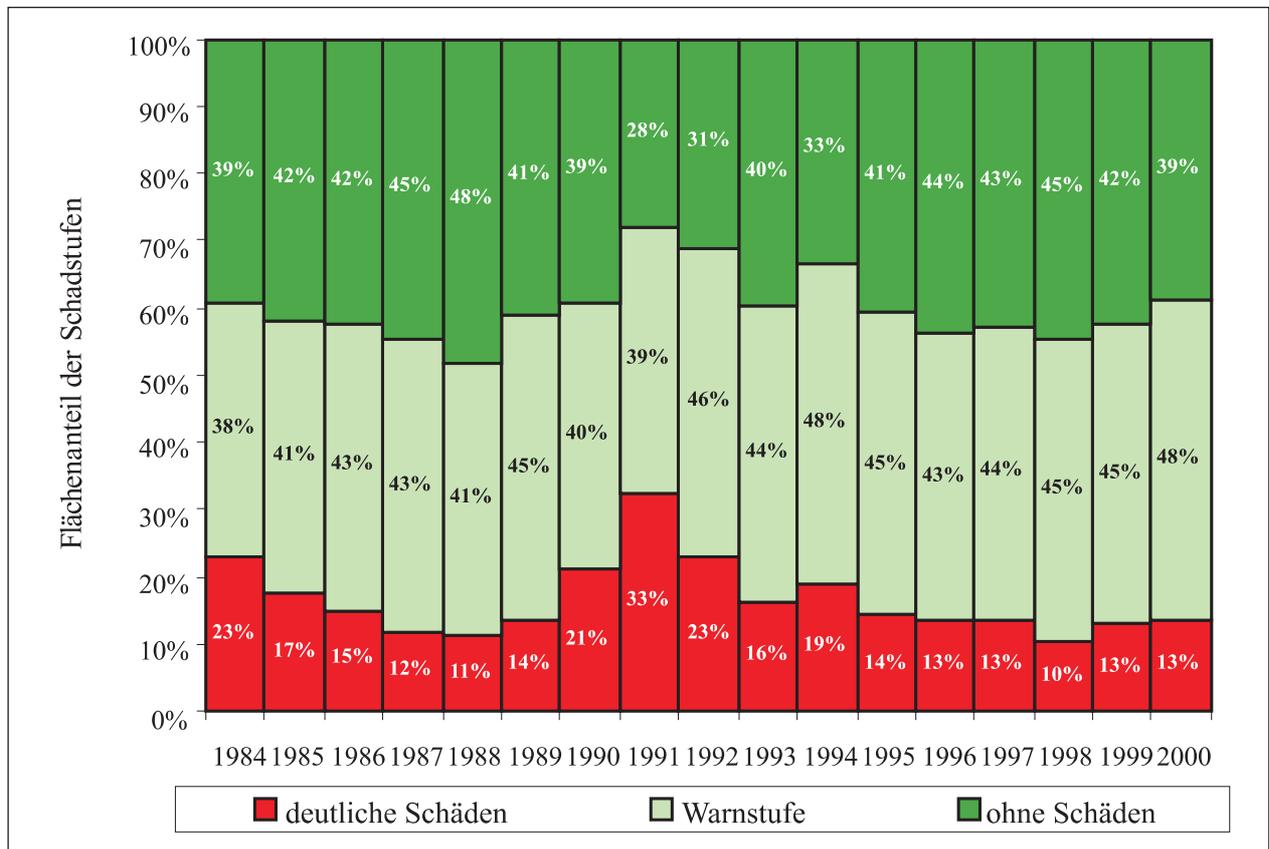
Abbildung 6: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Fichte



**Abbildung 7: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Fichte**  
 < 60 Jahre: 1 595 Bäume  
 > 60 Jahre: 3 223 Bäume



**Abbildung 8: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Kiefer (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 4 009 Bäume)**



Der Grad der Kronenverlichtung steigt mit dem Bestandesalter stark an (Abbildung 7). Bei den über 60 Jahre alten Bäumen sind die deutlichen Schäden wesentlich häufiger als bei jüngeren.

**Kiefer**

Die Kiefer ist mit 28 % Anteil an der Waldfläche die zweithäufigste Baumart in Deutschland. Mit einem Flächenanteil deutlicher Schäden von 13 % weist sie weiterhin den niedrigsten Wert der vier Hauptbaumarten auf. Der Flächenanteil der deutlichen Schäden hat sich im Vergleich zum Vorjahr nicht geändert, jedoch ist der Flächenanteil ohne sichtbare Schäden geringer geworden. Zwischen 1988 und 1991 stieg das Schadniveau bei Kiefer stark an. Nach einer raschen Verbesserung insbesondere in den neuen Ländern innerhalb weniger Jahre haben die Kronenverlichtungen bundesweit nun wieder das Niveau wie Ende der 80er-Jahre (Abbildung 8). Bei der mittleren Kronenverlichtung ist kein langfristiger Trend er-

kennbar (Abbildung 10). Eine Phase mit relativ hoher Kronenverlichtung liegt zwischen 1991 und 1992 sowie 1994.

Veränderungen innerhalb der 5 %-Stufenverteilung gegenüber dem Vorjahr sind in Abbildung 9 dargestellt. Die Häufigkeiten zwischen 0 % und 15 % Kronenverlichtung haben abgenommen. Zugenommen hat die Kronenverlichtung dagegen zwischen 20 % und 30 %.

Der Flächenanteil deutlich geschädigter Bäume ist bei Kiefer über 60 Jahre wesentlich höher als bei Bäumen unter 60 Jahre. Bis 1994 war die Entwicklung des Anteils deutlicher Schäden für beide Altersgruppen ähnlich. Von 1995 bis 1997 verharrte der Anteil bei den über 60-jährigen Bäumen bei 19 % bis 20 %, während er bei den jüngeren Bäumen kontinuierlich abnahm. Im Vorjahr war gegenüber 1998 in beiden Altersgruppen eine Zunahme der deutlichen Schäden zu verzeichnen. In diesem Jahr gibt es bei den über 60-jährigen Kiefern erneut eine leichte Zunahme des Flächenanteils deutlicher Schäden.

**Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Kiefer (dunkelgrün: Schadstufe 0, hellgrün: Schadstufe 1, rot: Schadstufe 2-4)**

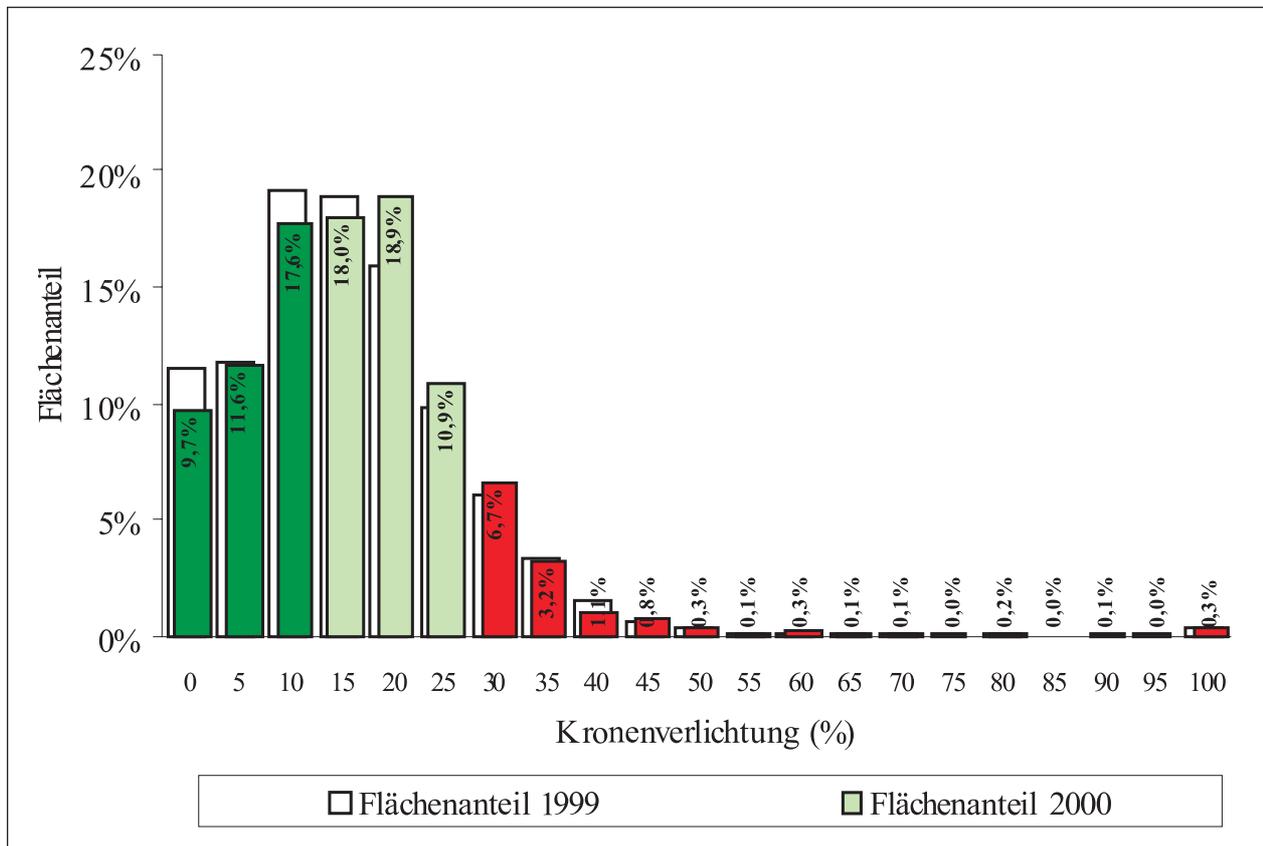


Abbildung 10: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Kiefer

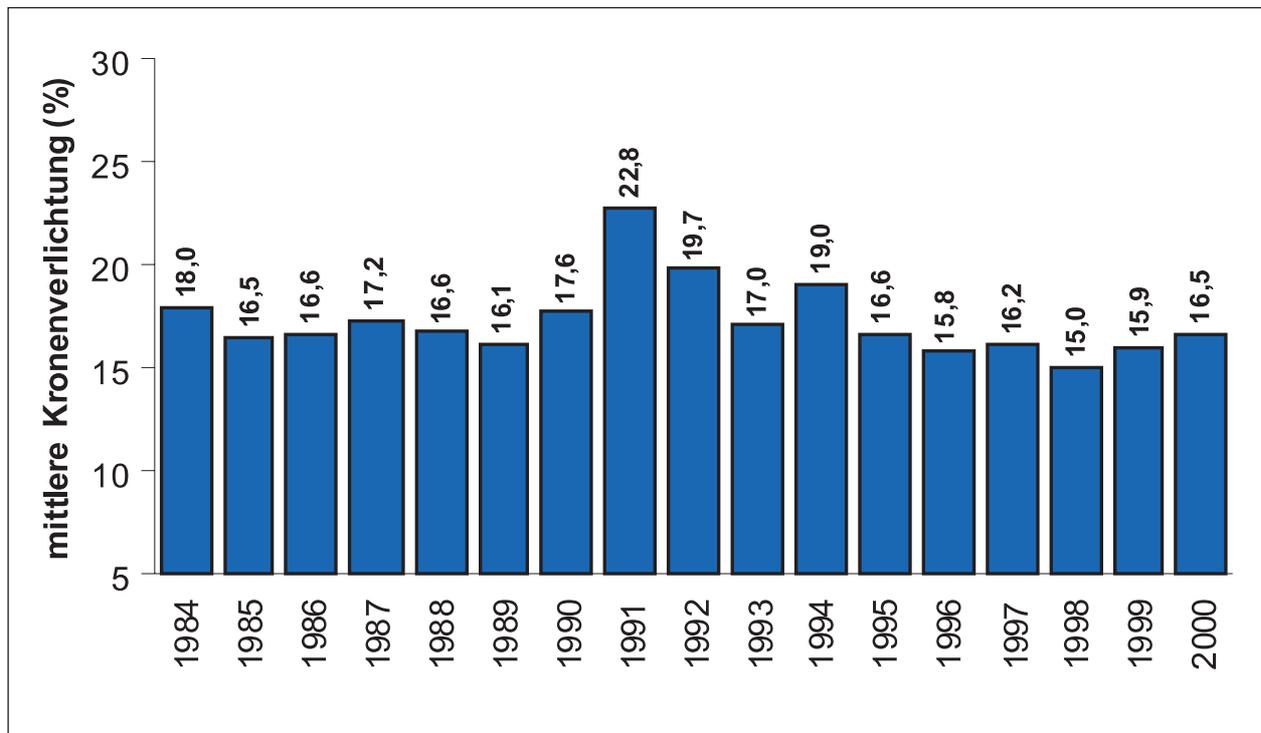
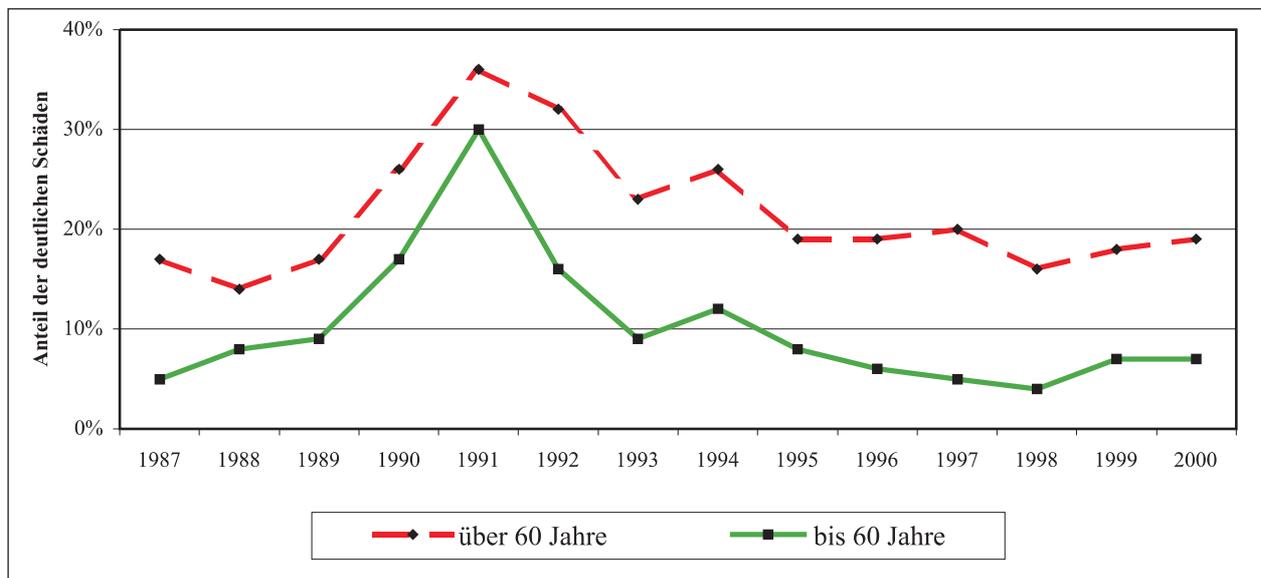


Abbildung 11: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Kiefer  
 < 60 Jahre: 1 674 Bäume  
 > 60 Jahre: 2 314 Bäume



**Buche**

Die Buche ist mit ca. 14 % Anteil an der Waldfläche die häufigste Laubbaumart in Deutschland. Sie weist nach einem Anstieg um 8 %-Punkte auf 40 % gegenüber dem Vorjahr ihren höchsten Flächenanteil deutlicher Schäden im Beobachtungszeitraum auf. Die Buche ist damit in diesem Jahr die Hauptbaumart mit der höchsten Kronenverlichtung. Solche sprunghaften Zunahmen der Kronenverlichtungen hat es bei der Buche bereits in den Jahren 1987, 1990, 1992 und 1995 gegeben. Im Folgejahr ist der Anteil der deutlichen Schäden dann stets erheblich, jedoch nicht auf das vorherige Niveau zurückgegangen. Im 17-jährigen Beobachtungszeitraum stieg der Anteil von Bäumen mit deutlichen Schäden bei der Buche mit größeren jährlichen Schwankungen erheblich an und liegt nun deutlich über dem Ausgangsniveau von 1984.

Die Häufigkeitsverteilung zeigt eine Abnahme über fast die gesamte Breite der Schadstufen 0 und 1 und ebenso eine Zunahme über die gesamte Breite der Schadstufen 2 bis 4 (Abbildung 13).

Die Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bestätigt den schon für die Schadstufenverteilung erklärten Trend (Abbildung 14).

Wie bei den anderen Hauptbaumarten sind auch bei Buche über 60-jährige Bäume von deutlichen Schäden stärker betroffen als jüngere (Abbildung 15). Der Zustand der jüngeren Bäume hat sich seit 1995 spürbar verbessert und ist gegenüber dem Vorjahr unverändert. Bei den älteren Bäumen über 60 Jahre haben die deutlichen Schäden seit dem letzten Jahr um 12 %-Punkte zugenommen.

**Abbildung 12: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Buche (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 2 051 Bäume)**

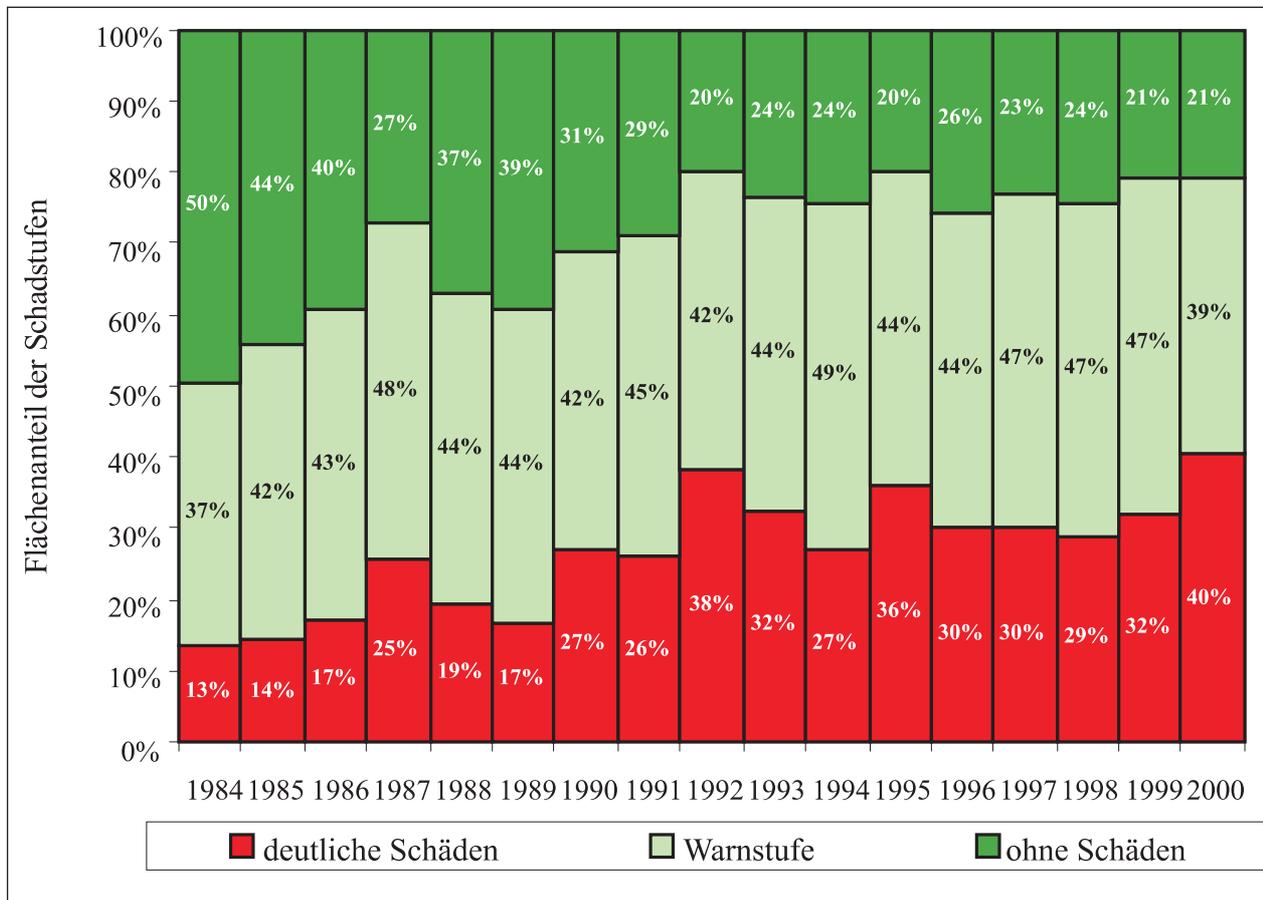


Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Buche (dunkelgrün: Schadstufe 0, hellgrün: Schadstufe 1, rot: Schadstufe 2-4)

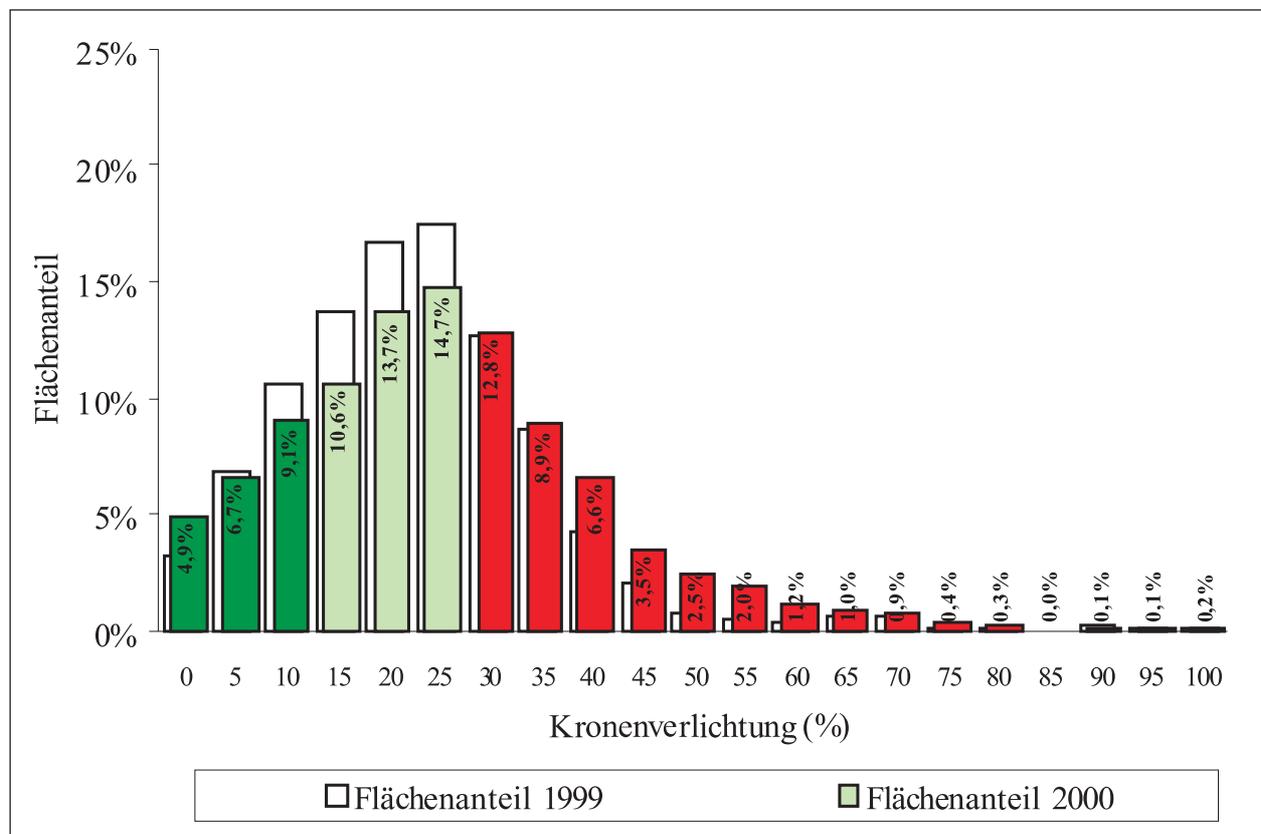
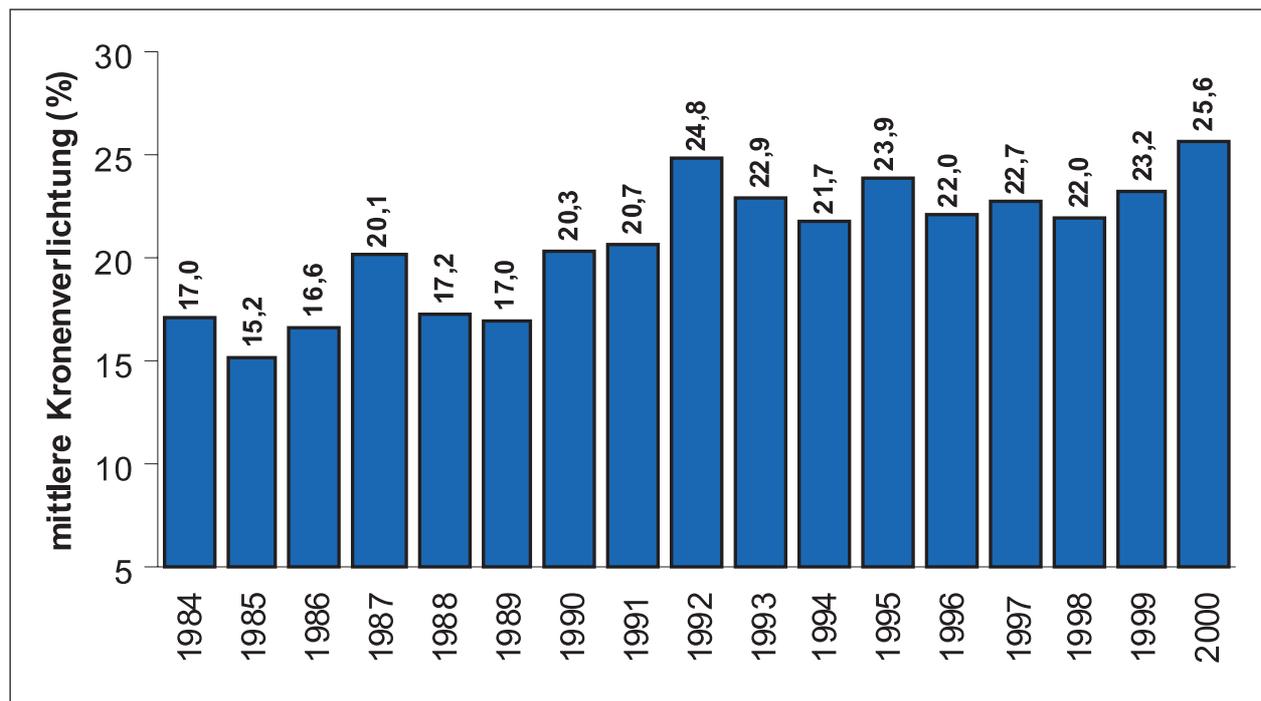
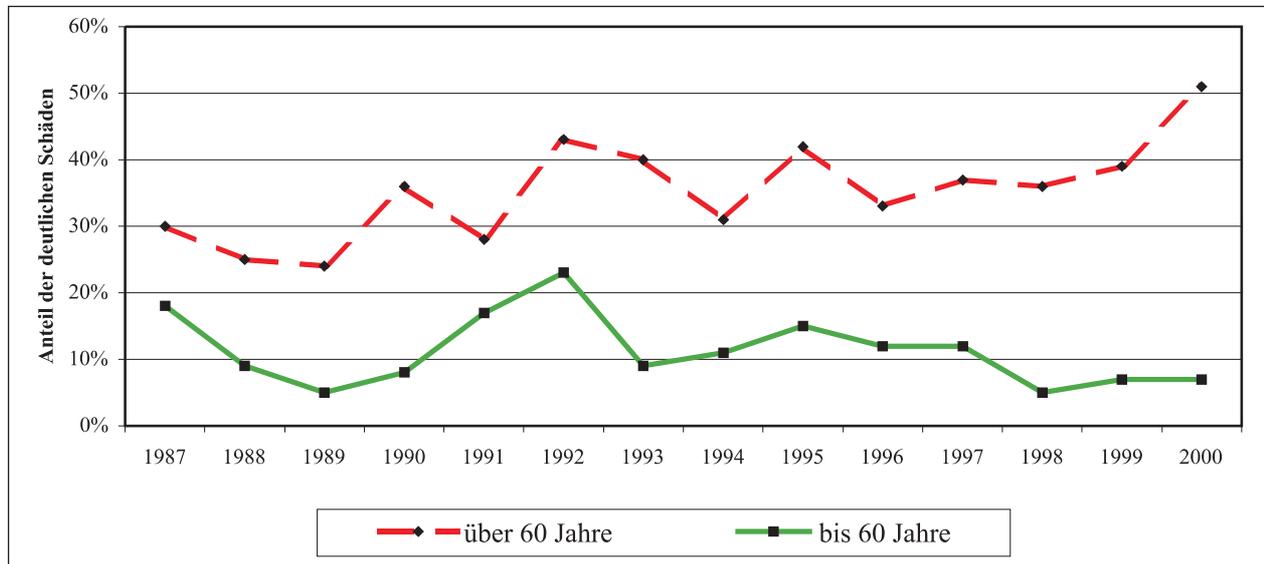


Abbildung 14: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Buche



**Abbildung 15: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Buche**  
 < 60 Jahre: 480 Bäume  
 > 60 Jahre: 1 561 Bäume



### Eiche

Die Eiche ist mit ca. 9 % Anteil an der Waldfläche die vierthäufigste Baumart in Deutschland.

Das Schadniveau stieg zwischen 1984 und 1997 bei dieser Baumart weitgehend kontinuierlich an. Der Flächenanteil deutlicher Schäden ist im Jahr 2000 mit 35 % wieder auf den Stand zu Beginn der 90er-Jahre zurückgegangen (Abbildung 16). Diese erfreuliche Entwicklung darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass das Schadniveau im Vergleich zum Beginn des Beobachtungszeitraums nach wie vor hoch ist und daher weiterhin Anlass zur Sorge besteht.

Die Verbesserung des Kronenzustandes gegenüber dem Vorjahr ergibt sich aus einer Abnahme der Häufigkeit von Kronenverlichtungen zwischen 30 und 85 % und einer entsprechenden Zunahme zwischen 15 und 25 % (Abbildung 17).

Die Darstellung der mittleren Kronenverlichtungen in Abbildung 18 zeigt, dass bei der Eiche größere Veränderungen von Jahr zu Jahr recht häufig sind. Dies ist großteils durch Umwelteinflüsse wie Blattfraß durch Insekten und Witterungseinflüsse zu erklären. Zudem sind die für Eiche ermittelten Werte aufgrund des geringen Stichprobenumfangs mit einer gewissen Unschärfe behaftet.

Die Abnahme des Flächenanteils deutlicher Schäden im Vergleich zum Vorjahr betrifft die jüngeren und älteren Eichen gleichermaßen (Abbildung 19).

### Andere Nadelbäume

Für die Gruppe der „anderen Nadelbäume“ (vor allem Lärche, Douglasie, Tanne) liegt die Kronenverlichtung seit vier Jahren mit etwa 25 % auf ihrem niedrigsten Niveau seit dem Beginn der Waldschadenserhebung im Jahre 1984 (Abbildung 20). Gegenüber dem Vorjahr hat die Fläche mit deutlichen Schäden allerdings um 1 %-Punkt zugenommen, während die Fläche ohne sichtbare Schäden um 1 %-Punkt abgenommen hat. Diese Veränderungen liegen jedoch in einem statistisch nicht gesicherten Bereich.

### Andere Laubbäume

Bei der Gruppe der „anderen Laubbäume“ (vor allem Esche, Ahorn, Birke, Erle, Hainbuche, Linde, Pappel) beläuft sich der Flächenanteil der deutlichen Schäden in diesem Jahr auf 12 % und liegt somit um 1 %-Punkt höher als im Vorjahr. Auch die Fläche ohne sichtbare Schäden hat um 3 %-Punkte zugenommen, sodass daraus insgesamt eine leichte Verbesserung abgeleitet werden kann (Abbildung 21). Allerdings bewegen sich die jährlichen Veränderungen seit 1995 in einem sehr engen, statistisch nicht gesicherten Bereich.

Abbildung 16: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Eiche (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 751 Bäume)

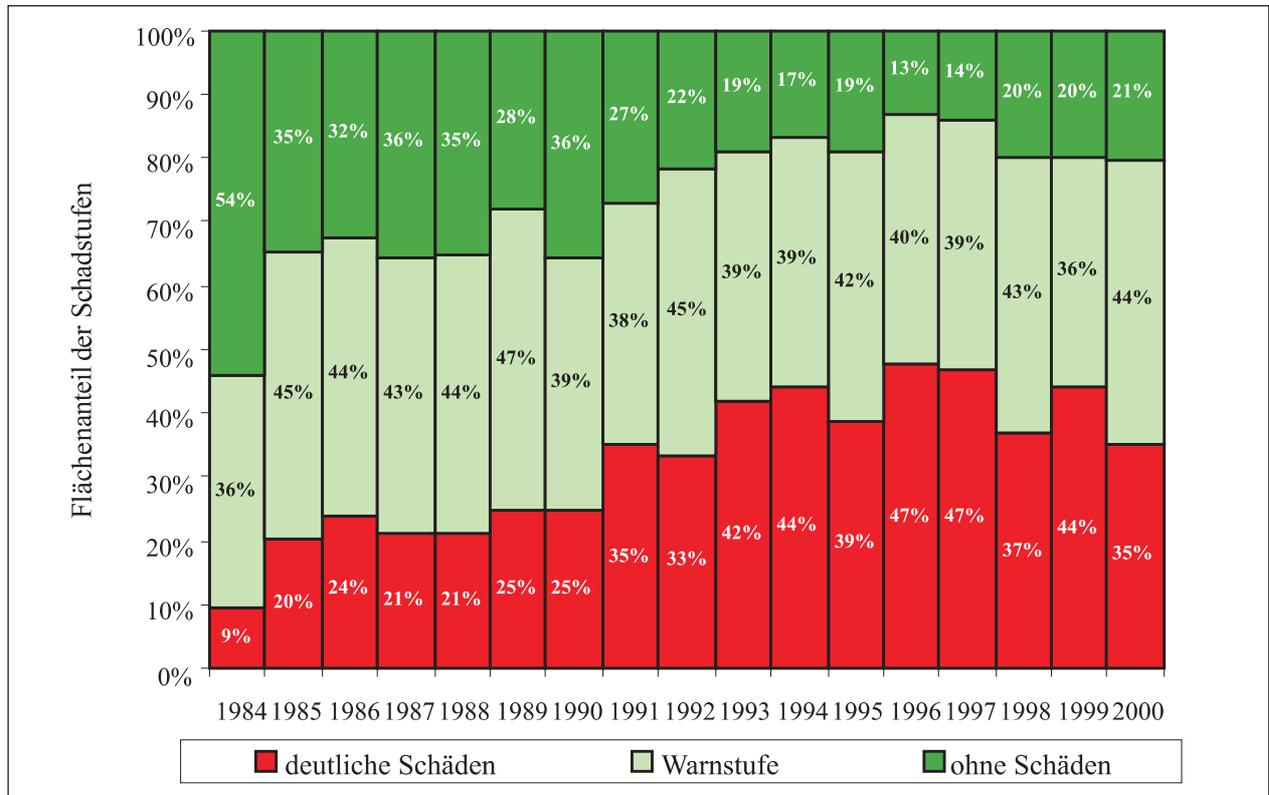


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Eiche (dunkelgrün: Schadstufe 0, hellgrün: Schadstufe 1, rot: Schadstufe 2-4)

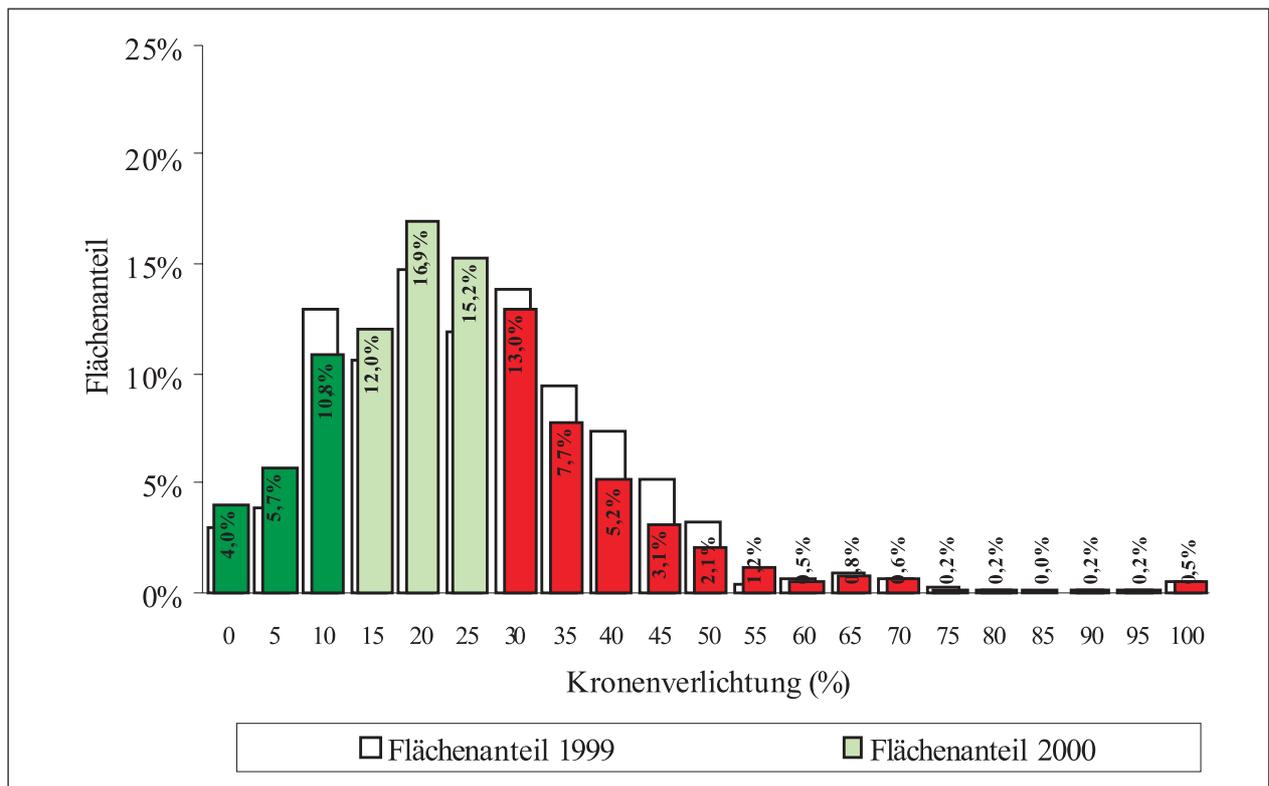


Abbildung 18: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Eiche

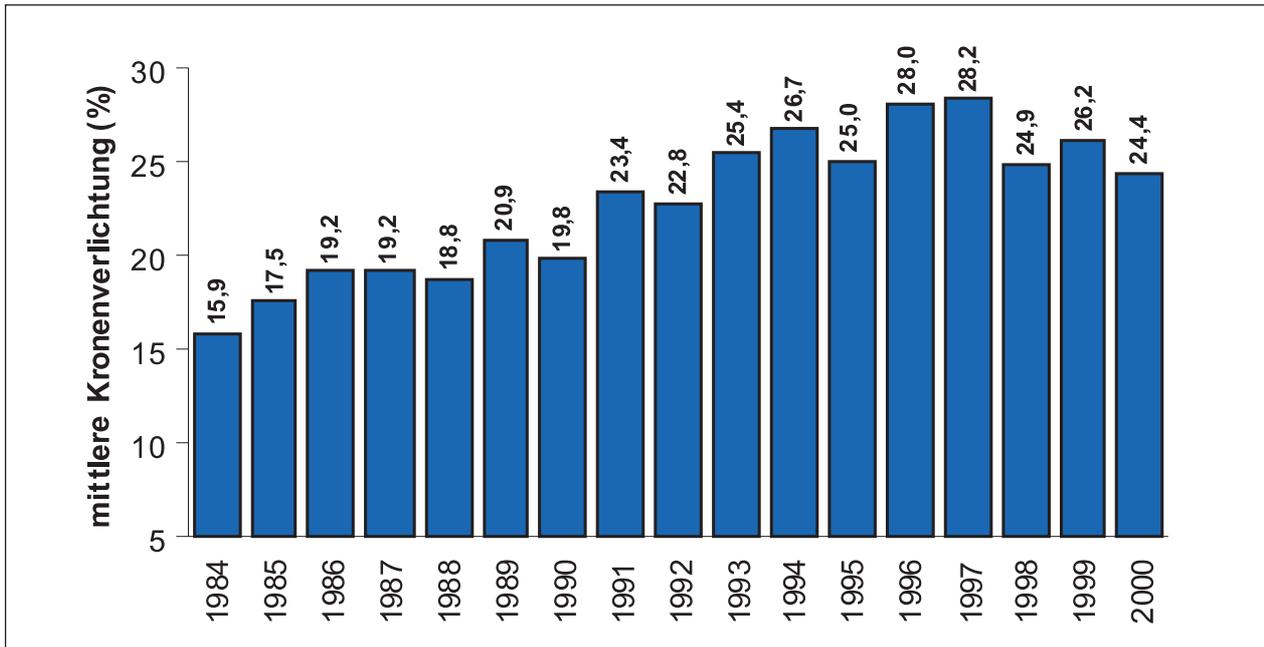


Abbildung 19: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Eiche  
 < 60 Jahre: 171 Bäume  
 > 60 Jahre: 523 Bäume

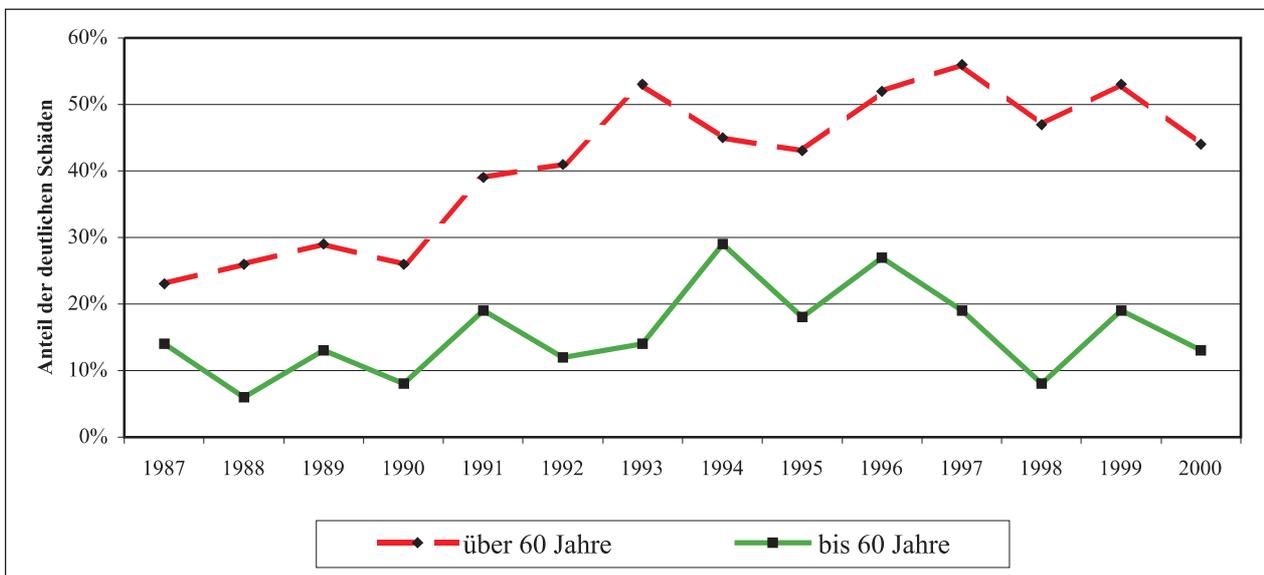


Abbildung 20: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Gruppe der „anderen Nadelbäume“ (insbesondere Tanne, Lärche, Douglasie) (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 759 Bäume)

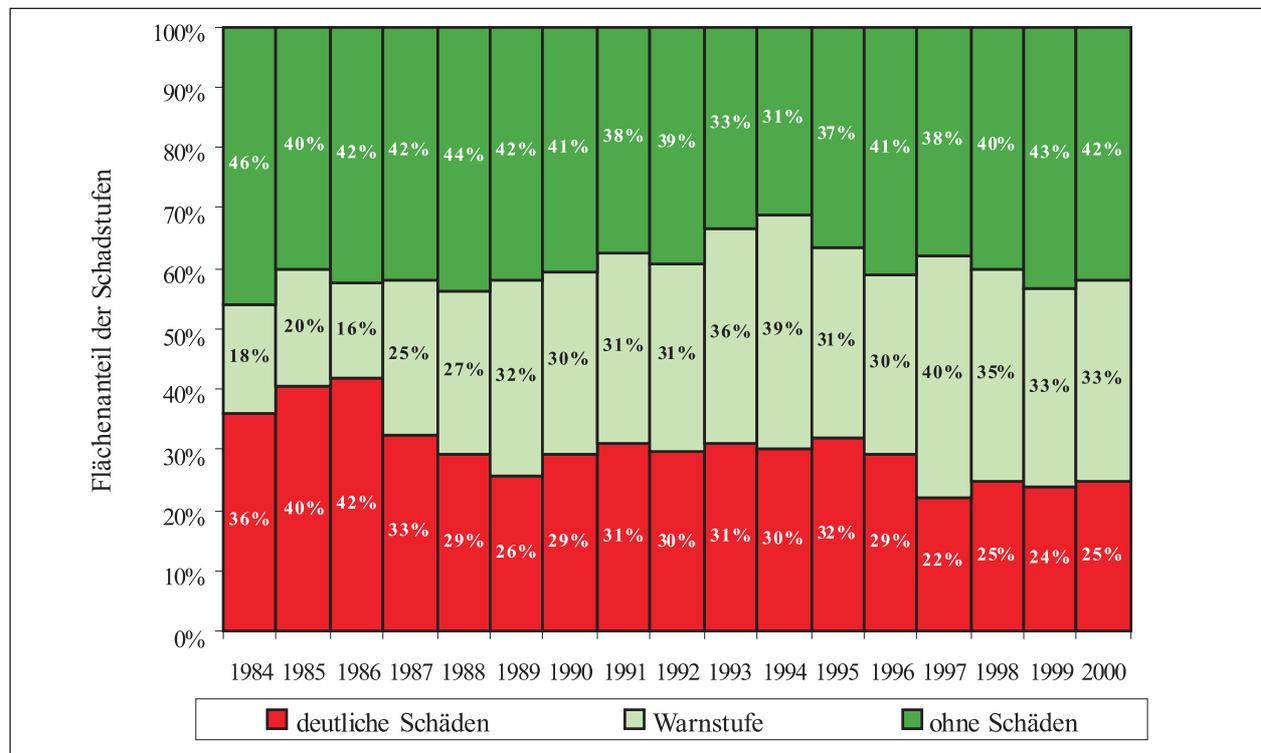
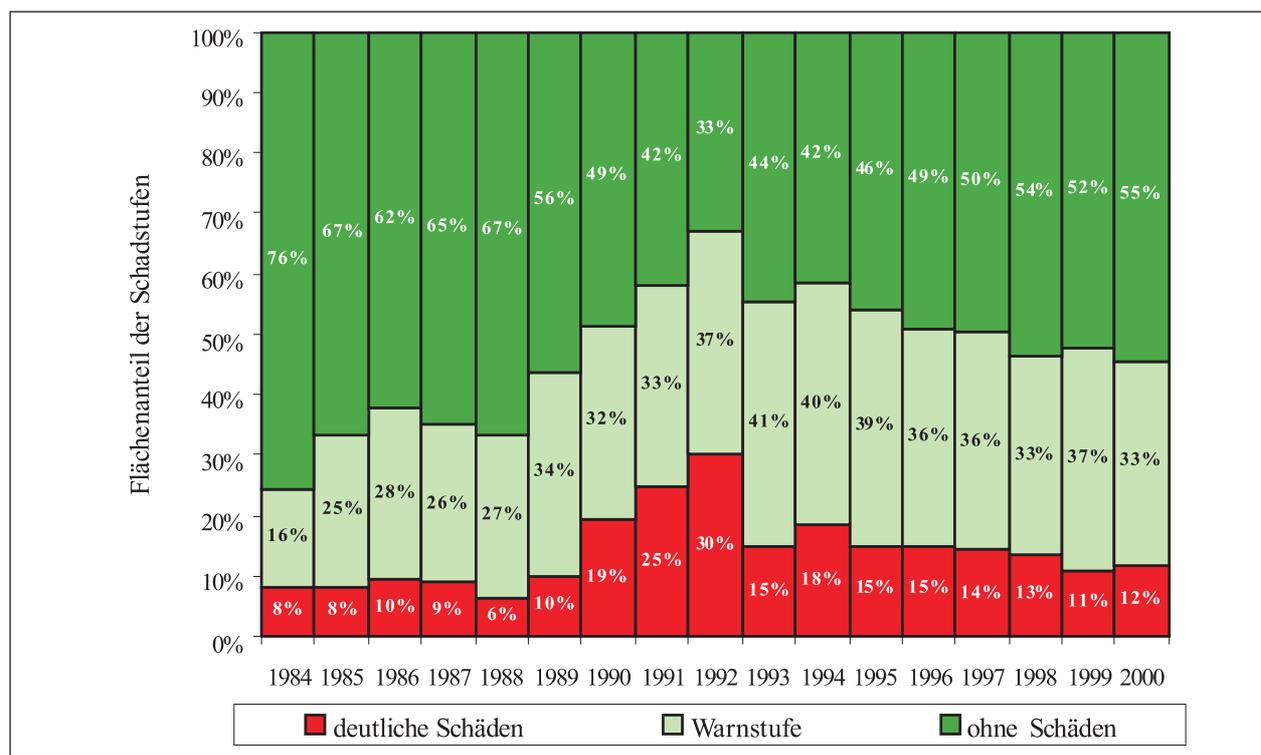


Abbildung 21: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Gruppe der anderen Laubbäume (Esche, Ahorn, Birke, Erle, Hainbuche, Linde, Pappel) (bis 1989 ohne neue Bundesländer; 2000: 1 314 Bäume)



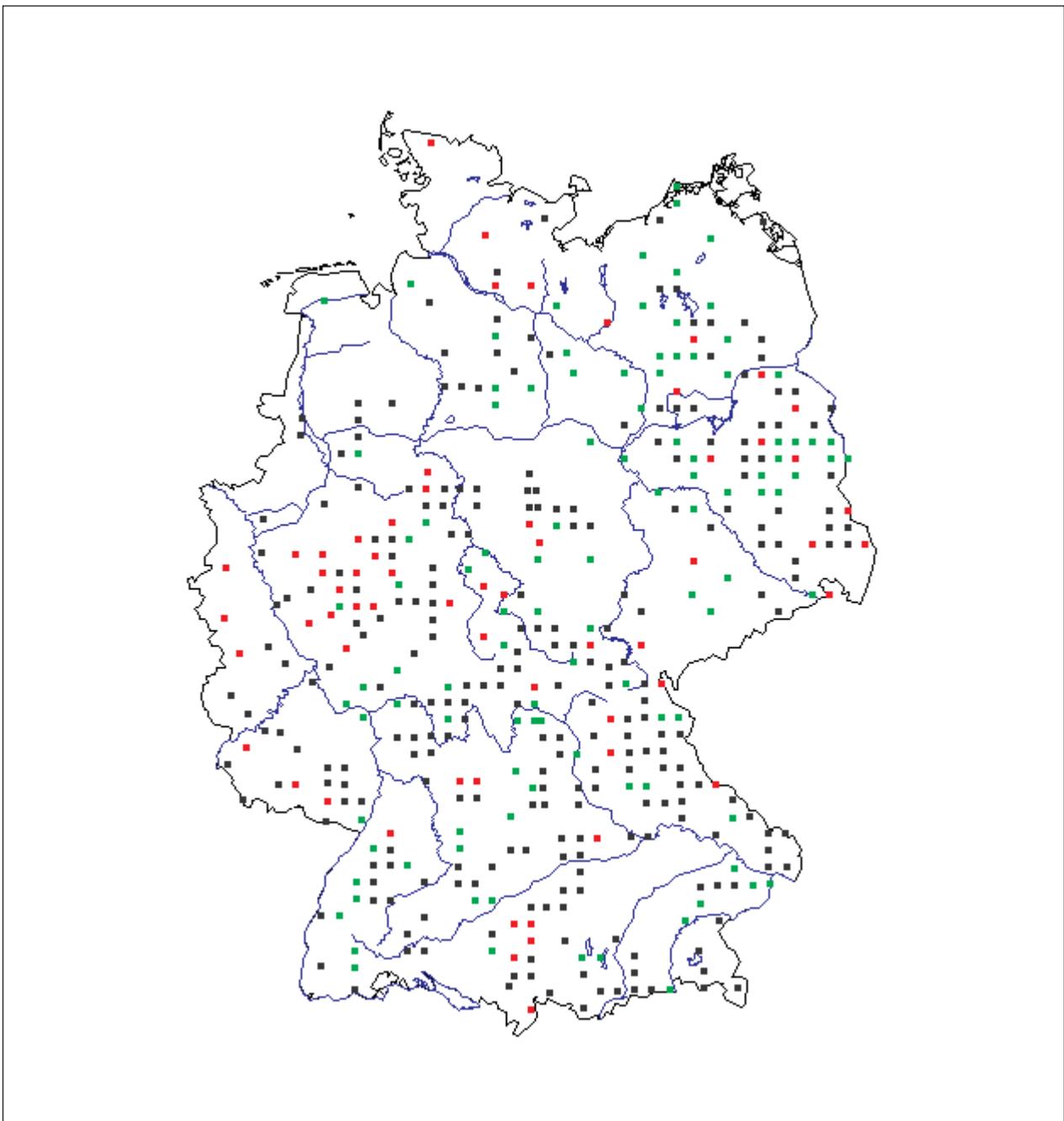
### Räumliche Verteilung

Die Karte in Abbildung 22 gibt einen Überblick über die räumliche Verteilung der 444 Probepunkte des 16 km x 16 km-Stichprobennetzes. Dabei darf jedoch von der mittleren Kronenverlichtung an einem Probepunkt nicht auf den Zustand seiner Umgebung geschlossen werden, da der

Punkt aufgrund oft kleinräumiger Besonderheiten der Standorts-, Immissions- oder Bestandesbedingungen nicht zwangsläufig für seine Umgebung typisch sein muss. Nur wenn in der Kartendarstellung eine Symbolfarbe häufig auftritt, ist dies ein Hinweis auf die Situation in einer Region. Außerdem sind bei der hier abgebildeten Karte alle Baumarten und Altersklassen zusammengefasst.

**Abbildung 22: Mittlere Kronenverlichtung im Jahr 2000 je Stichprobepunkt für alle Baumarten**

**Grün:** bis 10 %  
**Gelb:** über 10 bis 25 %  
**Rot:** über 25 %



### Einfluss der direkt erkennbaren Schadursachen

Bei der Waldschadenserhebung werden unmittelbare Schadursachen, die am Probebaum zum Zeitpunkt der Erhebung direkt erkennbar sind, erfasst. Solche Schadursachen sind Wild, Insekten, Pilze sowie abiotische oder unmittelbare menschliche Einflüsse. Derartige Schadursachen wurden an 9 % der Probebäume beobachtet. Sie sind bei Nadelbäumen (5 %) wesentlich seltener als bei Laubbäumen (17 %).

Die häufigste direkt erkennbare Schadursache sind Fraßschäden durch Insekten. Insgesamt wurden in diesem Jahr an rund 6 % der Probebäume Fraßschäden von Insekten festgestellt, die jedoch fast ausschließlich von geringer Intensität waren. Von den Laubbäumen weisen rund 14 % und von den Nadelbäumen rund 2 % Insekten-schäden auf. Andere Schadursachen werden selten festgestellt und sind daher nicht bedeutsam.

In der Gesamtbetrachtung erhöht sich der Anteil der deutlichen Schäden durch diese unmittelbaren Schadfaktoren nicht.

### Fruktifikation

Seit 1999 stehen die Informationen zur Intensität der Fruktifikation für alle Probepunkte des 16 x 16 km-Netzes nach bundeseinheitlichen Methoden zur Verfügung und können für den vorliegenden Bericht ausgewertet werden. Wie Abbildung 23 zeigt, besteht bei Buche zwischen der Intensität der Fruktifikation und dem Kronenzustand ein Einfluss, der sich auf das Ergebnis der Waldschadenserhebung 2000 auswirkt.

### Statistische Sicherheit

Stichprobenverfahren erfordern zur Erfassung des Waldzustandes nur die Begutachtung kleiner Teile der Waldfläche. Da die Probebäume nach dem Zufallsprinzip ausgewählt sind, kann man mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass in dieser Stichprobe dieselben Verhältnisse vorgefunden werden wie im gesamten Wald. Der bei der Hochrechnung von der Stichprobe auf die gesamte Waldfläche entstehende Stichprobenfehler ist in Abbildung 24 dargestellt.

Abbildung 23: Schadstufenverteilung bei Buche für unterschiedliche Intensitäten der Fruktifikation

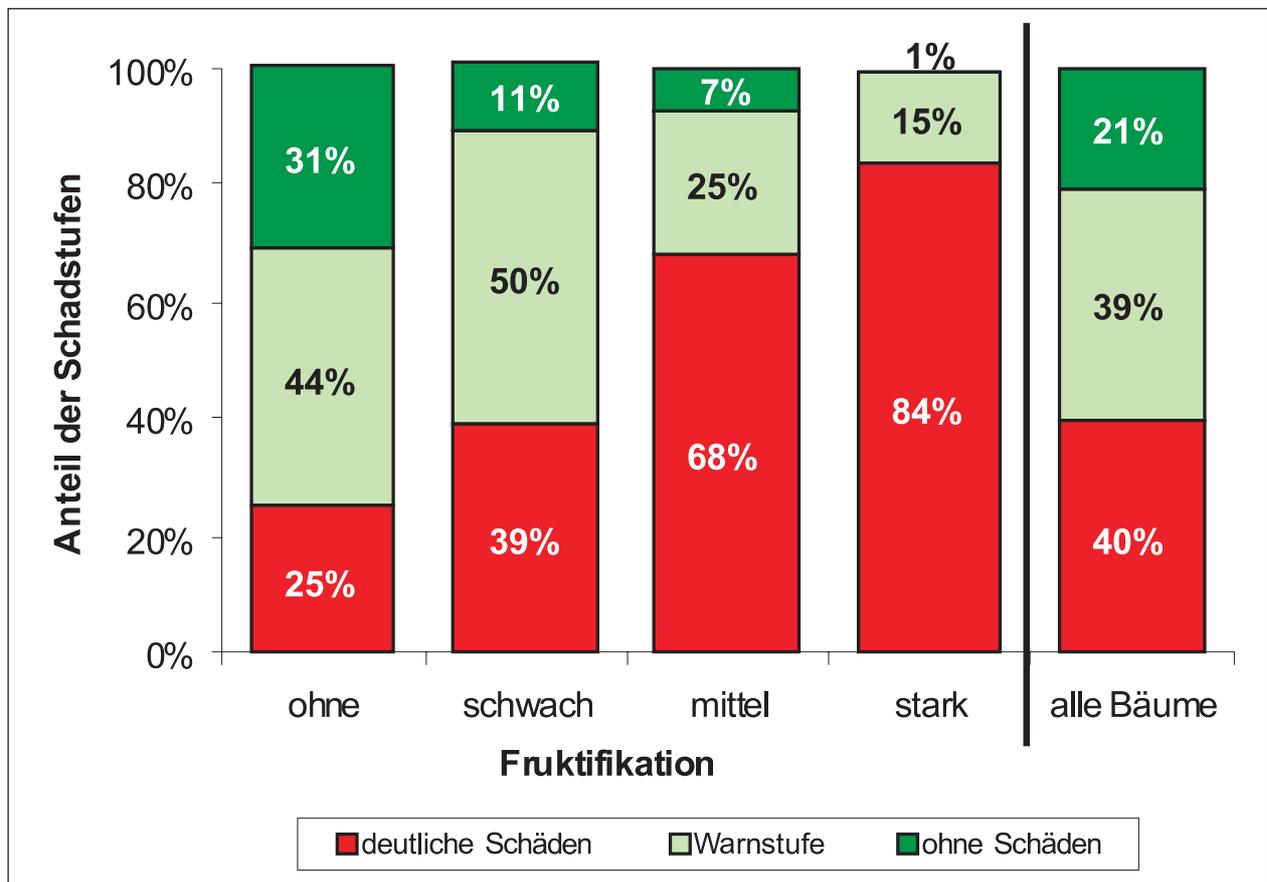
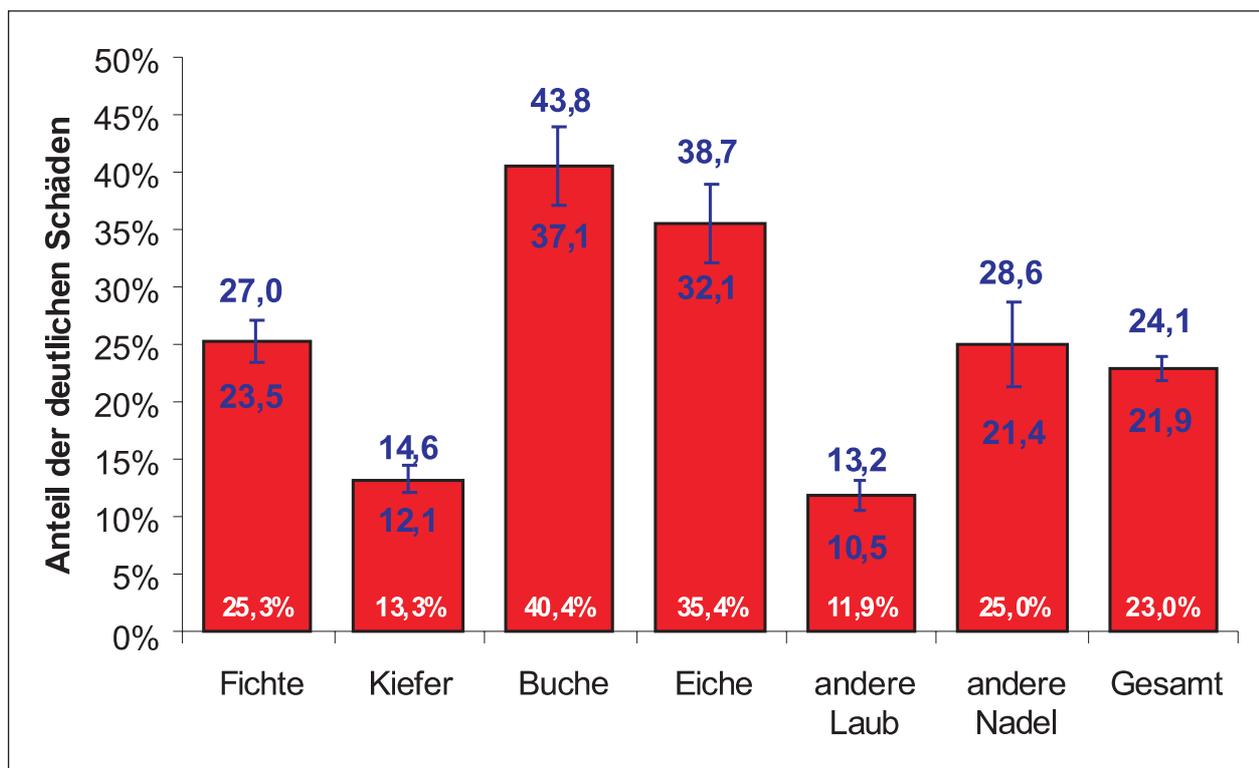


Abbildung 24: Anteil deutlicher Schäden und Stichprobenfehler im Jahr 2000. (Mit 68 % Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Anteil in dem blau gekennzeichneten Bereich.)



### Ersatz von Stichprobenbäumen

Das Stichprobenkollektiv kann sich von Jahr zu Jahr durch das Ausscheiden oder die Aufnahme von Probepunkten und Probebäumen ändern. Für den Bericht über den Zustand des Waldes 2000 wurden die Kronenansprachen von 13 722 Bäumen ausgewertet, die sich auf 444 Stichprobenpunkte des 16 x 16 km-Stichprobennetzes verteilen. Von 1999 zu 2000 sind insgesamt 503 bzw. 3,7 % der Stichprobenbäume ausgeschieden und 761 Probepunkte sind erstmals aufgenommen worden.

- Ausgeschiedene Einzelbäume wurden durch die nächststehenden Nachbarbäume ersetzt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Stichprobe den aktuellen Waldzustand wiedergibt.
- Seit der letzten Erhebung sind in diesem Stichprobennetz zwei Probepunkte ausgefallen, zwei wurden reaktiviert und acht wurden erstmals aufgenommen.
- Stichprobenbäume sind aus folgenden Gründen ausgeschieden:
  - = 307 Bäume schieden wegen abiotischer Einflüsse (Sturmwurf) aus.
  - = 113 Bäume sind im Zuge von planmäßigem Holzeinschlag entnommen worden.
  - = Bei 29 Bäumen konnten die Ursachen für eine Entnahme (26) bzw. für ein Absterben (3) nicht mehr ermittelt werden.
  - = 45 Bäume sind aus der Erhebung ausgeschieden,

weil sie im Wachstum hinter die bestandesbildenden Bäume zurückgefallen und nicht mehr am Kronendach beteiligt sind.

- = 9 Bäume sind so schwer von Insekten und/oder Pilzen befallen, dass sie entnommen wurden (6) oder abstarben (3).

Über 60 % aller ausgeschiedenen Bäume sind in diesem Jahr aufgrund des Sturmereignisses 1999 (Orkan „Lothar“) ausgefallen. Das ist das Zehnfache dessen, was im Vergleich zum vergangenen Jahr durch Sturmschäden angefallen ist. In Baden-Württemberg, dem Bundesland mit den größten Ausmaß der Sturmschäden, war jeder zweite Stichprobenpunkt betroffen.

### II.2.2 Einflussfaktoren auf den Waldzustand

Verschiedenste Faktoren beeinflussen den Wald. Dies sind insbesondere Witterung (Schnee, Frost, Niederschläge, Sturm etc.), Pilze und Insekten, waldbauliche Maßnahmen sowie vom Menschen verursachte Stoffeinträge in den Wald.

Diese Faktoren wirken auf den Wald insgesamt oder nur auf einzelne seiner Komponenten. Werden zunächst auch nur einzelne Ökosystemkompartimente (Boden, Blätter etc.) beeinflusst, so können sich trotzdem bei anhaltender Störung Beeinträchtigungen des gesamten Beziehungsgefüges im Wald ergeben.

Nicht nur die aktuellen Umweltbedingungen wirken sich auf den Waldzustand aus. So ist z. B. für die Vitalität der Bäume nicht nur das aktuelle Witterungsgeschehen, sondern auch die Witterung der Vorjahre bedeutsam. Bereits im Herbst werden die Knospen für die Triebe und Blätter des nächsten Jahres angelegt. Dabei hängen ihre Anzahl und Entwicklung von den Niederschlägen und den Temperaturen in den vorausgehenden Monaten ab. Noch langfristiger wirken sich durch Stoffeinträge hervorgerufene Änderungen des chemischen und physikalischen Bodenzustandes aus. Beispielsweise können die Gehalte vieler Böden an sich anreichernden Stoffen trotz deutlich zurückgegangener Einträge noch sehr hoch sein.

Die Faktoren und der Waldzustand beeinflussen sich gegenseitig und können sich in ihrer Wirkung verstärken oder abschwächen. Bei einem ungünstigen Witterungsverlauf erhöht sich z. B. die Empfindlichkeit eines Baumes gegenüber anderen Schadeinwirkungen, wie Luftschadstoffen und Insektenbefall. Bäume unter hohem Witterungsstress (z. B. Trockenheit) sind anfälliger gegenüber zusätzlichen schädigenden Faktoren als Bäume, die optimale Witterungsbedingungen haben.

### II.2.3 Witterung

Regional bestehen im Witterungsgeschehen große Unterschiede, die zu berücksichtigen sind, wobei die hier stark vereinfachte Witterungsdarstellung für ganz Deutschland nur ein grober Anhalt sein kann. In weitergehenden Auswertungen wird die Witterung räumlich differenziert einbezogen. Viele Studien zeigen z. B. die Bedeutung von Trockenstress für Bäume.

Im Sommer 1996 konnte durch eine kühle Witterung und hohe Niederschläge ein Wasserdefizit aus dem kalten und extrem trockenen Winter über das Jahr wieder ausgeglichen werden. Das Frühjahr 1997 war niederschlagsreich, während sich der Sommer allgemein als zu warm und zu trocken erwies. Im Frühjahr 1998 wechselten sich trockene und warme sowie kühle und nasse Phasen ab. Während im Norden und Osten die Sommermonate tendenziell hohe Niederschlagssummen und hohe Temperaturen aufwiesen, waren im übrigen Deutschland die Niederschläge gering. Die Witterung war 1999 im Vergleich zum langjährigen Mittel zu warm. Die Niederschlagsverteilung stellte sich im zeitlichen Verlauf wie in der räumlichen Verteilung bundesweit sehr uneinheitlich dar. Das Sturmereignis vom 26. Dezember 1999 (Orkantief „Lothar“) führte in Süddeutschland, insbesondere in Baden-Württemberg, sowie in anderen Staaten – hier war besonders Frankreich betroffen – zur sehr großen Sturm- und Schädigung. Der gegenüber dem Vorjahr erhöhte Anteil ausgeschiedener Probestämme bei der Waldschadenserhebung in diesem Jahr ist auf diesen Sturm zurückzuführen. Auch Level II-Dauerbeobachtungsflächen wurden in den genannten Gebieten beeinträchtigt.

Die Witterung 2000 war bis März zumeist mild und niederschlagsreich. Abgesehen von der ersten Maihälfte war das Frühjahr warm und insbesondere im Osten zu trocken. Der Juli 2000 fiel dagegen kühl und mit Ausnahme hoher Niederschläge im Süden und z. T. im Westen zu trocken aus. Nachteilig für die Waldentwicklung stellten sich somit die im Vergleich mit dem langjährigen Mittel zu niedrigen Niederschläge im Osten dar.

#### Orkan „Lothar“ 1999

Durch den Orkan „Lothar“ im Dezember 1999 sind europaweit große Schäden entstanden, die auch zahlreiche Menschenleben gefordert haben. Das Ausmaß der Schäden in den süddeutschen Forstbetrieben lag bei über 34 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz. Allein Baden-Württemberg war mit ca. 29 Mio. m<sup>3</sup> Sturmholz, das ist das 2,5fache der normalen jährlichen Nutzung, extrem betroffen. Gerade im Schwarzwald, wo viele Waldbesitzer mit ihrer vorbildlichen plenterwaldartigen Bewirtschaftung bis dahin ein gutes Einkommen erzielen konnten, sind die langfristigen Schäden existenzbedrohend.

Die Bundesregierung und die betroffenen Ländern haben ein ganzes Bündel von Hilfsmaßnahmen ergriffen:

- Die Länder Baden-Württemberg und Bayern haben besondere Hilfsprogramme mit Mitteln in Höhe von 280 bzw. 15 Mio. DM bereitgestellt.
- Die Bundesregierung hat zusätzlich Bundesmittel in Höhe von 30 Mio. DM für die hauptbetroffenen Länder bereitgestellt.
- Mit der Einschlagsbeschränkungsverordnung wurde der ordentliche Holzeinschlag bei den Holzartengruppen Fichte und Buche bundesweit beschränkt. Gleichzeitig wurden mit dieser Verordnung zahlreiche steuerliche Begünstigungen für die Waldbesitzer und für die holzwirtschaftlichen Betriebe wirksam. Darüber hinaus haben die Finanzbehörden der Länder Baden-Württemberg und Bayern steuerliche Billigkeitsmaßnahmen, wie Steuerstundungen und geringere Vorauszahlungen, genehmigt.
- Mit dem neuen Fördergrundsatz „Orkan Lothar“ in der Gemeinschaftsaufgabe (GAK) können die betroffenen Waldbesitzer nunmehr Zuschüsse für z. B. Wiederaufforstung geschädigter Bestände und die Einrichtung von Holzlagerplätzen erhalten.
- Die Landwirtschaftliche Rentenbank hat Anfang des Jahres 2000 ihr Sonderkreditprogramm Landwirtschaft/Junglandwirte geöffnet.
- Die Bundesregierung hat im Verkehrsrecht Rahmenbedingungen geschaffen, die verkehrsrechtliche Ausnahmeregelungen ermöglichen.

## II.2.4 Schadorganismen

Eine im September 2000 bei den Wald- bzw. Forstschutzsachverständigen der Länder zum Auftreten von Schadorganismen durchgeführte Umfrage ergab, dass der Einfluss von Schadinsekten und Pilzen auf die Erhebung bundesweit als gering einzustufen ist.

### Insekten an Nadelbäumen

#### ...an Fichte

Rindenbrütende Borkenkäfer, vor allem Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) gehören zu den wichtigsten Schadinsekten an Fichte. Sie verursachen das Absterben der befallenen Bäume. Mit Ausnahme von Brandenburg und Sachsen sowie in einzelnen Gebieten Niedersachsens wurde in den Bundesländern bislang keine Zunahme von Stehendbefall durch den Buchdrucker registriert.

Ungeachtet dieser Tatsache ist insbesondere in den vom Sturm Lothar betroffenen Gebieten eine intensive Überwachung erforderlich, um Befallszentren umgehend festzustellen, zu beseitigen und somit einer Massenvermehrung entgegenzuwirken. Ebenso wichtig ist der Abtransport des aufgearbeiteten Holzes, um die Menge des bruttauglichen Materials zu reduzieren.

#### ...an Kiefer

Bei den Schadinsekten an Kiefer ist der Befall durch die Forleule (*Panolis flammea*) in Brandenburg auf ca. 40 000 ha hervorzuheben. Der Fraß der Raupen an Knospen und Maitrieben und später an den vorjährigen Nadeln kann Gegenmaßnahmen erforderlich machen. Diese wurden im Süden/Südosten von Brandenburg jedoch nur auf ca. 5 800 ha durchgeführt. Starke Fraßschäden traten auf ca. 700 ha auf. Auch in Sachsen und Niedersachsen wurde eine deutliche Zunahme der Populationsdichte festgestellt, ohne dass es zu Fraßschäden kam.

Beim Kiefernspanner (*Bupalus piniarius*) können sich die Fraßschäden der Raupen im Herbst auf den Kronenzustand des Folgejahres auswirken. Die seit einigen Jahren in den östlichen Bundesländern aufgetretene Massenvermehrung ist beendet. In Brandenburg wurde im Herbst 1999 noch auf ca. 2 800 ha Raupenfraß festgestellt. Eine Bekämpfung war auf ca. 480 ha unabdingbar. In Niedersachsen erweiterte sich die Befallsfläche in der Ostheide in diesem Jahr auf ca. 20 000 ha; auf ca. 3 000 ha davon traten starke Schäden auf. Eine Bekämpfung erfolgte im Juli auf 500 ha. Diesjährige Schäden sind jedoch erst im Herbst in vollem Umfang erkennbar.

Hervorzuheben ist auch der Fraß der Afterraupen der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini*) im Herbst 1999 in Brandenburg auf insgesamt ca. 2 700 ha und Kahlfraß in Niedersachsen bei Celle auf ca. 300 ha. Aufgrund des Überliegens der Puppen wird davon ausgegangen, dass in diesem Jahr keine Schäden auftreten.

Eine Beeinflussung der Waldschadenserhebung durch den Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), der durch Fraß im Herbst und insbesondere im darauffolgenden Frühjahr Nadelverluste verursacht, ist in Brandenburg und Sachsen nicht mehr erfolgt. In Sachsen-Anhalt hingegen waren auf ca. 250 ha Gegenmaßnahmen erforderlich, um Fraßschäden zu verhindern.

Die Blauen Kiefernprachtkäfer (*Phaenops* spp.), deren Larvenfraß in der Bastschicht die Bäume zum Absterben bringen kann, verursachten in den vergangenen Jahren keine größeren Ausfälle. Ein Anstieg des Stehendbefalls wurde jedoch in Brandenburg um 40 % und in Sachsen auf das Doppelte registriert. Der weitere Verlauf über den Schadholzanfall ist abzuwarten, da auf Grund der Lebensweise dieser Arten die Schäden erst ab Herbst deutlich sichtbar werden.

### Insekten an Laubbäumen

#### ...an Eiche

Der Einfluss von Schadinsekten auf den Zustand der Eichen ist im Jahr 2000 als gering einzustufen. Weder Eichenwickler (*Tortrix viridana*) noch Frostspanner-Arten (*Operophtera brumata* u. a.) führten zu nennenswerten Blattverlusten.

In Bayern und Sachsen-Anhalt wurde der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) registriert. Seit einigen Jahren tritt dieses Insekt in einigen Regionen in unterschiedlicher Stärke immer wieder auf. In Bayern wurde örtlich auf weniger als 100 ha starker Fraß festgestellt, die Eichen haben aber gut regeneriert, sodass Blattverluste bis zum Aufnahmezeitpunkt wieder ausgeglichen werden konnten. In Sachsen-Anhalt sind in einzelnen Beständen Fraßschäden bis hin zu Absterbeerscheinungen aufgetreten.

Obwohl der Einfluss von Eichenwickler und Frostspanner-Arten auf den Zustand der Eichen im Jahr 2000 insgesamt gering war, hält das Eichensterben – regional meist in verminderter Intensität – an. Der Befall durch den Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) spielt dabei offensichtlich nach wie vor im Ursachenkomplex eine entscheidende Rolle.

Der Waldmaikäfer befindet sich (*Melolontha hippocastani*) im nördlichen Oberrheintal in einer Massenvermehrung; im Jahr 2000 wurde auf ca. 5 000 ha ein starker Flug registriert. Auf ca. 650 ha wurden Gegenmaßnahmen durchgeführt. Es kam auf ca. 100 ha zu starken Fraßschäden. Aufgrund des Regenerationsvermögens der Bäume wurde die Erhebung über den Waldzustand durch den Blattfraß des Maikäfers nicht mehr direkt beeinflusst. Bedeutungsvoller aber als die Fraßschäden der Käfer im Laub ist der Larvenfraß der Engerlinge an den Wurzeln der Bäume. Durch den Engerlingsfraß ist es in den Befallsgebieten örtlich unmöglich, Laubholzkulturen zu begründen und den Umbau von Nadelholz- in Mischbestände zu verwirklichen.

### ...an Buche

Eine akute Buchenerkrankung tritt in Nordrhein-Westfalen (Hocheifel, Sauerland) und Rheinland-Pfalz (Eifel) auf. Die Symptome dieser Komplexkrankheit sind eine rasche Blattwelke, absterbende Äste, einfallende, später sich flächig ablösende Rindenpartien und schließlich das schnelle Absterben der Bäume. Neben Witterungsextremen und dem Befall der Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagi*) spielen bastzerstörende Pilze (*Nectria coccinea*) beim Auftreten der Komplexkrankheit eine wesentliche Rolle. Rheinland-Pfalz weist darauf hin, dass im Laufe des Absterbeprozesses diese Buchen von Sekundärschädlingen wie z. B. holzbrütenden Borkenkäfern befallen werden. In Nordrhein-Westfalen wird den holzbrütenden Borkenkäfern eine größere Rolle als Primärfaktor beigemessen.

### Auftreten von Pilzen

Im Gegensatz zum vergangenen Jahr liegen nur einige Meldungen über das vermehrte Auftreten von pilzlichen Erregern vor. In Brandenburg und Sachsen ist eine auf-

fällige Zunahme von Triebsterben an gemeiner Kiefer (Erreger eines Triebsterbens: *Sphaeropsis sapinea*) registriert worden, welches in Brandenburg auch zu Absterbeerscheinungen in Kiefernbeständen führte. An mittelalten Bergahornbeständen in Bayern, Hessen, Thüringen und vereinzelt auch in Sachsen war das Auftreten von *Nectria spec.* auffällig und verursachte Laubverluste und Absterbeerscheinungen. In Bayern führte die Phytophthora-Wurzelfäule vor allem entlang von Bach- und Flussläufen zu Besorgnis erregenden Ausfällen der Schwarzerle.

### Misteln

In den vergangenen Jahren sind Misteln (*Viscum album*) zunehmend in den Wäldern der Länder Hessen, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz an Kiefer, Pappel und Tannen registriert worden. Eine Beeinflussung der Aufnahmen der Waldschadenserhebung kann bei starkem Befall nicht ausgeschlossen werden. Mistelbefall wird bei der Waldschadenserhebung besonders geschult, da die Misteln eine geringere Kronenverlichtung vortäuschen.

### Wirkung von Luftverunreinigungen:

- Schwefel tritt insbesondere als Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) in Erscheinung. Es verursacht Beeinträchtigungen der Photosynthese und anderer physiologischer Prozesse, die zu Nadel-/Blattschäden führen können. Aber auch in geringen Konzentrationen bleibt  $\text{SO}_2$  nicht ohne Wirkung. Über das Blatt aufgenommenes  $\text{SO}_2$  kann die Ernährung von Bäumen nachteilig beeinflussen.
- Stickstoff wird als Nitrat und Ammonium in Wälder eingetragen. Der derzeit hohe, aber regional stark variierende Eintrag von Stickstoffverbindungen in Wälder kann demnach ganz verschiedene Wirkungen auslösen. In den meisten betroffenen Waldökosystemen sind je nach der Höhe und Zusammensetzung der Einträge diese Effekte jedoch negativ zu bewerten:
  - = Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x = \text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ) insbesondere  $\text{NO}_2$  wird über die Blattorgane in erheblichem Umfang aufgenommen. Es wirkt in der Regel als „Blattdünger“. Das dadurch angeregte Pflanzenwachstum hat einen erhöhten Bedarf an anderen Nährstoffen zur Folge. Auf manchen Waldstandorten stehen diese Nährstoffe (z. B. Magnesium) jedoch nicht ausreichend zur Verfügung. Aber auch an Standorten mit guter Nährstoffversorgung greift  $\text{NO}_2$  in Regulationsprozesse des Pflanzenstoffwechsels, die die Aufnahme von Nährstoffen und anderen Ionen steuern, nachteilig ein.
  - = Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) wirkt – wie  $\text{NO}_2$  – bei geringen Konzentrationen wachstumsfördernd auf Pflanzen. Dabei trägt es ebenfalls zur Entstehung von Nährstoffungleichgewichten bei, greift in Regulationsprozesse der Stickstoffernährung ein und erhöht die Anfälligkeit der Bäume gegen andere Stressfaktoren.
- Einträge von Säuren und säurebildenden Substanzen in Waldböden, insbesondere die Einträge von Sulfat-schwefel, von Nitrat- und Ammoniumstickstoff können zu erheblicher Säurebelastung der Waldböden führen.
- Bodennahes Ozon ( $\text{O}_3$ ) entsteht unter dem Einfluss von ultravioletter Sonnenstrahlung sowie unter Mitwirkung von Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen. Bäume nehmen dieses Gas über die Poren in Nadeln und Blättern auf. Dort stört es durch Reaktion mit biochemischen Verbindungen den Pflanzenstoffwechsel. Die Wirkungsmechanismen wurden bisher überwiegend unter kontrollierten Bedingungen an jüngeren Bäumen untersucht. Die Übertragbarkeit dieser Forschungsergebnisse auf Freilandbedingungen und auf ältere Bäume ist noch nicht geklärt.

**II.2.5 Analyse der stofflichen Belastung durch atmosphärische Einträge**

Das Level II-Programm in Deutschland hat bis Ende 1999 einen Stand erreicht, der es möglich macht, das Ausmaß der atmosphärischen Stoffeinträge auf den Level II-Dauerbeobachtungsflächen darzustellen und miteinander zu vergleichen. Für die Vergleichbarkeit der Depositionsdaten hat die europaweit abgestimmte Arbeitsanleitung des ICP Forests, die bundesweite Qualitätssicherung der forstlichen Analytik und die Verwendung eines einheitlichen Auswertungsprogramms wichtige Grundlagen geschaffen. Eine erste Übersicht der stofflichen Belastungen wurde mit den Depositionsdaten von 77 Level II-Flächen aus dem Jahr 1997 und von 80 Flächen aus dem Jahr 1998 vorgenommen. Die Anzahl der Level II-Flächen mit Depositionsmessungen hat weiter zugenommen und liegt derzeit bei bundesweit 86 von 89 Flächen. Zusätzlich können langfristige Veränderungen der Stoffeinträge mit den Niederschlägen anhand von Daten, die einzelne Bundesländer schon vor Beginn des Level II-Programms in ausgewählten Fichten- und Kiefernbeständen erhoben haben, beurteilt werden.

**Die Depositionsraten sind in den vergangenen Jahren gesunken**

Die Depositionsraten von Schwefel, Säuren, basischen Kationen und teilweise auch von Stickstoffverbindungen

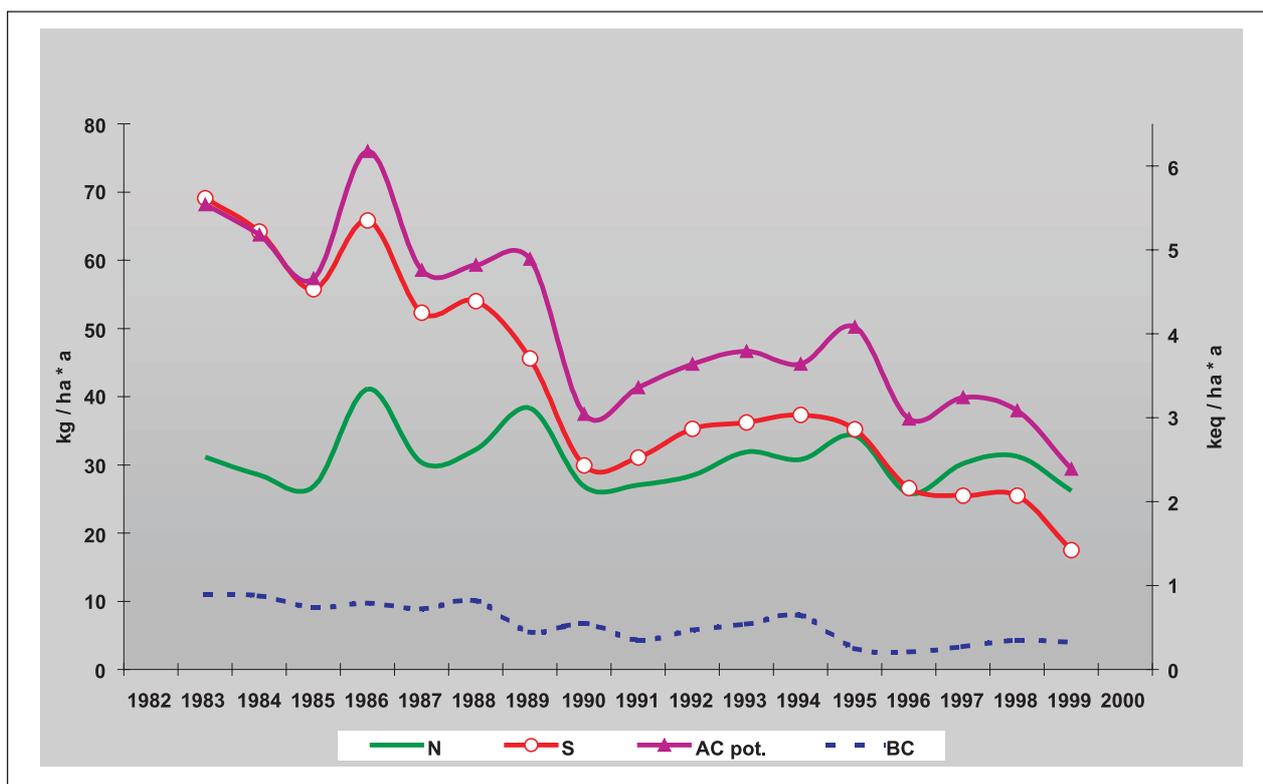
sind in den Vorjahren deutlich zurückgegangen. Dies ist aus längeren Messreihen, die teilweise bis Anfang der 80er-Jahre zurückreichen, zu ersehen. Am stärksten haben sich die Einträge beim Sulfatschwefel verringert.

Der Schwefeleintrag konnte in den 80er-Jahren noch als die wichtigste Säurequelle im Waldniederschlag benannt werden. Mittlerweile haben sich die Anteile der säurebildenden Anionen stark verändert und vom Schwefel zum Stickstoff verlagert. Auf allen bisher ausgewerteten Level II-Flächen liegt derzeit das Stickstoff/Schwefel (N/S) Verhältnis deutlich über 1. Bei 30 % der Waldmessflächen wird aktuell sogar ein N/S-Verhältnis von über 2 festgestellt.

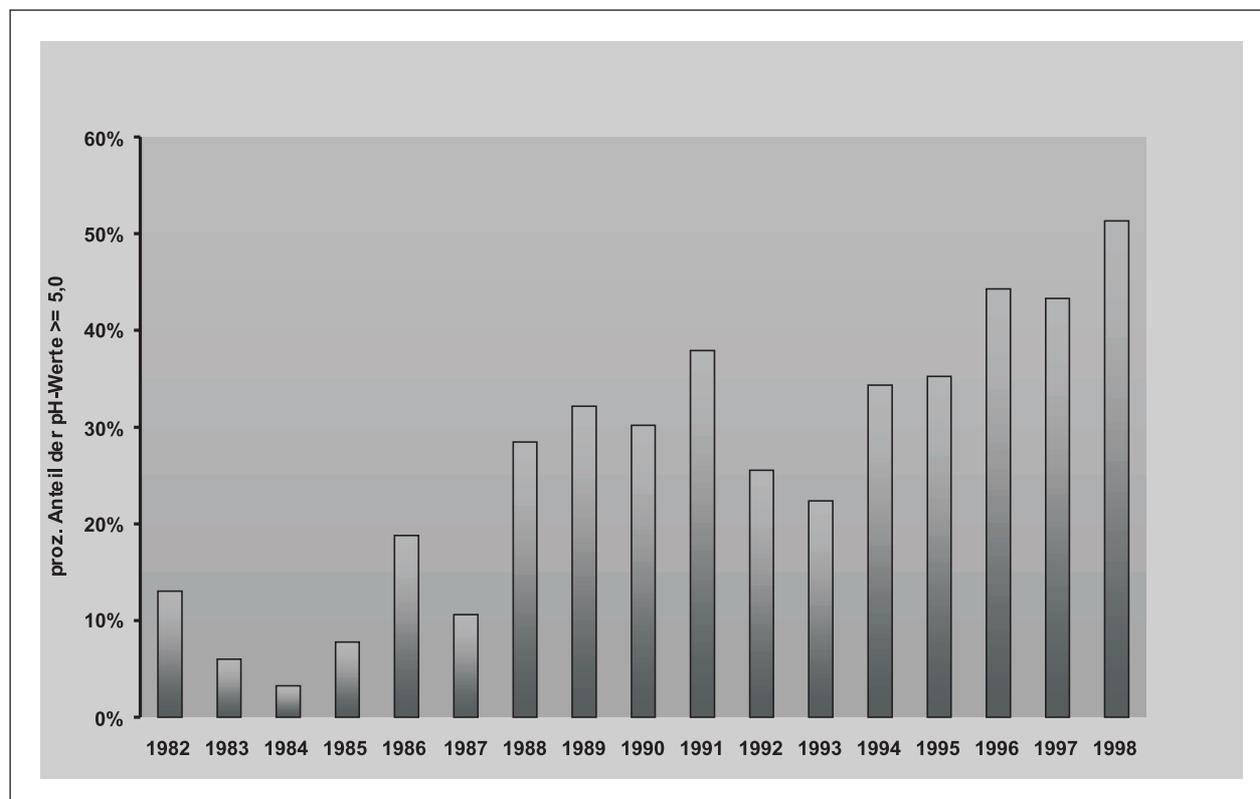
Ein typisches Beispiel für viele Waldgebiete in den höheren Lagen der nordwestdeutschen Mittelgebirge ist die Level II-Fläche Elberndorf. Sie liegt im Bundesland Nordrhein-Westfalen auf dem Kamm des Rothaargebirges im Sauerland. Die in einem Fichtenaltholz über einen Zeitraum von 17 Jahren gemessenen Depositionsraten (Abbildung 25) zeigen für Schwefel, potenzielle Säurebildner (AC pot.) und basische Kationen (BC) einen Rückgang um 75 %, 57 % und 64 %. Gleichzeitig schwanken die Depositionsraten für den Stickstoff im Waldniederschlag um 30 kg N pro Hektar und Jahr.

Vergleichbare Entwicklungen finden sich auf Dauerbeobachtungsflächen von weiteren 5 Bundesländern wieder.

**Abbildung 25: Entwicklung der atmosphärischen Einträge für einen Fichtenbestand an der Level II-Fläche Elberndorf. (N = Stickstoff, S = Schwefel, AC pot. = potenzielle Säurebildner, BC = Basische Kationen)**



**Abbildung 26: Entwicklung der pH-Werte >5 im Freilandniederschlag an Waldmessstationen in Nordrhein-Westfalen**



Dabei sind folgende Beobachtungen zu machen: Auf den ostdeutschen Waldflächen gingen die Schwefeleinträge besonders drastisch zurück. Die Einträge verringerten sich beispielsweise in einem Kiefernbestand in Brandenburg ebenso wie auf einer Fichtenfläche in Sachsen um rund 85 %. Die Schwefel-Depositionsentwicklung auf einer Level II-Fläche in einem Fichtenbestand im Solling ist dagegen größenordnungsmäßig mit der Fichtenfläche im Sauerland vergleichbar. In den weiter südlich angrenzenden Mittelgebirgen von Hessen und Rheinland-Pfalz ist eine vergleichbare Entwicklung in den Depositionsdaten zweier Fichtenflächen zu beobachten, jedoch verläuft der Rückgang hier gegenüber dem Solling und dem Sauerland bereits deutlich abgeschwächt.

Wie zu erwarten war, hat sich in den vorangegangenen Jahren nicht nur die Menge der Säureinträge verringert, sondern auch die Säurestärke in den Niederschlägen ist zurückgegangen. So ist in Nordrhein-Westfalen der Anteil von Regenwasserproben auf den Dauerbeobachtungsflächen, in denen ein pH-Wert von über 5 gemessen wurde, von weniger als 10 % Anfang der 80er-Jahre auf rund 50 % im Messjahr 1998 inzwischen sehr deutlich gestiegen (Abbildung 26). Damit ist eine Entwicklung zu weniger saurem Regenwasser zu verzeichnen.

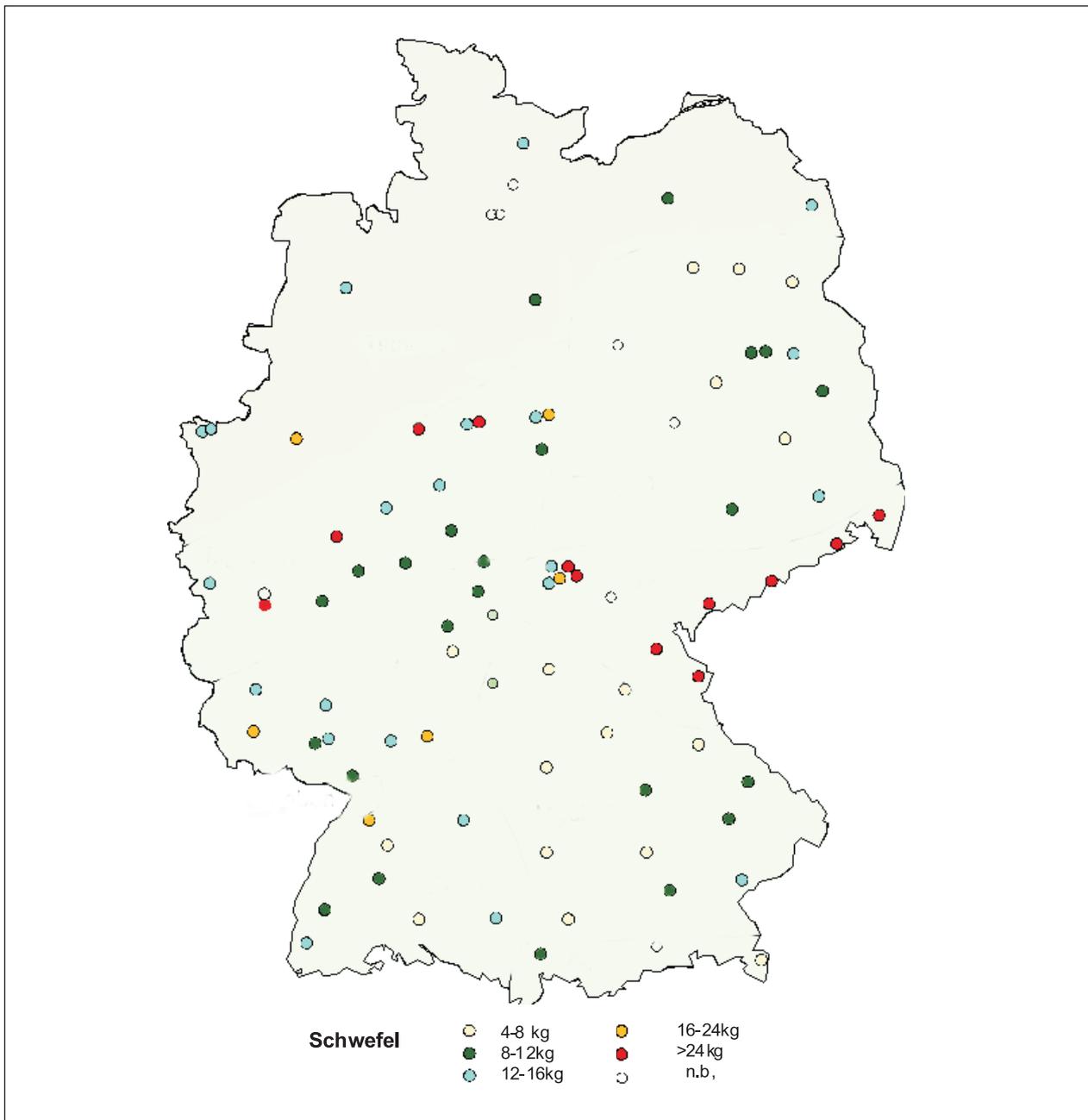
Als uneinheitlich kann die Entwicklung bei den Stickstoffeinträgen auf den untersuchten Level II-Flächen be-

zeichnet werden. Die Trendanalyse weist beim Nitrat und beim Ammonium zwar deutlich rückläufige Depositionsraten für die Kiefernfläche in Brandenburg und den Fichtenbestand in Sachsen aus. Auch die Nitratreinträge im Solling und im Sauerland haben sich im gleichen Zeitraum leicht zurückgebildet. Andererseits sind die Nitrat- und die Ammoniumeinträge in den Fichtenbeständen von Hessen und Rheinland-Pfalz tendenziell bzw. sogar signifikant angestiegen.

#### **Aktuelle Stoffeinträge auf Level II-Flächen variieren stark**

Die Spannweite der jährlichen Schwefeleinträge auf den Level II-Flächen reicht von 5,4 kg (Kiefer im nördlichen Brandenburg) bis zu 46,9 kg pro Hektar und Jahr (Fichte im Erzgebirge). In den mit Fichten bestockten immissionsexponierten Lagen der Mittelgebirge werden verbreitet Sulfateinträge um 25 kg Schwefel pro Hektar und Jahr gemessen. Die in Abbildung 27 dargestellte Karte soll einen Überblick über die Verteilung der Level II-Dauerbeobachtungsflächen aus den höher belasteten Waldregionen der nordwestdeutschen und der ostdeutschen Mittelgebirge sind deutlich zu erkennen (z. B. Solling, Eggegebirge, Osteifel Rheinland-Pfalz, Fichtenbestände im Oberpfälzerwald und Fichtelgebirge in Bayern sowie im Thüringer Wald und im Erzgebirge).

Abbildung 27: Depositionsmessungen für Schwefel auf Level II-Dauerbeobachtungsflächen (1997/1998)



Im Gegensatz zur Schwefel-Gesamtdeposition, die sich relativ zuverlässig aus der Analyse der Waldniederschläge berechnen lässt, liefern die Depositionsmessungen für den Stickstoffgesamteintrag tendenziell zu niedrige Werte für den Wald. Ursache hierfür ist einerseits die Fähigkeit der Bäume, Stickstoff direkt über die Blattoberfläche aus der Atmosphäre aufzunehmen und andererseits der relativ hohe Anteil von trockener Deposition in Form von Gasen und Stäuben. Diese Teilbereiche des Stickstoffgesamteintrags lassen sich weder mit den Depositionssammlern messen noch durch Massenbilanzen der Stoffumsätze im

Kronendach der Waldbestände ausreichend genau berechnen. Da die trockene Deposition in den kontinentaler geprägten Landschaften im Osten und Süden Deutschlands wahrscheinlich einen höheren Anteil zur Stickstoffdeposition leistet als in den kühl-feuchten Lagen der Mittelgebirge, werden die Stickstoff-Gesamteinträge für den Wald mit den Depositionssammlern des Level II-Programms dort tendenziell unterschätzt.

Mit dieser Einschränkung beträgt der Stickstoffeintrag im Mittel aller Level II-Flächen 25 kg pro Jahr und Hektar, wobei die Spannweite der Einzelwerte von 9 kg bis 46 kg

reicht. Wälder verbrauchen für ihr Wachstum jedoch deutlich weniger als 25 kg Stickstoff pro Jahr und Hektar, in der Regel zwischen 5 kg und 15 kg.

Die Stickstoffeinträge jeder einzelnen Level II-Fläche sind zusammen mit dem Ammonium/Nitrat-Verhältnis im Waldniederschlag in Abbildung 28 dargestellt. Wie aus dieser Abbildung zu entnehmen ist, liegt den Stickstoffeinträgen auf den meisten Messflächen ein ausgeglichenes Ammonium/Nitrat-Verhältnis von etwa 1 zugrunde. Ammonium hat nur ein leichtes Übergewicht. Unter den Level II-Dauerbeobachtungsflächen befinden sich jedoch mehrere mit besonders hohen Ammoniumgehalten im Waldniederschlag, die das Verhältnis dann über einen Wert von 1,5 ansteigen lassen.

Die Level II-Flächen mit den höchsten Stickstoffeinträgen sind in der nordwest- und ostdeutschen Mittelgebirgsregion zu finden, die bereits durch sehr hohe Schwefeleinträge aufgefallen sind. In der Kombinationswirkung hoher Stickstoff- und Schwefeleinträge liegt schließlich die Erklärung für die ebenfalls überdurchschnittlich hohe Säurebelastung aus atmosphärischen Einträgen an den gleichen Waldstandorten.

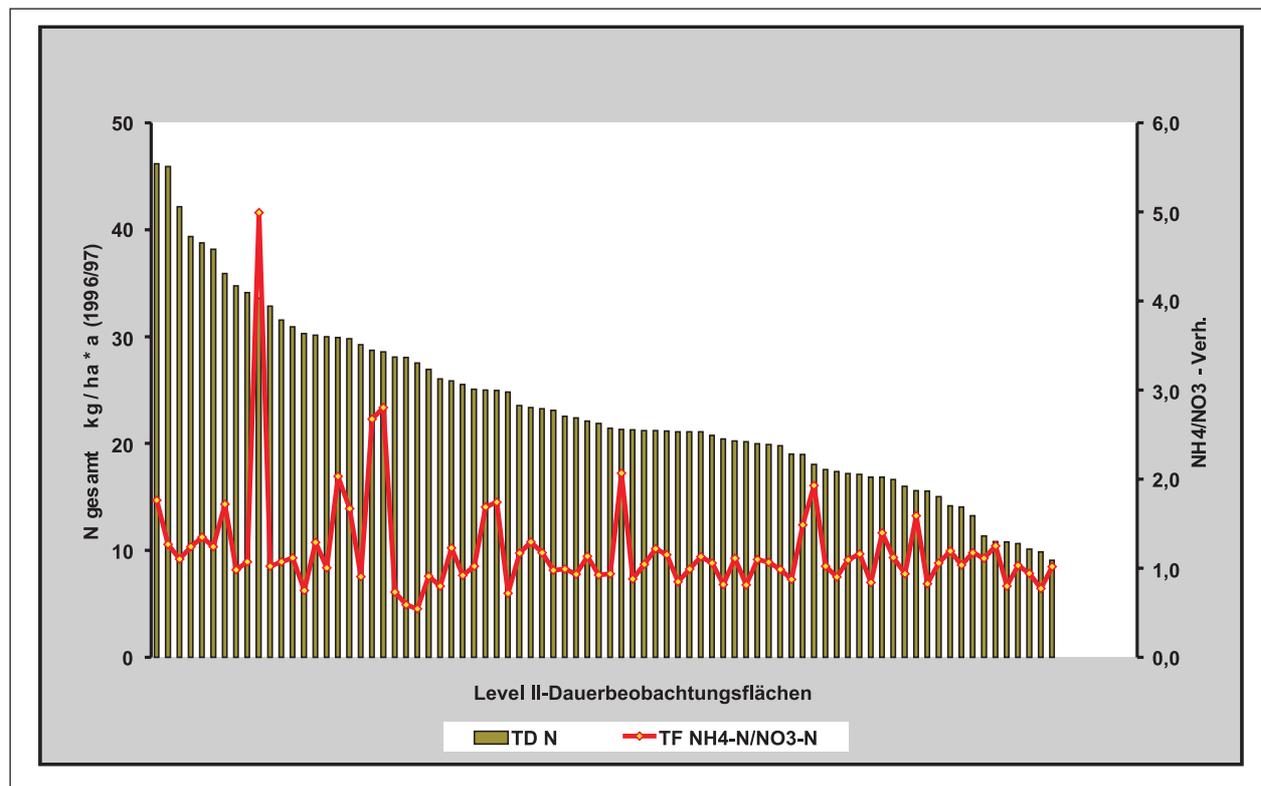
Zur Abschätzung der Ozonbelastung des Waldes in der weiteren Umgebung von 22 Level II-Flächen stehen kontinuierlich messende Stationen der Länder zur Verfügung. Eine erste Beurteilung der Luftschadstoffbelastung

wurde anhand des Jahres 1997 vorgenommen. Die Ozon ( $O_3$ )-Jahresmittelwerte lagen zwischen 33 und 103  $\mu g\ m^{-3}$ , wobei der höchste Mittelwert in den höheren Lagen des Südschwarzwaldes und der niedrigste Mittelwert am nördlichen Rand des Ruhrgebietes gemessen wurde. Betrachtet man die Spitzenkonzentrationen von Ozon (98 % Perzentil), so finden sich neben dem Schwarzwald noch weitere Hinweise für eine hohe Ozonbelastung im Welzheimer Wald, im Pfälzer Wald, in einigen nordwestdeutschen Mittelgebirgen sowie im Thüringer Wald. Obgleich auch diese wenigen Messwerte noch keine Abgrenzung von besonders ozonbelasteten Waldgebieten ermöglichen, so weisen bundesweite Berechnungen für Waldökosysteme ein großräumiges, ähnlich abgegrenztes Gebiet aus (im Wesentlichen die Mittelgebirge von Thüringen, Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg), in denen besonders hohe Ozonbelastungen im Zeitraum 1991 bis 1995 festgestellt wurden.

Luftverunreinigungen mit eutrophierenden, potenziell toxischen, säurebildenden und basischen Eigenschaften haben auf den Stoffhaushalt und die Vitalität der Waldbestände und ihre nachhaltige Entwicklung nach wie vor großen Einfluss. Die untersuchten Waldbestände in Deutschland unterscheiden sich erheblich durch den atmosphärischen Stoffeintrag.

Die Schwefelbelastung der Wälder ist im Vergleich zu den 80er-Jahren drastisch zurückgegangen. Dagegen

**Abbildung 28: Stickstoffeinträge und Ammonium/Nitratverhältnis an den deutschen Level II-Dauerbeobachtungsflächen (TD N = Stickstoffgesamteintrag, TF  $NH_4/NO_3$ -N = Ammonium/Nitratverhältnis)**



hat der Stickstoffeintrag an Bedeutung zugenommen. Mit Blick auf die aktuelle Depositionsbelastung ist bereits unmittelbar auf etwa 30 % der Level II-Flächen mit Stickstoffsättigung der Waldökosysteme und Anstieg der Nitratausträge mit dem Sickerwasser zu rechnen. Nach bisherigen Erfahrungen sind auf über 90 % der Flächen langfristig stickstoffbedingte Veränderungen u. a. in der Zusammensetzung der Bodenvegetation zu befürchten. Die Säurebelastung mit den Niederschlägen erreicht auf fast allen Waldflächen relevante Größenordnungen, d. h. sie beschleunigt die natürliche Bodenversauerung und treibt den Verlust wichtiger Nährstoffe weiter an.

Weitere Aussagen zu den Wirkungen der Stoffeinträge im jeweiligen Ökosystem ermöglichen integrierende Auswertungen z. B. durch den Critical Loads-Ansatz, Stoffflussbilanzen und die Verknüpfung mit biologischen Mess- und Beobachtungsgrößen.

## II.2.6 Gefährdungspotenziale durch Bodenversauerung

In unserem gemäßigt humiden Klimabereich unterliegen Böden einer sehr langsam ablaufenden, natürlichen Versauerung. Diese ist vorwiegend durch einen an Kohlensäure gekoppelten Austrag der basischen Kationen Calcium, Magnesium und Kalium mit dem Sickerwasser bedingt. Allerdings ist dieser Prozess im Wesentlichen nur im pH-Bereich  $> 5$  wirksam. Auch periodische Störungen, wie der Zusammenbruch alter Waldbestände, können durch eine Entkopplung der ökosystemaren Stickstoffkreisläufe auf natürlichem Wege zu einem Verlust an basischen Kationen führen. Seit der verstärkten Emission von Schwefel- und Stickstoffverbindungen im Zuge der Industrialisierung wird diese natürliche Versauerung durch den Eintrag der mobilen Säureanionen Sulfat und Nitrat in den Boden erheblich verstärkt.

Da Waldbestände versauernd wirkende Luftverunreinigungen im großen Maße aus der Luft ausfiltern und auf den Boden leiten, sind Waldböden durch diese anthropogen ausgelösten Versauerungsvorgänge besonders betroffen. Die an ca. 1 800 Stichprobenpunkten durchgeführte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) zeigt eine flächendeckende, weitgehend substratunabhängige Versauerung und Basenverarmung der Oberböden.

### Untersuchungen auf Level I und Level II ergänzen sich

Während im Rahmen der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald im Wesentlichen nur Kennwerte der Bodenfestphase erhoben werden konnten, stehen an der Mehrzahl der 89 deutschen Level II-Flächen auch Analysebefunde aus der Bodenlösungsphase zur Verfügung. Gegenwärtig wird an 79 Standorten nach einheitlichen Verfahren das Bodensickerwasser verschiedener Bodentiefen beprobt. Da die untersuchten Standorte ein großes Standortspektrum sowie sehr unterschiedliche Belastungsverhältnisse hinsichtlich der Stoffeinträge abdecken,

bilden die erhobenen Daten eine gute Basis zur eingehenden Untersuchung der Wirkung der Stoffeinträge auf den chemischen Bodenzustand.

### Die Bodenlösung wird auf Level II-Flächen gemessen

Die chemische Beschaffenheit der Bodenlösung gibt wichtige Hinweise auf die Lebensbedingungen für Bodenorganismen und Baumwurzeln sowie auf die Möglichkeit der Bäume, sich hinreichend mit Nährstoffen zu versorgen. Auch der Vitalitätszustand der Bäume dürfte sehr wesentlich von der Zusammensetzung der Bodenlösung abhängen. Allerdings ist der Nachweis von ursächlichen Beziehungen der Versauerung zu Vitalitätsveränderungen der Bäume und zu den Neuartigen Waldschäden nicht immer einfach, da in den Waldökosystemen zahlreiche Mechanismen der Reaktion auf Umwelteinflüsse existieren und eine Vielzahl von Faktoren die Baumvitalität beeinflusst.

Bereits aus einer einfachen grafischen Gegenüberstellung aller in der Bodenlösung analysierten Anionen und Kationen, d.h. aller negativ wie positiv geladener Teilchen, lassen sich wesentliche Aussagen über den Versauerungszustand des Bodens ableiten. Herrschen auf der Anionenseite Hydrogencarbonationen ( $\text{HCO}_3^-$ ) und auf der anderen Seite basische Kationen vor, deutet dies auf eine geringe anthropogene Belastung und/oder eine hohe Pufferleistung des Bodens hin (Tiefe 60 cm in Abbildung 29). In diesem Fall ist der Boden nicht versauert. Dominieren demgegenüber auf der Anionenseite Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) oder Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und auf der Kationenseite die Säurekationen, insbesondere Aluminium, ist dies ein Hinweis auf eine durch hohe Schwefel- und/oder Stickstoffeinträge anthropogen versauerte Bodenlösung (Abbildung 30).

### Alkalinität, Azidität und Ionenverhältnisse charakterisieren die Bodenlösung

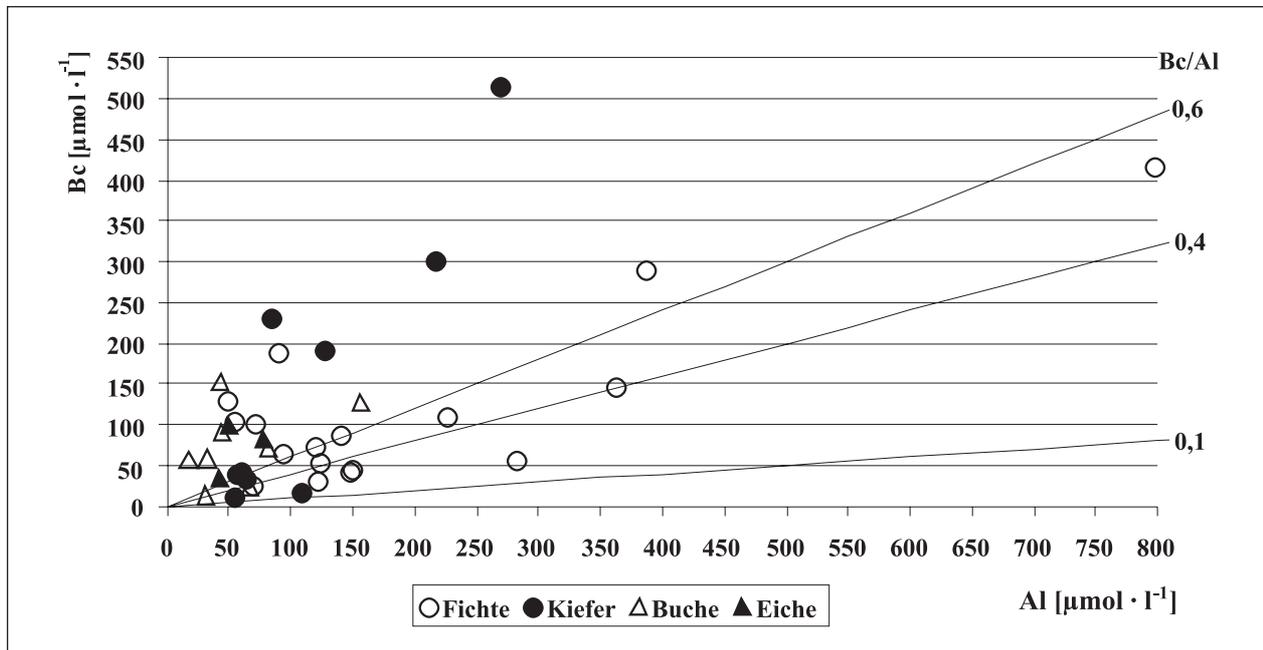
Zur weiteren Charakterisierung der chemischen Beschaffenheit der Bodenlösung können auch Indizes wie die Alkalinität, der Aziditätsgrad oder die Verhältnisse von Calcium zu Aluminium oder von basischen Kationen zu Aluminium verwendet werden.

Die Alkalinität entspricht der Äquivalentsumme von basischen Kationen, die nicht von mobilen Anionen (Nitrat, Sulfat, Chlorid) begleitet werden. Auf etwa 90 % der untersuchten Level II-Flächen ergaben sich im Wurzelraum eine Alkalinität nahe 0 oder negative Werte. Diese Standorte sind daher als „akut versauerungsgefährdet“ bis „versauert“ anzusehen.

Als Aziditätsgrad wird der Anteil an Säurekationen an der gesamten Kationensumme (ohne Ammonium) bezeichnet. Bei zwei Dritteln der bislang 69 untersuchten Level II-Standorte ist die Bodenlösung mit einem Aziditätsgrad von über 40 % als „sauer“, bei 15 % der Standorte als „sehr sauer“ (Aziditätsgrad  $> 70$  %) zu werten.



**Abbildung 31: Gegenüberstellung von basischen Kationen (Bc)- und Aluminiumgehalten in der Bodenlösung des unteren Wurzelraumes an den deutschen Level II-Standorten. Die Isolinien kennzeichnen Bc/Al-Bereiche mit hohem Aluminiumstressrisiko: Kiefer < 0,1 , Fichte < 0,4 , Buche < 0,6.**



Zu den meist verwendeten Indizes für den Versauerungszustand der Bodenlösung und als Stresskennwerte für mögliche physiologische Wirkungen auf Pflanzen werden die molaren Verhältnisse von Calcium zu Aluminium oder basischen Kationen (Bc = Calcium+Magnesium+Kalium) zu Aluminium verwendet. Diese Kennwerte tragen der Beobachtung Rechnung, dass auf der einen Seite in Gegenwart der basischen Kationen hohe Aluminiumkonzentrationen von den Pflanzenwurzeln besser ertragen werden und auf der anderen Seite in Gegenwart hoher Aluminiumkonzentrationen die Aufnahme der wichtigen Nährstoffe Calcium und Magnesium in die Pflanzenwurzeln behindert ist.

Wenngleich aufgrund der hohen Komplexität der Aluminiumchemie und der Vielfalt der möglichen Schutzmechanismen der Pflanzen noch beträchtliche Wissensdefizite und dementsprechende Bewertungsunsicherheiten bestehen, unterstützt doch eine Vielzahl von Laboruntersuchungen und auch Freilandstudien die Hypothese, dass Aluminiumstress in unseren Waldökosystemen ein bedeutsamer Risikofaktor ist. Die Verwendung der Ca/Al- und Bc/Al-Verhältnisse hilft, Standorte mit einem bodenchemischen Stressrisiko von wahrscheinlich stressfreien Standorten zu unterscheiden. Im deutschen Level II-Kollektiv sind Standorte in allen Risikobereichen vertreten (Abbildung 31). 23 Standorte weisen im unteren Wurzelraum ein Bc/Al-Verhältnis < 1 und damit ein Aluminiumstressrisiko für Waldbäume auf. 4 Fichtenstandorte und 2 Buchenstandorte sind mit Bc/Al-Verhältnissen < 0,4 (Fichte) bzw. < 0,6 (Buche) einem hohen Aluminiumstressrisiko ausgesetzt.

### Bodenversauerung bedingt Nährstoffverluste

Die Bodenversauerung ist mit einer Verdrängung der Pflanzennährstoffe Calcium, Magnesium und Kalium von ihren Bindungsplätzen im Boden und einer Abnahme der Konzentration dieser Nährstoffe in der Bodenlösung verbunden. Dies wirkt sich auf die Nährstoffversorgung der Bäume und vermutlich auch auf ihr Wachstum und ihre Vitalität aus. Eine Analyse der umfangreichen Datensätze der bundesweiten Bodenzustandserhebung ergab, dass sich die Magnesiumernährung von Fichten recht gut aus dem Magnesiumvorrat im Boden (Gehalte in der Humusaufgabe und austauschbare Gehalte im Mineralboden) und dem Magnesiumvorratsanteil in der Humusaufgabe abschätzen lässt. Vergleichsweise enge Beziehungen ergaben sich anhand der Level II-Datensätze auch zwischen den Calcium- bzw. Magnesiumgehalten in der Bodenlösung und den Gehalten dieser Elemente in den Nadeln bzw. Blättern der Waldbäume (Abbildung 32). Diese Beobachtungen lassen sich in Modellkalkulationen zur Vorhersage von Engpässen in der Nährstoffversorgung bei fortschreitender Bodenversauerung nutzen.

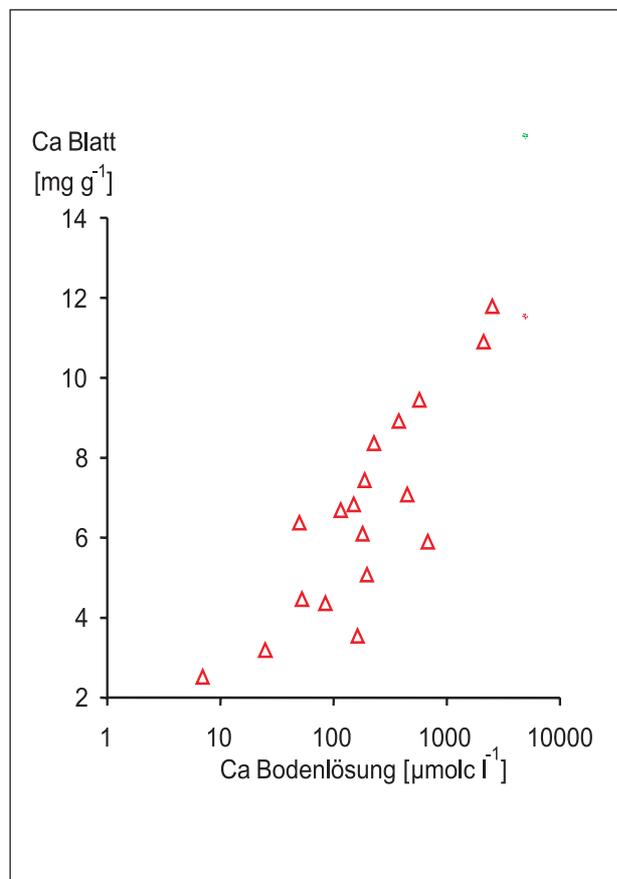
### Mögliche Gefahren für Grund- und Quellwasser lassen sich nicht ausschließen

Große Bedeutung kommt der Bodenversauerung auch im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung der Qualität des Grund- und Quellwassers zu. Nach den Befunden der Level II-Untersuchungen geben viele Waldböden an der Untergrenze des Wurzelraumes versauertes Wasser mit

hohen Konzentrationen an Aluminiumionen ab. Diese Böden erfüllen demnach nicht mehr ihre Filter-, Puffer- und Reglerfunktionen. Das saure Sickerwasser stellt allerdings nur ein Belastungspotenzial für das Grund- und

Quellwasser dar. Ob die Qualität des Grund- und Quellwassers tatsächlich beeinträchtigt wird, hängt am einzelnen Standort von den Versickerungswegen und den Puffereigenschaften des tieferen Untergrundes ab.

**Abbildung 32: Beziehung der Ca-Blattgehalte zu den Ca-Konzentrationen der Bodenlösung im Wurzelraum für die Baumart Buche.**



Bei Bodenuntersuchungen wird zwischen der Bodenfestphase und der Bodenlösungsphase unterschieden. Zur Untersuchung der Bodenfestphase werden Humus- und Mineralbodenproben aus Bodenprofilen oder über Bodenbohrungen gewonnen und hieran die Gehalte an allen wesentlichen Bioelementen (vor allem Nährstoffe und potentielle Schadstoffe) ermittelt. An den Mineralbodenproben werden insbesondere die Kationenaustauscheigenschaften, vor allem die Belegung der negativ geladenen Bindungsplätze des Bodens mit basischen Kationen (Calcium-, Magnesium-, Kalium-, Natriumionen) und Kationsäuren (Aluminium-, Mangan-, Eisenionen) sowie Wasserstoffionen erfasst. Ein häufig verwendeter Kennwert zur Charakterisierung des Säure-/Basezustandes der Bodenfestphase ist die Basensättigung (prozentualer Anteil der basischen Kationen an der Kationenaustauschkapazität).

Bei der Untersuchung der Bodenlösungsphase wird das den Pflanzenwurzeln zugängliche bzw. das durch das Porensystem des Bodens sickende Wasser erfasst. Hierzu wird die Bodenlösung meist mithilfe einer Sauganlage in verschiedenen Bodentiefen gewonnen. In den Bodenlösungsproben werden der pH-Wert gemessen, der Gehalt an gelösten organischem Kohlenstoff bestimmt und die Konzentrationen der oben genannten Anionen und Kationen gemessen. Da die Aufnahme von Stoffen durch die Pflanzenwurzeln aus der Bodenlösung erfolgt, ist eine Charakterisierung der chemischen Beschaffenheit der Bodenlösung aussagekräftiger als eine Beschreibung des chemischen Zustandes der Bodenfestphase. Allerdings ist die Gewinnung der Bodenlösung technisch weitaus aufwendiger als die Gewinnung von Proben für die Festphaseuntersuchung.

### Waldbodenzustand

– Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald –

Nährstoff-, Luft- und Wasserhaushalt der Böden bestimmen das Pflanzenwachstum. Andererseits beeinflussen die Pflanzen wiederum den Boden. Böden unterliegen ständig natürlichen und anthropogenen Einflüssen (Witterung, Bodenbearbeitung etc.). Veränderungen der chemischen oder der physikalischen Bodeneigenschaften durch anhaltende äußere Einflüsse, wie z. B. Einträge von Luftverunreinigungen, können natürliche Systemabläufe stören.

Stoffeinträge aus der Atmosphäre haben in den letzten Jahrzehnten auf die Waldböden - regional in unterschiedlichem Ausmaß - eingewirkt und sie teilweise in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt. Dabei hängt es von dem Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsvermögen der jeweiligen Waldstandorte ab, ob die im Laufe der Zeit in Waldökosystemen eingetragenen und z.T. angereicherten Stoffe das ökologische Beziehungsgefüge im Wald stören oder ob die Regenerationskraft dieser Ökosysteme ausreicht.

### Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) hat folgende Erkenntnisse erbracht:

- Mehr als 80 % der carbonatfreien Standorte weisen in einer Bodentiefe von 10 cm bis 30 cm einen pH-Wert unter 4,2 auf und bei mehr als 60 % der BZE-Punkte liegt die Basensättigung unter 15 %. Dies deutet auf eine flächendeckende Versauerung und Basenverarmung hin. Die aufgrund der Mannigfaltigkeit der Ausgangsge-

steine und Bodenbildungsprozesse erwartete Vielgestaltigkeit der Waldböden kommt in der geringen Streubreite bodenchemischer Parameter nicht zum Ausdruck.

- Entgegen den Erwartungen sind die bei der BZE gefunden pH-Werte generell niedriger sowie das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff kleiner als dies aus der Vergangenheit bekannt war. Diese Disharmonie deutet auf Störungen der natürlichen bodenökologischen Prozesse durch atmosphärische Einträge hin.
- Durch den Eintrag starker Säuren, für deren Neutralisation bestimmte Böden – z. B. quarzreiche Substrate – keine Pufferreserven mehr haben, kann eine Gefährdung von Quell- und Grundwasser durch Mobilisierung von Kationensäuren (Aluminium, Eisen) bei bestimmten hydrogeologischen Verhältnissen nicht ausgeschlossen werden.
- Kritische Konzentrationen von Schwermetallen, bei deren Überschreitung mit einer Beeinträchtigung der Bodenorganismen zu rechnen ist, werden für Kupfer und für Blei an 35 % bzw. 25 % der BZE-Punkte überschritten.
- Nadel-/Blattanalysen ergaben regional und für einzelne Baumarten Überversorgung mit Stickstoff und Schwefel sowie Nährstoffmangelerscheinungen.

### II.2.7 Ernährungszustand der Waldbäume

Waldbäume sind in der Lage, ein weites Spektrum unterschiedlich beschaffener Böden zu besiedeln und die erforderlichen Nährstoffe zu erschließen. Ihr leistungsfähiges Wurzelsystem verhilft ihnen selbst auf nährstoffarmen Böden zu Konkurrenzvorteilen gegenüber anderen Vegetationsformen. Ein begrenztes Nährstoffangebot limitiert zwar das Wachstum, gefährdet aber bei entsprechender Anpassung nicht zwangsläufig die Vitalität der Bäume. Bei übermäßiger Nährstoffversorgung erhöht sich jedoch die Anfälligkeit gegenüber witterungsbedingten oder biotischen Einflüssen und Umweltbelastungen. Das Risiko von Vitalitätsverlusten steigt.

Die chemische Analyse der Nährstoffgehalte von Nadeln und Blättern erlaubt Rückschlüsse auf Störungen bei der Stoffaufnahme und ermöglicht die Beurteilung der aktuellen Nährstoffverfügbarkeit am jeweiligen Standort. Wegen der Anreicherung in oder auf den Blattorganen lassen sich auch verschiedene Stoffbelastungen nachweisen (Bioindikation).

Für die Beurteilung der Nährstoffsituation der verbreitet vorkommenden Waldbaumarten Fichte, Kiefer und Buche stehen methodisch vergleichbare Befunde aus der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE; einmalige Erhebung im Zeitraum 1987 bis 1993) und von den 86 Dauerbeobachtungsflächen des Level II-Programmes (Ersterhebung: 1995/1996) zur Verfügung.

Die Ergebnisse aus beiden Monitoringprogrammen belegen, dass sich die aktuell bedeutsamen Prozesse und Veränderungen in den Wäldern auch in der Ernährungssituation der Waldbäume widerspiegeln.

#### Nadel-/Blattuntersuchungen belegen die Stickstoffsättigung von Wäldern

In der Vergangenheit war die mangelhafte Stickstoffernährung der Wälder aufgrund ungünstiger Standortbedingungen und Übernutzungen (z. B. Streunutzung, regional bis in die 1950er Jahre) eine häufige Ursache von

Wachstumsstörungen. Anhaltend hohe Stickstoffeinträge aus Luftverunreinigungen haben diese Situation grundlegend verändert. Bundesweit treten Stickstoffernährungsschwächen über alle Baumarten betrachtet nicht mehr in bedeutsamem Umfang auf. Sehr gering stickstoffversorgt und möglicherweise stärker in ihrem Wachstum begrenzt sind 32 % der untersuchten Fichtenstandorte und nur 9 % der Kiefernbestände (Abbildung 33). Buchenbestände sind mangelfrei. Auf den Dauerbeobachtungsflächen (Level II), an denen die Veränderungen in den Wäldern seit 1995 intensiv beobachtet werden, tritt Stickstoffmangel noch seltener auf. Lediglich an 4 der 34 untersuchten Fichtenbestände (12 %) sind die Nadelspiegelwerte als mangelhaft zu werten.

Mittlerweile erlaubt die verbesserte Stickstoffversorgung vielerorts ein erhöhtes Wachstum der Waldbäume. Bundesweit zeigen annähernd 30 % der Fichten-, 60 % der Kiefern-, bzw. 90 % der Buchenbestände hohe bis sehr hohe Stickstoffgehalte in Nadeln und Blättern. An den beispielhaft ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Level II) ist deren Anteil bei Fichte knapp 60 % und bei Kiefer ca. 80 %. Bei anhaltend hohen Stickstoffeinträgen und bereits hoher Stickstoffversorgung zeichnet sich regional auch weiterhin ein aktueller Trend zur Anreicherung von Stickstoff in den Nadeln von Fichtenbeständen ab (Abbildung 34). Dieser „Luxuskonsum“ ist an einigen Standorten besonders ausgeprägt. Der Trend wird von jährlichen Schwankungen der Elementgehalte in den Nadeln stark überlagert.

Zunehmend steigt auf basenarmen Standorten damit die Gefahr von Nährstoffungleichgewichten, weil bei freudigerem Wuchs die ebenfalls erforderlichen basischen Nährstoffe nicht immer ausreichend nachgeliefert werden können. Wenn zusammen mit dem überschüssigen Stickstoff basische Nährstoffe aus dem Wurzelraum ausgewaschen werden (Bodenversauerung, Basenverarmung), so verschärft sich die Situation noch. Mindestens 35 % der Level II-Standorte sind wegen ihres erhöhten Stickstoffaustrages aus dem Waldboden als stickstoffgesättigt anzusehen.

Abbildung 33: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher N-Versorgung, Vergleich verschiedener Hauptbaumarten und Monitoringprogramme (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996); Diagnose auf der Grundlage von Nadel-, Blattanalysen (1-jähr. Nadeln bei Fichte und Kiefer)

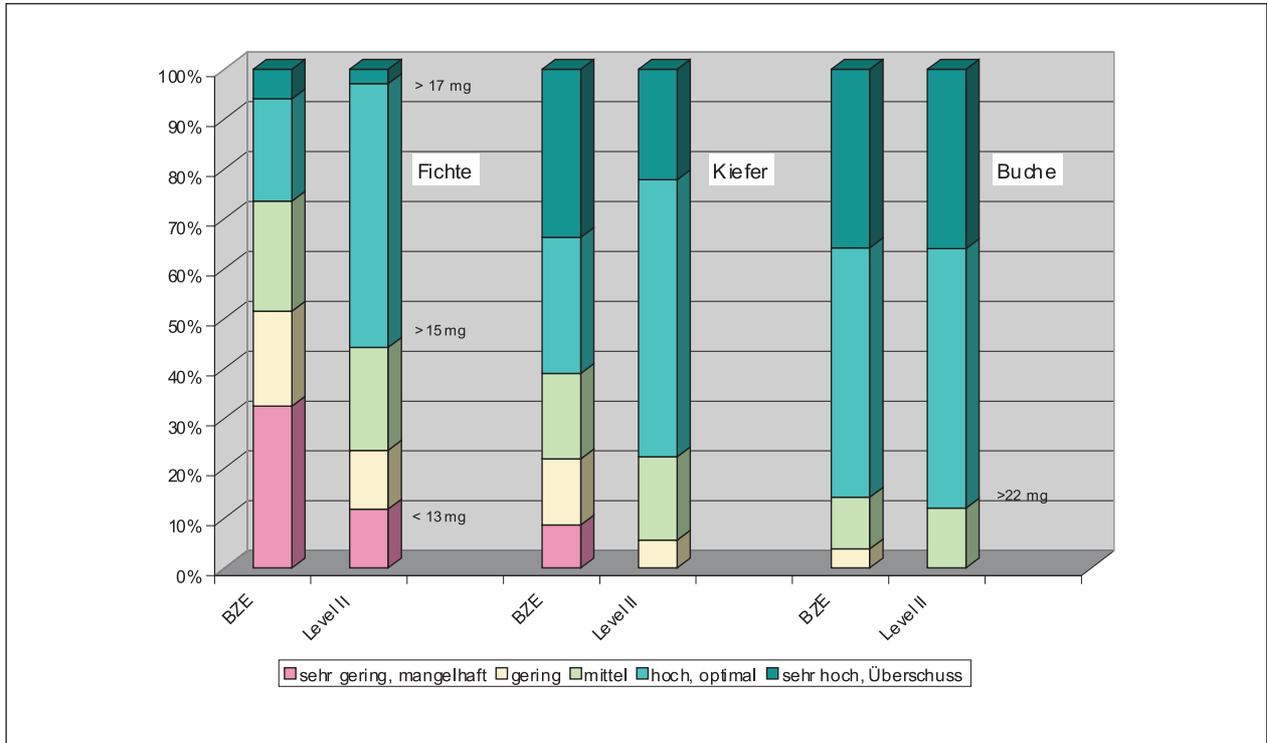
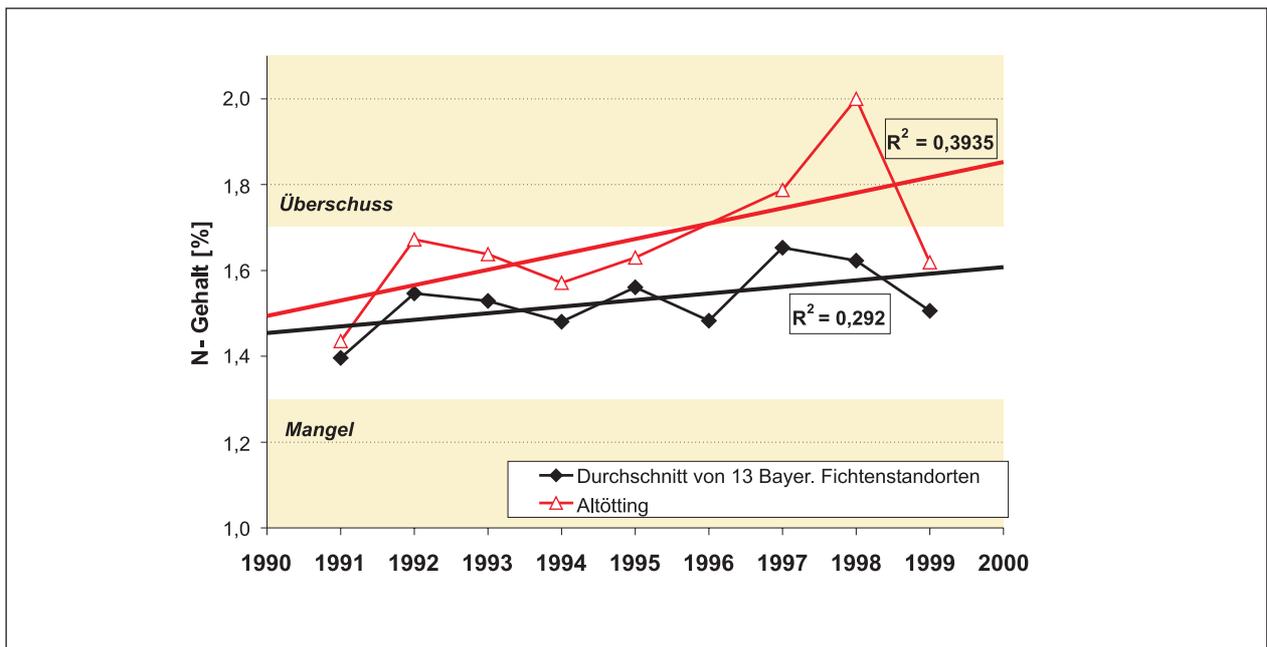


Abbildung 34: Stickstoffgehalte in jüngsten Fichtennadeln bayerischer Level II-Standorte; Untersuchungsfläche Altötting und Durchschnitt mehrerer Standorte; Jahreswerte und Trend



**Die bei Bodenuntersuchungen festgestellten Nährstoffverluste in Waldökosystemen beeinflussen auch die Nährstoffversorgung**

An ca. 60 % der untersuchten Level II-Standorte ist die Stoffbilanz des Waldes für basische Nährstoffkationen (Calcium, Magnesium und Kalium) negativ. Erhöhte Säurebelastung führt dort durch Auswaschung aus den Waldböden zu einem Verlust an diesen Basen. Auf armen Standorten sinkt damit die Pufferkapazität der Böden für Säuren, d. h. die Fähigkeit, den Versauerungsprozessen entgegenzuwirken nimmt ab. Pflanzenverfügbare Nährelemente werden weiter reduziert. Bereits aktuell sind daher Magnesiumernährungsschwächen bei Waldbäumen häufig anzutreffen. Nach der bundesweiten BZE sind rund 15 % der Fichten- und Kiefernbestände als mangelhaft magnesiumversorgt einzustufen (Abbildung 35). Auf vergleichbaren Standorten ist die Situation bei Buchen nicht besser. An den Level- II Standorten sind die Befunde noch ungünstiger. Es werden Mängel an ca. 30 % der Fichten- und Kiefernstandorte beobachtet.

**Vielfach lassen erst mehrjährige Erhebungen eine zuverlässige Beurteilung des Ernährungszustandes von Bäumen zu**

Bei mehrjährigen Erhebungen werden auch Jahre erfasst, in denen die Nährstoffaufnahme der Waldbäume besonderen Belastungen unterliegt (z. B. Trockenjahre, Jahre mit

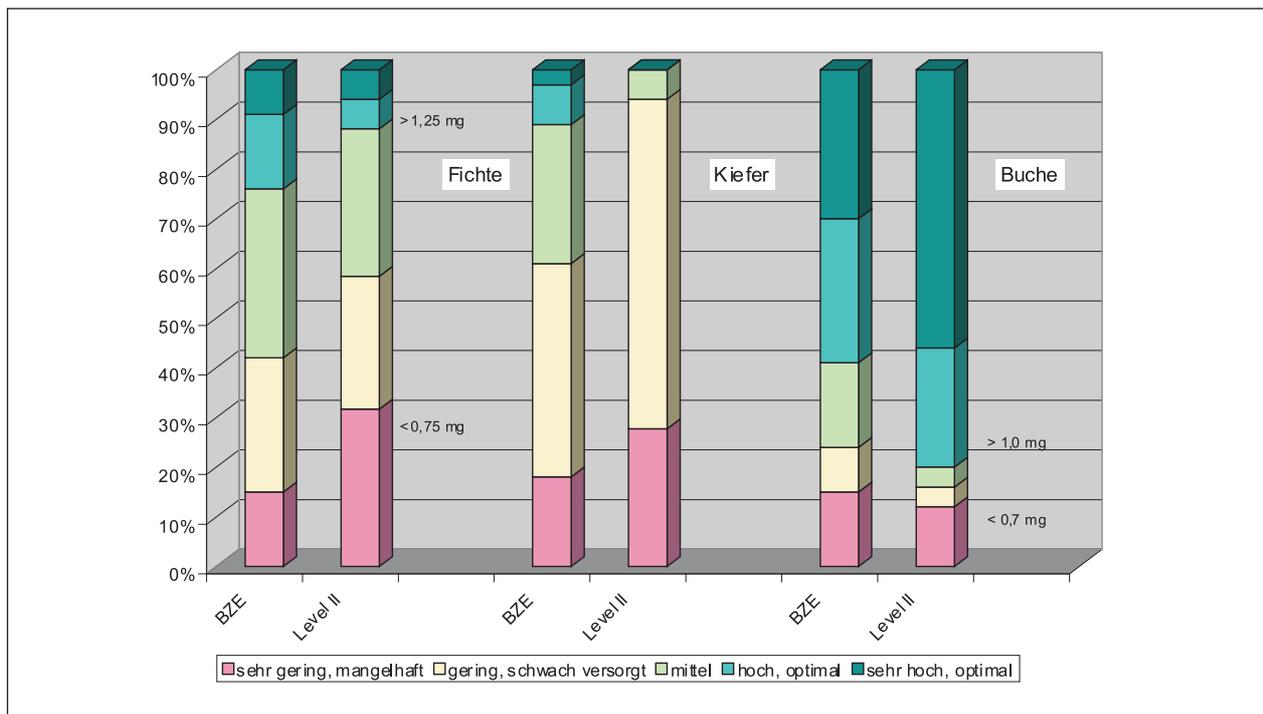
starker Fruktifikation). Betrachtet man die Nährstoffsituation über einen längeren Zeitraum (bis 1997), zeigt sich, dass annähernd 50% der Laub- und Nadelbestände auf Standorten mit geringer Basensättigung im Wurzelraum (68 Level II-Standorte) als zeitweise mangelhaft ernährt eingestuft werden müssen. In wenigstens einem der Beobachtungsjahre wurden Nährstoffmangelgrenzen unterschritten. Eine durchweg optimale Versorgung mit den Nährelementen Calcium, Magnesium, Kalium weisen demgegenüber lediglich 10 % der Nadel- und 38 % der Laubbestände auf diesen basenarmen Standorten auf. Ein Trend fortschreitender Nährstoffverarmung wie er aus Langzeitbeobachtungen z. B. im Solling bekannt ist, lässt sich jedoch in dem vergleichsweise kurzen Beobachtungszeitraum an den Level II-Standorten noch nicht bestätigen.

**Auch der Rückgang der Schwefelbelastungen in Wäldern zeigt sich bei Nadel-/ Blattuntersuchungen**

Nadelanalysen von Fichten- und Kiefern geben den aus Immissions- und Depositionsmessungen bekannten großräumigen Rückgang der Schwefelbelastung der Wälder sehr gut wider.

Bundesweit waren bis Anfang der 90er-Jahre (BZE) noch rd. 40 % der Fichtenbestände als schwefelbelastet (Nadelgehalte größer 1,2 mg) anzusehen, auf den Dauerbeobachtungsflächen (Level II) sind es 20 % (Abbildung 36).

**Abbildung 35: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher Mg- Ernährung, Vergleich verschiedener Hauptbaumarten und Monitoringprogramme (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996 ); Diagnose auf der Grundlage von Nadel-, Blattanalysen (1-jähr. Nadeln bei Fichte und Kiefer)**



Insbesondere an ehemals stärker belasteten Level II-Standorten ist parallel zu dem Rückgang der Schwefel-einträge eine deutliche Abnahme der Schwefelanreicherungen in den Nadeln von Fichten und Kiefern zu beobachten. Vielerorts sind die Konzentrationen auf Normalwerte zurückgegangen. Hohe Schwefelgehalte von mehr als 1,8 mg/g, die in der BZE noch bei nahezu einem Viertel aller Kiefernbestände überschritten wurden, treten in der Level II-Stichprobe nicht auf. Erhöhte Nadelspiegelwerte als Indikatoren aktueller Belastungen finden sich noch in den bekannten Immissionsgebieten Sachsens, teilweise auch in Brandenburg sowie an einigen immissionsexponierten Lagen west- und süddeutscher Mittelgebirge.

### Fazit

Am Ernährungszustand der Waldbäume zeigt sich, dass die zunehmende Stickstoffübersorgung bei gleichzeitiger Versauerung der Waldböden als ein aktuell bedeutsamer Veränderungsprozess in Wäldern anzusehen ist, welcher intensive Bemühungen um eine Reduktion der Stickstoffemissionen erfordert. Im Bezug auf die Schwefelimmisionen wurden schon wesentliche Erfolge in der Luftreinhaltung erreicht, die sich unmittelbar auch an Waldbäumen nachweisen lassen. In einzelnen Belastungsgebieten sind aber auch für Schwefel noch Reduktionsmaßnahmen nötig.

### II.2.8 Der Einfluss der Fruktifikation auf den Blattverlust der Buche

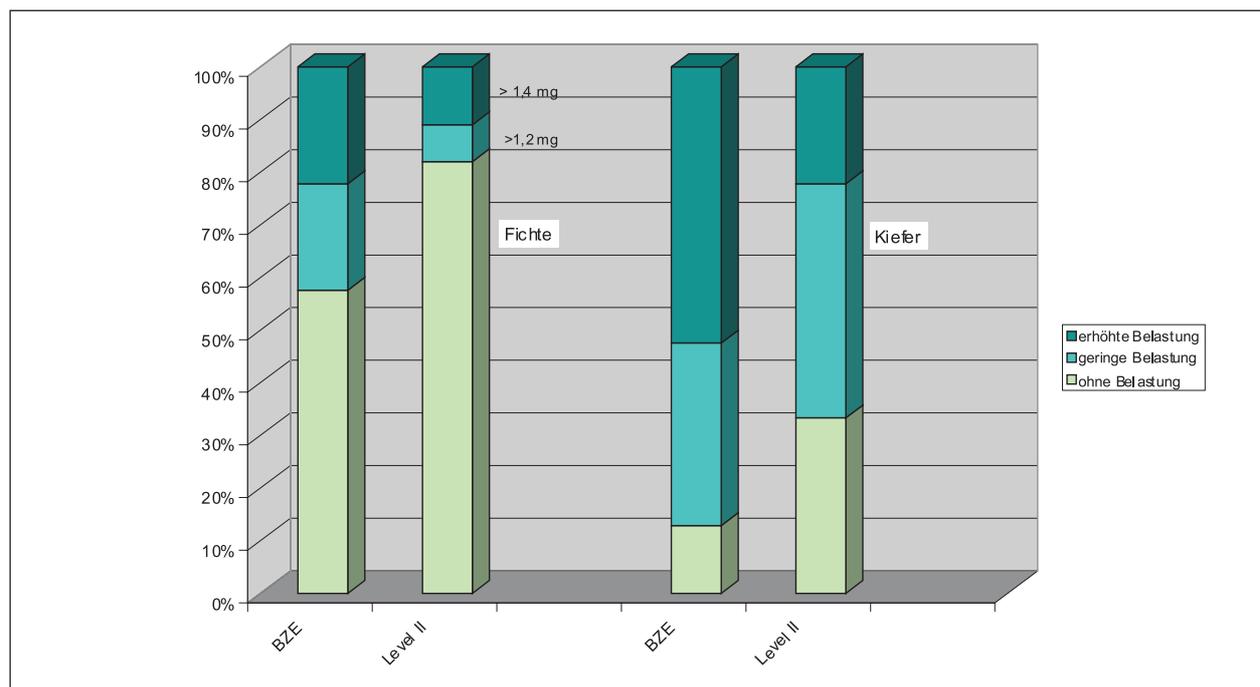
Der Kronenzustand der Buche ist im Verlauf eines Baumlebens vielfältigen Einflüssen unterworfen, die für das Erscheinungsbild der Baumkrone prägend sind. Bei der Betrachtung der Einflussfaktoren ist zwischen disponierenden und unmittelbar Schäden auslösenden Stresseinflüssen zu unterscheiden.

Fruktifikation bedeutet für die Buchen eine erhebliche Belastung des Energie- und Stoffhaushaltes. Die Produktion von bis zu 2 800 kg je Hektar Bucheckern (Trockenmasse/ha) führt zu einem um das 40 bis 50-fache über den Normalwerten liegenden Verbrauch an Kohlehydraten, Eiweiß und Fetten. Sichtbar werden diese Belastungen durch einen Rückgang des Dickenwachstums, durch verstärkt auftretende Kleinblättrigkeit und, da teilweise Blüten statt Blätter gebildet werden, durch eine geringere Blattmenge an den Langtrieben.

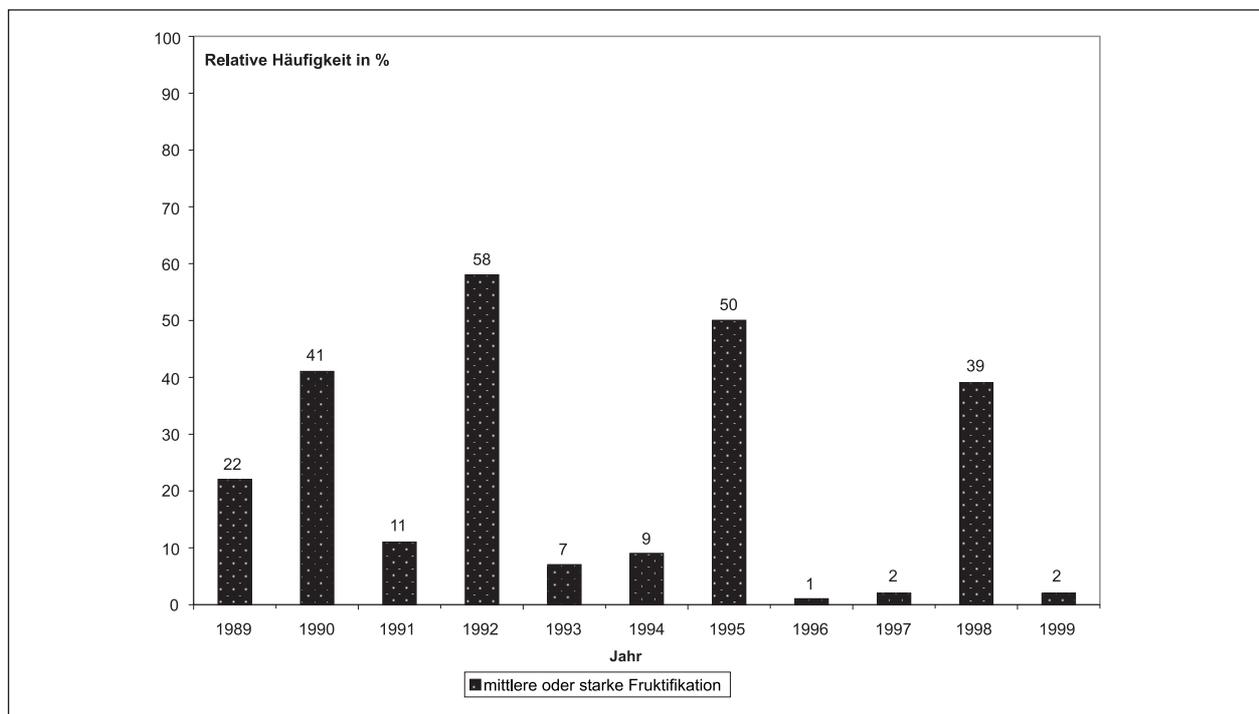
In den 90er-Jahren weisen die Buchen eine auffallend häufige und intensive Fruchtbildung auf (Abbildung 37). Alle zwei bis drei Jahre ist an etwa der Hälfte aller Buchen (aller Altersstufen) deutlicher Fruchtbehang festzustellen.

Nach den Befunden der Dauerbeobachtungsflächen schlägt sich mittlere und starke Fruktifikation meist in einer deutlichen Verschlechterung des Kronenzustandes im Jahr der Fruktifikation nieder. Es stellt sich die Frage, ob

**Abbildung 36: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher Schwefel-Belastung, Vergleich der Baumart Fichte und Kiefer in versch. Monitoringprogrammen (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996); Diagnose auf der Grundlage von Nadelanalysen 1-jähr. Nadeln**



**Abbildung 37: Anteil mittel und stark fruktifizierender Buchen auf Dauerbeobachtungsflächen der Länder Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein in den Jahren 1989 bis 1999**



dieser häufige und deutlich ausgeprägte Fruchtbehang längerfristig eine dominierende Einflussgröße für die beobachtete Kronenveränderung der Buche darstellt.

Hierzu werden in Abbildung 38 Bäume verglichen, die zwischen 1989 und 1999 unterschiedlich häufig fruktifiziert haben. Um den längerfristigen Einfluss der Fruktifikation auf den mittleren Blattverlust der Buche zu prüfen, wurde das Baumkollektiv (N=1874) nach der Anzahl mittlerer bzw. starker Fruktifikationsereignisse in den Jahren 1989 bis 1999 in fünf Gruppen gegliedert und die Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung in diesen 10 Jahren dargestellt.

Die Darstellung beinhaltet sowohl die Daten verschiedener sich standörtlich und vom Alter unterscheidender Versuchsflächen als auch Fruktifikationsereignisse z. T. unterschiedlicher Jahre. Eine differenzierte Auswertung der Daten nach diesen Kriterien steht noch aus. Beispielauswertungen aus einzelnen Bundesländern mit längeren Zeitreihen und z. T. deutlicherem Schadanstieg bestätigen jedoch den hier dargestellten Trend.

Buchen, die häufiger fruktifizieren, zeigen grundsätzlich höhere mittlere Blattverluste als Bäume mit geringerer Fruktifikation. Diese Beobachtung steht im direkten Zusammenhang mit den oben angeführten Belastungen der Buchen durch die Fruktifikation.

Bemerkenswert ist jedoch, dass sich der Blattverlust von Buchen ohne Fruktifikation innerhalb der 10 beobachte-

ten Jahre deutlich erhöht hat. In der Fruktifikation kann somit keineswegs eine Hauptursache für die Veränderungen des Gesamtkollektives aller Buchen in Deutschland gesehen werden. Es muss daher neben der Fruchtbildung noch weitere Ursachen für die Veränderungen im Kronenzustand der Buchen geben.

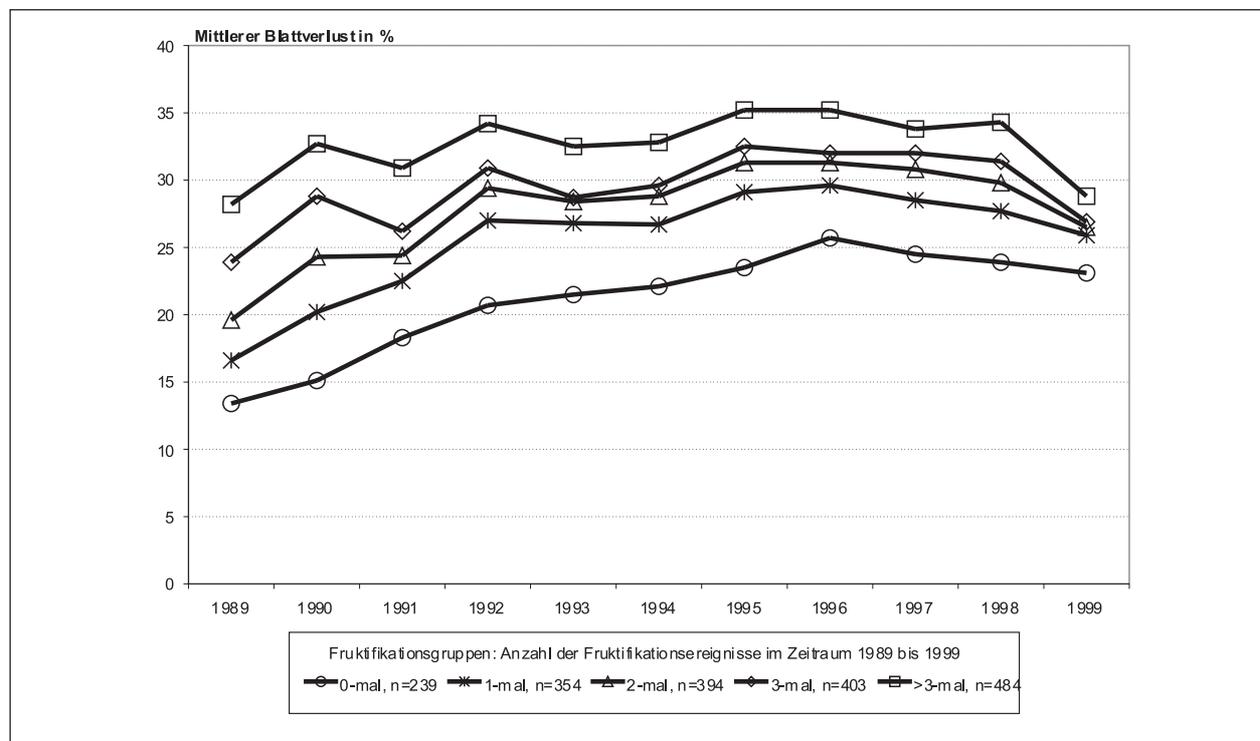
Zu beachten ist, dass vornehmlich freier stehende Bäume fruktifizieren. Diese sind aber auch anderen Stresseinflüssen wie Ozon in Kombination mit hoher Lichtintensität besonders ausgesetzt. Bislang ist offen, inwieweit stärker geschädigte Bäume häufiger fruktifizieren (sogenannte Notfruktifikation) oder inwieweit die in den 90er-Jahren gehäuft auftretende Fruktifikation bei der Buche durch anhaltend hohe Stickstoffeinträge gefördert wird.

### II.3 Bewertung der Ergebnisse

Der Kronenzustand ist ein wichtiger Weiser für die Vitalität der Bäume. Daher führen die Landesforstverwaltungen zur aktuellen Einschätzung des Waldzustandes jährlich die Waldschadenserhebung durch. Langfristigen Zeitreihen und den daraus ableitbaren Trends kommt bei der Ergebnisbeurteilung eine große Bedeutung zu.

Bei der Fichte und der Kiefer sowie bei den „anderen Nadel- und Laubbaumarten“ wird eine ähnliche Entwicklung des Kronenzustandes festgestellt. Das Schadniveau hat bei diesen Baumarten bzw. Baumartengruppen Werte

**Abbildung 38: Entwicklung des mittleren Blattverlustes bei zunehmender Häufigkeit mittlerer und starker Fruktifikation. Datengrundlage: Dauerbeobachtungsflächen der Länder Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein 1989 bis 1999**



wie zu Beginn der Erhebung 1984 oder sogar darunter. Der Anteil der deutlichen Schäden hat sich in den letzten vier Jahren nur unwesentlich geändert. Der Anteil der Bäume ohne Schäden hat in diesem Zeitraum z. T. abgenommen, die mittlere Kronenverlichtung nahm zu. Die Situation kann bei diesen Bauarten als zufrieden stellend beurteilt werden. Weniger positiv verläuft die Entwicklung der Kronenverlichtung bei der Buche und der Eiche. Bei der Buche stieg der Flächenanteil deutlicher Schäden in der langfristigen Betrachtung auf nun 40 % an. Das hohe Schadniveau in diesem Jahr kann nur zum Teil mit der intensiven Fruktifikation erklärt werden. Auch bei Eiche wurde seit Beginn der Erhebungen bis 1997 ein Anstieg der Kronenverlichtung festgestellt. Obwohl sich bei der Eiche mit der Abnahme des Flächenanteils deutlicher Schäden gegenüber dem Vorjahr ein gegenläufiger Trend abzeichnen könnte, gibt das hohe Schadniveau bei Eiche und auch bei Buche nach wie vor Anlass zur Sorge.

Waldökosysteme werden durch zahlreiche natürliche und anthropogene Faktoren beeinflusst.

Die Witterung wirkte sich im Jahr 2000 in der bundesweiten Betrachtung nicht negativ auf den Waldzustand aus. Der Orkan „Lothar“ verursachte 1999 jedoch große Schäden in den süddeutschen Wäldern, insbesondere in Baden-Württemberg. Der Sturm wirkte sich durch den erhöhten Ausfall von Probestämmen und durch die Beeinträchtigung von Level II-Dauerbeobachtungsflächen auf

das forstliche Umweltmonitoring aus. Der Einfluss von Schadorganismen und Insektenfraß war im Jahr 2000 gering.

Die über die Luft verfrachteten Stoffeinträge in Wälder bleiben durch ihre Festlegung im Boden über lange Zeiträume wirksam. So werden zum Beispiel Schwermetalle im Humus angereichert und können beim Vorliegen bestimmter Umweltbedingungen zu einem späteren Zeitpunkt im Boden freigesetzt und in das Grundwasser verlagert werden. Wie sich aus der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) ergibt, sind viele Waldböden gegenüber dem natürlichen Zustand verändert. Ihre Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften sind teilweise gestört. Auffällig ist die – weitgehend unabhängig von dem für die Bodenbildung bestimmenden Ausgangssubstrat eingetretene – großflächige Versauerung und Basenverarmung der oberen Bodenschichten. Die Basensättigung, die auf den 60 % der Stichprobenpunkte unterhalb von 15 % liegt, verdeutlicht die geringe Elastizität der Böden gegenüber Säurestress. Wenngleich aufgrund der hohen Komplexität der Aluminiumchemie und der Vielfalt der möglichen Schutzmechanismen der Pflanzen noch beträchtliche Wissensdefizite und dementsprechende Bewertungsunsicherheiten bestehen, unterstützt doch eine Vielzahl von Laboruntersuchungen und auch Freilandstudien die Hypothese, dass Aluminiumstress in unseren Waldökosystemen ein bedeutsamer Risikofaktor

ist. Level II-Untersuchungen belegen, dass ca. 30 % der Standorte im unteren Wurzelraum ein Aluminiumstressrisiko für Waldbäume aufweisen. Untersuchungen zeigen weiterhin, dass auf großen Teilen der Waldfläche der Bundesrepublik Deutschland gegenwärtig ein erhöhtes Risiko durch Säureeinträge besteht. Etwa die Hälfte der Fläche hat einen Säureüberschuss von 2 kmolc pro Hektar und Jahr. In sensitiven Bereichen liegen die aktuellen Säurefrachten um bis zum 15-fachen über den Belastungsgrenzen.

Das forstliche Umweltmonitoring belegt mit seinen Erhebungen auf einem systematischen, bundesweiten Stichprobennetz und den Fallstudien auf Level II-Dauerbeobachtungsflächen, dass von Stoffeinträgen Gefahren für Waldökosysteme ausgehen. Nach dem Rückgang der Schwefeinträge und zum Teil auch säurebildenden Substanzen kommt nun besonders dem Stickstoff und dem Ozon ein besonderes Augenmerk zu.

Auf den Level II-Dauerbeobachtungsflächen wurden Stickstoffeinträge zwischen 9 kg und 46 kg Stickstoff pro Jahr und Hektar – im Mittel 25 kg – verzeichnet. Ein für die Entwicklung der Wälder verträgliches Maß, das unter anderem in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen zumeist zwischen 5 kg und 15 kg pro Jahr und Hektar Stickstoffeintrag liegt, wird somit häufig überschritten. Hieraus ergeben sich Beeinträchtigungen der Prozessabläufe in den Wäldern. Über die Luft und mit den Niederschlägen eingetragener Stickstoff führt zu Bodenversauerung und kann zur Belastung des Grund- und Quellwassers mit Nitrat sowie zur Veränderung der Artenzusammensetzung in der Bodenvegetation führen. Die Wälder in Deutschland gehören zu den am höchsten mit Stickstoff belasteten Waldgebieten in Europa. Mit Blick auf die aktuelle Depositionsbelastung ist bereits unmittelbar auf etwa 30 % der deutschen Level II-Dauerbeobachtungsflächen mit Stickstoffsättigung der Waldökosysteme und Anstieg der Nitrausträge mit dem Sickerwasser zu rechnen.

Auch am Ernährungszustand der Waldbäume zeigt sich, dass die zunehmende Stickstoffübersversorgung bei gleichzeitiger Versauerung der Waldböden als ein aktuell bedeutsamer Veränderungsprozess in Wäldern anzusehen ist, welcher intensive Bemühungen um eine Reduktion der Stickstoffemissionen erfordert. Bundesweit zeigen annähernd 30 % der Fichten-, 60 % der Kiefern, bzw. 90 % der Buchenbestände hohe bis sehr hohe Stickstoffgehalte in Nadeln und Blättern.

Ozon kann unmittelbar zu Schäden an Nadeln und Blättern führen. Betrachtet man die Spitzenkonzentrationen von Ozon (98 % Perzentil), so finden sich neben dem Schwarzwald noch weitere Hinweise für eine hohe Ozonbelastung im Welzheimer Wald, im Pfälzer Wald, in einigen nordwestdeutschen Mittelgebirgen sowie im Thüringer Wald.

Das forstliche Umweltmonitoring belegt auch Risiken durch Schad- und Nährstoffeinträge für die biologische Vielfalt in unseren Wäldern. Die Forstwirtschaft setzt sich mit Nachdruck für eine Reduzierung der Gefährdungspos-

tenziale hierbei ein. Die Lösungsansätze im politischen Bereich müssen verstärkt auf die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen konzentriert werden. Bund und Länder haben – unter Beteiligung der Forst- und Naturschutzverbände – gemeinsam eine Strategie „Forstwirtschaft und Biologische Vielfalt“ entwickelt, um die forstlichen Maßnahmen aufeinander abzustimmen.

Informationen über den Waldzustand sind eine wichtige Voraussetzung, um Risiken für den Wald durch menschliche und natürliche Einflüsse abschätzen und um rechtzeitig Maßnahmen ergreifen zu können. Nur so ist sicherzustellen, dass Wälder auch künftig ihre vielfältigen Funktionen erbringen. Das forstliche Umweltmonitoring liefert Daten und bewertet diese. Politik, Forschung und forstliche Praxis können bei ihrer Arbeit darauf aufbauen.

#### II.4 Waldzustand in Europa

Das forstliche Umweltmonitoring in Deutschland ist eingebunden in das europaweite Monitoringsystems der Europäischen Union und der Wirtschaftskommission für Europa (ICP Forests der UN-ECE), einer Organisation der Vereinten Nationen, die die Genfer Luftreinhaltekonvention von 1979 umsetzt. Die Monitoringprogramme beider Organisationen sind aufeinander abgestimmt, die Monitoringergebnisse werden in gemeinsamen Auswertungszentren ausgewertet und in jährlichen Publikationen gemeinsam der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Europäische Kommission beteiligt sich an den Kosten der Erhebungen.

Für Deutschland kommt dem europaweiten Programm auch Bedeutung zu, da der wissenschaftliche Informationsaustausch Erkenntnisfortschritte bedingt und die Bewertung der nationalen Daten im europäischen Vergleich erfolgen kann.

Deutschland setzt sich daher nachdrücklich für eine Weiterentwicklung und Stärkung dieses Programms ein.

#### Die Struktur unter dem Genfer Luftreinhalteabkommen

1985 wurde im Rahmen des UN/ECE-Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (Genfer Luftreinhaltekonvention) das Internationale Kooperationsprogramm für die Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder (ICP Forests) ins Leben gerufen. 1986 verabschiedete die Europäische Union (EU) das Programm zum Schutz der Wälder gegen Luftverunreinigungen und schuf mit der Ratsverordnung (EWG) Nr. 3528/86 die rechtliche Grundlage für die Kofinanzierung der Erhebungen. Gegenwärtig beteiligen sich 38 Länder an den Programmen.

Unter der Genfer Luftreinhaltekonvention mit seinem obersten Organ, dem Executive Body, befasst sich eine Arbeitsgruppe mit den Auswirkungen der Luftverunreinigungen (Working Group on Effects). Unter dieser Arbeitsgruppe angeordnet ist das ICP Forests speziell für die Überwachung des Waldzustandes verantwortlich,

während sich andere Programme z. B. mit den Auswirkungen auf Gewässer oder auf die menschliche Gesundheit befassen. Auf der Organisationsebene der „Working Group on Effects“ erfasst das EMEP-Programm die großräumige Verteilung sowie Verbreitung der Luftverunreinigungen und die Working Group on Strategies (WGS) bereitet die politische Umsetzung der dabei gewonnenen Informationen vor (Abbildung 39).

Oberstes Organ von ICP Forests ist die Vollversammlung der Ländervertreter (Task Force). Sie tagt jährlich unter dem Vorsitz Deutschlands (Lead Country). Oberstes Organ innerhalb des EU Programms zum Schutz der Wälder gegen Luftverunreinigungen ist der Ständige Forstauschuss. Die gemeinsame inhaltliche Beratung und Weiterentwicklung des gemeinsamen Programms obliegt verschiedenen Expertengremien, in denen Spezialisten der Mitgliedsländer Fachfragen beraten. Zur Umsetzung des Gesamtprogramms wurden in allen Ländern nationale Koordinierungszentren eingerichtet. In Deutschland haben das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, bei der Daten der Bundeslän-

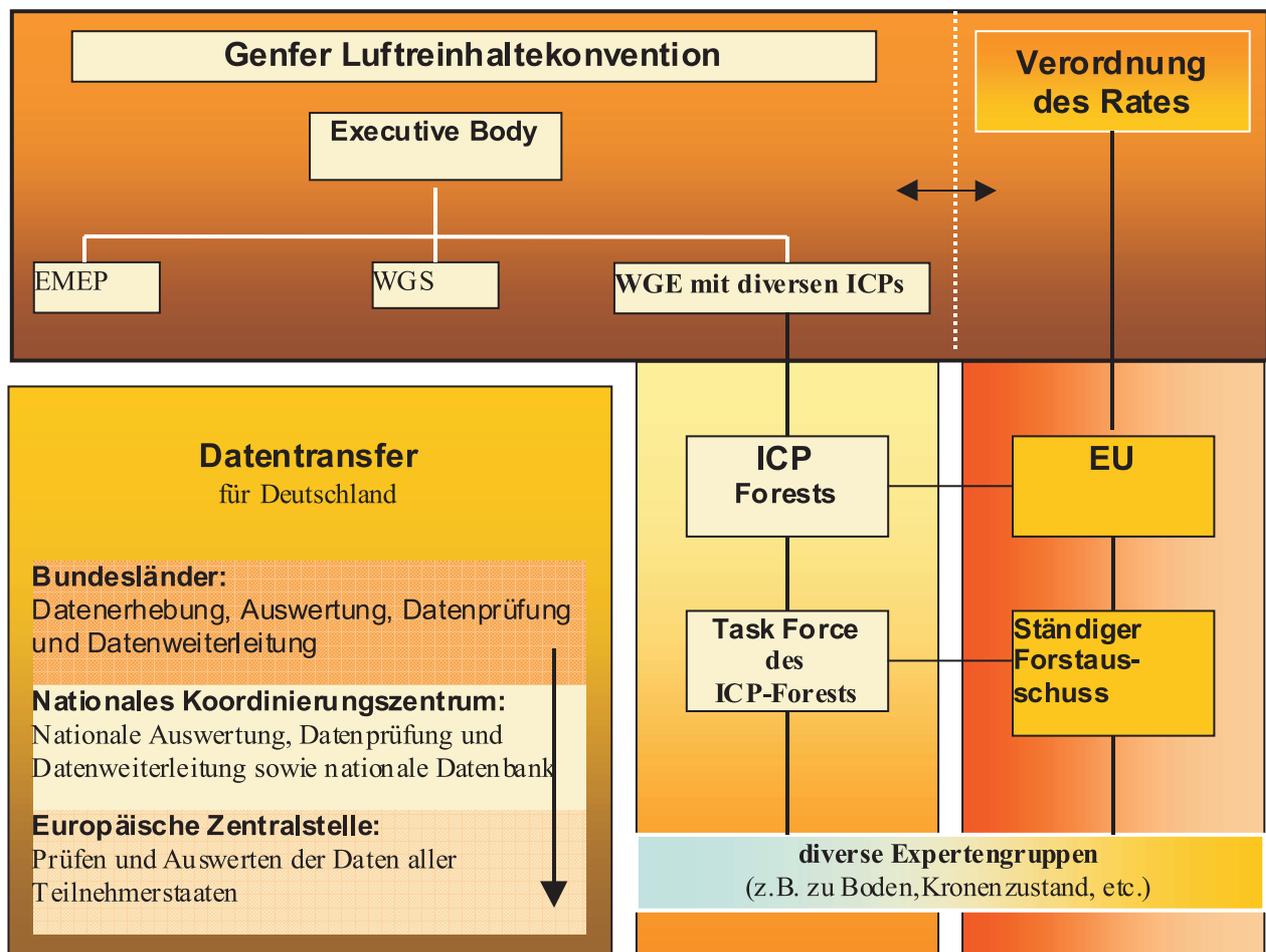
der gesammelt, geprüft, bundesweit ausgewertet und an eine europäische Zentralstelle weitergeleitet werden, diese Aufgabe übernommen.

**Ergebnisse des europaweiten Monitoringprogramms**

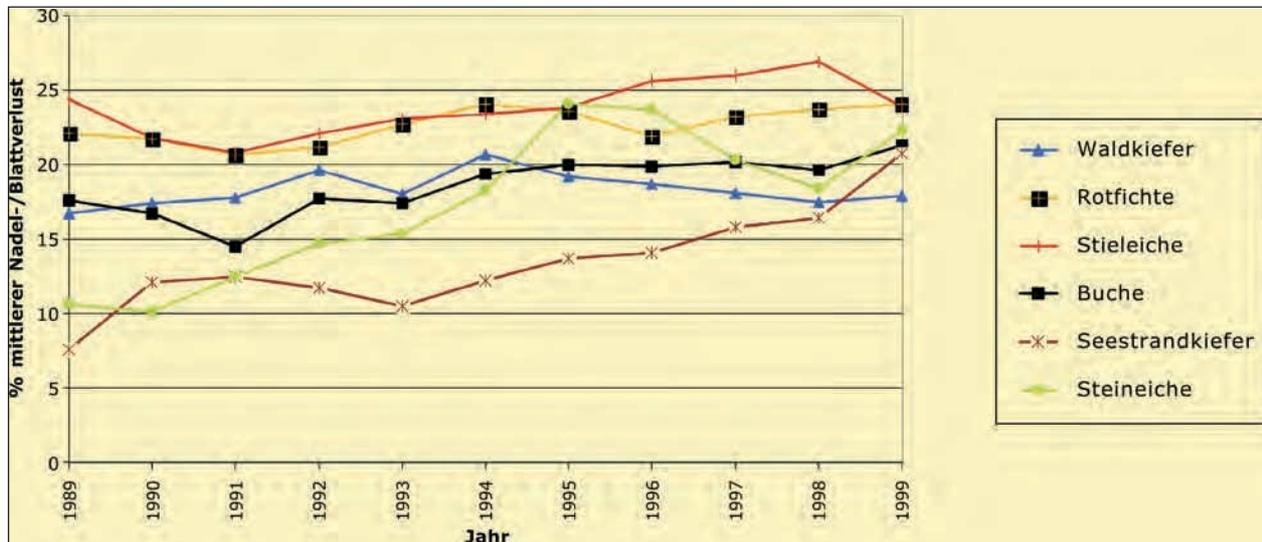
Das Programm beinhaltet jährliche Kronenzustandserhebungen auf ca. 5 700 systematisch verteilten sog. Level I-Flächen (16 x 16 km) sowie Bodenzustandserfassungen und Nadel-/Blattanalysen auf einem Teil dieser Flächen (bisher einmal europaweit durchgeführt). Auf über 860 Intensivuntersuchungsflächen (Level II) wird eine größere Zahl von ökologischen Schlüsselfaktoren gemessen. Dazu gehören Kronenzustand, chemische Nadel-/Blattanalysen, Bodenzustand, Bodenlösungschemie, Zuwachs, Vegetation, Stoffeinträge und -konzentrationen sowie Meteorologie.

Im Vergleich zu den Auswertungen der letzten Jahre hat sich 1999 die allgemeine Verschlechterung des Kronenzustands verlangsamt. Veränderungen des Nadel-/Blattverlusts differieren nach Baumarten und Regionen

**Abbildung 39: Organisation des forstlichen Umweltmonitorings auf europäischer Ebene (vereinfacht dargestellt)**



**Abbildung 40: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes bei den Hauptbaumarten Europas.**  
 (Die Entwicklung des Nadel-/Blattverlusts wurde lediglich für Bäume ermittelt, die zwischen 1989 und 1999 kontinuierlich erhoben wurden. Der Standardfehler für Waldkiefer, Rotfichte, Steineiche und Buche lag in jedem Jahr unter 0,4 %. Bei den beiden anderen Baumarten lag er in jedem Jahr unter 0,6 %. Da Frankreich Änderungen an den Erhebungsmethoden vorgenommen hat, wurden die Daten für dieses Land aus den Zeitreihen herausgenommen.)



(Abbildung 40). In Teilen des Mittelmeerraumes („Mediterranean lower“) hat der mittlere Nadel-/Blattverlust im Vergleich zu anderen Regionen am deutlichsten zugenommen. Dies ist im Wesentlichen auf die fortdauernde Verschlechterung bei Seestrandkiefer und Steineiche aufgrund langanhaltender Trockenheit zurückzuführen. Im östlichen Teil Mitteleuropas („Subatlantic“) ist der mittlere Nadel-/Blattverlust dagegen deutlich zurückgegangen. Die Verbesserung in dieser Region war bei der gemeinen Kiefer am deutlichsten erkennbar.

Aufgrund der Komplexität der erfassten Daten liegen Auswertungen der Level II-Dauerbeobachtungsflächen zu Stoffeinträgen erst bis zum Jahr 1997 vor. Auf ungefähr 55 % der erhobenen Flächen betrug der Stickstoffeintrag 1999 über 14 kg.ha-1.Jahr-1. Von Einträgen in dieser Höhe können Gefahren für die Waldökosysteme u.a. für die Artenvielfalt der Bodenvegetation ausgehen. Auf die Gesamtwaldfläche Europas bezogen dürfte allerdings der Anteil mit solch hohen Einträgen niedriger sein, da die meisten bisher ausgewerteten Messflächen mit diesem

hohem Stickstoffeintrag überwiegend in Mitteleuropa liegen. Die Wälder in Deutschland gehören zu den am höchsten mit Stickstoff belasteten Waldgebieten in Europa. Dieses Ergebnis ergibt sich aus dem Luftmessnetz der Vereinten Nationen. 1996 und 1997 wurde auf den Level II-Dauerbeobachtungsflächen ein geringfügiger Rückgang der Sulfateinträge festgestellt, während die Stickstoffeinträge leicht zugenommen haben.

Der Nährstoffgehalt in Nadeln/Blättern kann bei ungefähr 30 % der 674 bis 1997 untersuchten Level II-Dauerbeobachtungsflächen als zu niedrig und/oder unausgeglichene beurteilt werden (siehe Tabelle 1). Die Buche wies den höchsten Prozentsatz an Beständen mit niedrigen Konzentrationen und Nährstoffungleichgewichten bezüglich Stickstoff auf. Dies galt insbesondere für das wichtige Nährelement Magnesium, das in 32 % der Buchenbestände in niedriger Konzentration vorhanden war. Auf den meisten Flächen bestand lediglich bezogen auf einen Nährstoff ein Mangel beziehungsweise ein Nährstoffungleichgewicht (bezüglich Stickstoff).

**Tabelle 1: Prozentsatz der Flächen mit geringer Nährstoffkonzentration und/oder unausgeglichene Nährstoffgehalt (bezüglich Stickstoff) (n=Anzahl der Erhebungsflächen)**

Baum	P %	K% %	Ca %	Mg %	Alle Nährstoffe %
Kiefer (n=245)	10	13	5	4	27
Fichte (n= 200)	7	10	2	4	22
Eiche (n= 126)	26	5	7	8	38
Buche (n =103)	23	14	11	32	55
Gesamt (n= 645)	14	11	5	9	32

Die Auswirkungen unterschiedlicher Umweltfaktoren auf die Elementkonzentrationen in Nadeln/Blättern wurden mit Hilfe multipler Regressionsanalysen untersucht. Zwischen der Stickstoffkonzentration in den Nadeln und dem Stickstoff im Bestandesniederschlag besteht bei der Kiefer und bei der Fichte ein Zusammenhang. Das Ergebnis zeigt, dass ein mögliches Ungleichgewicht von Nährstoffen in den Nadeln maßgeblich durch den Eintrag von atmosphärischem Stickstoff beeinflusst wird.

## **II.5 Nutzen des forstlichen Umweltmonitorings für Politik, Forschung und Praxis**

Die stetige Weiterentwicklung der Erhebungen und Untersuchungen sowie der Sicherung der Datenqualität garantieren verlässliche Angaben über den Waldzustand.

### **II.5.1 Bedeutung des forstlichen Umweltmonitorings für politische Entscheidungsträger**

Die Daten des forstlichen Umweltmonitoring liefern Aussagen auf europäischer Ebene sowie auf Ebene der Teilnehmerstaaten des europäischen Programms, der Bundesländer sowie z.T. für kleinere räumliche Einheiten. Es stehen somit räumlich differenzierte Informationen zur Verfügung.

### **Zahlen und Fakten für politische Entscheidungen**

Bei der Diskussion um die Wirksamkeit der bisher getroffenen Maßnahmen zur Vermeidung von Neuartigen Waldschäden sowie bei der Festlegung neuer Maßnahmen liefert das forstliche Umweltmonitoring für die Politik eine wichtige Entscheidungsgrundlage. So belegen die Monitoringaktivitäten zwar den Rückgang von Stoffeinträgen in Waldökosystemen, dennoch zeigen die Messergebnisse, dass nach wie vor von Luftverunreinigungen ein Risiko für die Wälder ausgeht.

Bei der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) 1992 in Rio sowie beim Folgeprozess wurde das Konzept einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung als entscheidendes Grundprinzip anerkannt. Die systematische Beobachtung der Wälder soll auch hierbei Informationen zur Einschätzung des Waldzustandes liefern und die Ableitung von Handlungsempfehlungen ermöglichen. Das forstliche Umweltmonitoring dient im Rahmen seiner eigenen Zweckbestimmung diesen Zielen. Darüber hinaus liefert es Grundlagen für die Ableitung von Bewertungsmaßstäben (Critical-Loads und Critical-Levels) zur Risikoabschätzung von Stoffeinträgen in Waldökosystemen. Diese Risikoeinschätzungen wiederum werden z. B. bei internationalen Verhandlungen in der Diskussion berücksichtigt und stellen somit eine Argumentationsgrundlage bei internationalen Beratungen über die Senkung von Immissionen dar.

### **Unterstützung von Maßnahmen für die Entwicklung des ländlichen Raumes**

Entscheidungen zur Entwicklung des ländlichen Raumes kommt im Hinblick auf wirtschaftliche und soziale Zu-

sammenhänge eine zunehmende Bedeutung zu. Neben den marktpolitischen Maßnahmen und den Erfordernissen einer wettbewerbsfähigen Landwirtschaft gilt es auch, die vielfältigen Bedürfnisse des ländlichen Raumes zu berücksichtigen. Die Forstwirtschaft ist im ländlichen Raum ökologisch und ökonomisch von Bedeutung. Nachhaltig bewirtschaftete Wälder stehen durch ihre vielfältigen Leistungen im Dienste von Natur und Gesellschaft. Das forstliche Umweltmonitoring als Beitrag zur Umweltvorsorge und zum Schutz der Wälder unterstützt den mit zahlreichen Maßnahmen geförderten Prozess zur Stärkung des ländlichen Raumes, indem es die Öffentlichkeit auf die Beeinträchtigungen der Wälder durch Luftverunreinigungen hinweist und gleichzeitig der Forstwirtschaft Informationen über die Stabilität der Waldökosysteme liefert.

### **II.5.2 Nutzen für die Forschung**

Das forstliche Umweltmonitoring leistet über die bloße Datensammlung und Dokumentation Bewertungen (sektorale wie auch integrierende Analysen) auf Länder- und Bundesebene. Gleichzeitig stellen die Daten und Ergebnisse aber eine wertvolle Grundlage für die Waldökosystemforschung dar. Insbesondere für experimentelle und prozessorientierte Untersuchungen bieten die Daten einen Orientierungsmaßstab für die Bewertung von Fallstudienresultaten. Im Umkehrschluss erlauben die Arbeiten von Universitäten und Forschungseinrichtungen weitere Beiträge zum Verständnis von Ursachen und Wirkungen, die im Monitoring allein nicht geleistet werden könnten.

### **Zeitreihen der Untersuchungsergebnisse sind die Grundlage für weiterführende Forschungen**

Die Erfassung komplexer Strukturen und Abläufe, wie sie sich in Waldökosystemen darstellen, kann nicht binnen kurzer Zeit erfolgen. Vielmehr müssen für abgesicherte Aussagen Zeitreihen aufgebaut werden. Hierzu sind Messungen und Untersuchungen mit zeitlich und räumlich differenzierter Auflösung erforderlich. Während Stoffeinträge und die Witterung je nach Parameter in kurzen Zeitabständen von Stunden, Tagen oder Wochen erhoben werden müssen, können Veränderungen in der Bodenfestphase nur in Abständen von mehreren Jahren erfasst werden. Dies mag verdeutlichen, dass die nun vorliegenden Zeitreihen aus wissenschaftlicher Sicht von Jahr zu Jahr an Wert gewinnen.

So wird auch die Datenbasis für integrierende Auswertungen, mit denen bereits vor einigen Jahren begonnen wurde, zunehmend besser. Die integrierenden Auswertungen der Daten des forstlichen Umweltmonitorings sollen Beziehungen zwischen dem Waldzustand und den ihn beeinflussenden Faktoren aufdecken. Hierzu bestehen auf nationaler und europäischer Ebene mehrere Projekte.

Die integrierenden Studien beziehen eine Vielzahl von Daten in die Untersuchungen ein, da die komplexen Abläufe in Ökosystemen nicht nur durch einzelne Faktoren beeinflusst werden. Sie verfolgen dabei verschiedene Auswertungsansätze der räumlichen und der funktionalen

(d. h. auf die Ökosystemabläufe ausgerichteten) Integration dieser Informationen. Level I- und Level II-Daten können dabei in unterschiedlichster Art und Weise von Nutzen sein. Auf Dauerbeobachtungsflächen des Level II-Programmes werden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die für systematische, flächendeckende Erhebungen zu aufwendig wären. Die beschränkte Zahl der Untersuchungsflächen lässt jedoch eine Übertragung gefundener Erkenntnisse auf größere Flächeneinheiten kaum zu. Bei Level I werden dagegen nur eine beschränkte Zahl von Parametern erhoben. Hierbei sind jedoch aufgrund der großen Stichprobenzahl Aussagen mit Flächenbezug möglich. Der Verknüpfung der verschiedenen Erhebungen und Untersuchungen kommt somit zunehmend Bedeutung zu. Die Übertragung der bei Level II gefundenen Erkenntnisse auf Level I ist ein Ziel der nächsten Jahre.

Zudem ist die Verwendung der Daten des forstlichen Umweltmonitorings zukünftig auch für andere Fragestellungen wie Klimaänderung und Biodiversität vorstellbar. Bereits jetzt werden diese Daten bei der Risikoabschätzung von Stoffeinträgen in Ökosysteme mittels Critical-Loads und -Levels verwendet.

### **Die Datenqualität entscheidet über die Qualität der Forschungsarbeiten**

Die Erhebungsverfahren werden beim forstlichen Umweltmonitoring weiterentwickelt und bundes- und europaweit abgestimmt. Die Forschung kann somit einerseits Daten verwenden, die weitestgehend nach einheitlichen Methoden erhoben wurden, andererseits kann auch bei Untersuchungen innerhalb von Forschungsvorhaben auf die eingeführten Verfahren zurückgegriffen werden. Der Qualitätssicherung wird z. B. bei der forstlichen Analytik durch so genannte Ringtests Rechnung getragen. Dabei werden Proben in allen beteiligten Laboratorien nach standardisierten Methoden analysiert, um Fehlerquellen aufzudecken und zukünftig auszuschließen.

### **II.5.3 Nutzen für den Forstbetrieb**

Für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung, die in ihrer Zielsetzung ökonomische, ökologische und soziale Aspekte mit einschließt, ist die Kenntnis des Waldzustandes und die Prognose der weiteren Entwicklung auf einer wissenschaftlichen Grundlage von Bedeutung.

Eine erfolgreiche und nachhaltige Waldbewirtschaftung erfordert, dass man Risikofaktoren erkennt und quantifiziert. Ökonomische Stabilität bedarf in einem Sektor, der sich der Natur unmittelbar als Produktionsfaktor bedient, gleichzeitig ökologischer Stabilität. Umso mehr, da waldbauliche Entscheidungen (z. B. bei der Baumartenwahl) oftmals Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte nachwirken und für den Waldbesitzer mit Investitionen verbunden sind.

### **Veränderung der Bodenvegetation kann die Verjüngung der Wälder behindern**

Die Fähigkeit zur natürlichen Verjüngung ist ein wichtiges Stabilitätskriterium von naturnah bewirtschafteten

Wäldern. Ein Vergleich von pflanzensoziologischen Aufnahmen vergangener Jahrzehnte mit heutigen Daten lässt eine Zunahme von stickstoffliebenden Pflanzen erkennen. Lang anhaltend hohe Stickstoffeinträge, eine erhöhte Stickstoffverfügbarkeit und zunehmender Lichtgenuss sind neben der Wasserversorgung wesentliche Faktoren, die z. B. die Ausbreitung der Großen Brennnessel, des Landreitgrases und der Brombeere fördern. Diese Arten sind in charakteristischer Weise konkurrenzstark und daher in der Lage, andere Pflanzenarten einschließlich Naturverjüngung und Pflanzung von Bäumen zu verdrängen.

Zunehmende Nadel-/Blattverluste können einen stärkeren Lichteinfall in Waldbestände begünstigen und den Wärmehaushalt verändern. Bei gleichzeitig erhöhter Stickstoffverfügbarkeit der Waldböden reagiert die Bodenvegetation oft sehr sensibel auf diese Veränderungen. Es empfiehlt sich daher in diesen Fällen eine sehr zurückhaltende, kleinflächigere Entnahme von Bäumen.

### **Mischwälder sind häufig für die Bodenpfleglichkeit vorteilhafter als Reinbestände**

Mit Blick auf Bodenpflege und Standortsgüte bestehen sowohl zwischen Baumarten als auch Mischungsformen Unterschiede:

Stoffhaushaltsdaten lassen erkennen, dass im Vergleich zu Buchenbeständen in Fichtenbeständen mit einer 1,5- bis 2-fachen Säure- und Schwefelbelastung zu rechnen ist. Darüber hinaus weist die Streu der Buche ein besseres Abbauverhalten auf als die der Fichte. Mischwälder sind aus Gründen der Bodenpflege daher auf vielen Standorten zu empfehlen. Die Anpflanzung von Laubbäumen in älteren Fichtenbeständen führt schon nach wenigen Jahrzehnten zu einer erhöhten Basensättigung im Oberboden und verbessert den Humuszustand.

### **Die Freilage des Bodens wirkt sich unmittelbar auf den Stoffhaushalt aus**

Kahlschläge, Sturmwurf oder intensiver Insektenfraß können dazu führen, dass der Boden ohne die schützenden Baumkronen der Witterung (Licht, Wärme, Wasser) ausgesetzt ist.

Erfahrungen aus den Sturmwürfen von 1990 zeigen, dass innerhalb von nur 2 bis 3 Jahren über 40 kg Magnesium pro Hektar ausgewaschen werden können. Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings lassen eine flächenbezogene Bewertung dieses Risikos zu. Sie liefern auch Beiträge zum Verständnis der Prozesse. So ist bei stickstoffreichen Wäldern damit zu rechnen, dass infolge einer solchen Bodenfreilage organische Substanz schnell abgebaut wird, Nitrat mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten transportiert wird, Magnesiumausträge stattfinden und Säureschübe in der Bodenlösung auftreten.

Bei starker Kronenverlichtung ist die Absterbewahrscheinlichkeit im Vergleich zu weniger verlichteten Bäumen bei Eiche, Fichte und Kiefer beträchtlich erhöht.

Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen zwischen 1984 und 1998 haben ergeben, dass sich Absterbeprozesse bei stark verlichteten Bäumen im Laufe der Jahre nicht gleich bleibend sondern auffällig diskontinuierlich vollziehen. Im Gegensatz zu den Fichten und Kiefern zeigen sich die Buchenkronen im besonderen Maß elastisch. Von allen untersuchten Baumarten wurde bei der Buche die beste Fähigkeit beobachtet, erhebliche Kronenverlichtungen in den Folgejahren soweit zu regenerieren, dass wieder deutlich dichtere Belaubung auftritt. Potenziell ist die Eiche in der Lage, sich relativ schnell auf äußere Umwelteinflüsse einzustellen. Auf aktuellen Wasserstress reagiert sie häufig mit Astabsprüngen, d. h. sie kann junge, belaubte Triebe aktiv abstoßen (abgliedern), um so ihren Wasserbedarf zu drosseln. Unter guten Wuchsbedingungen werden im Gegensatz dazu besonders viele Triebe eingegliedert, also in der Kronenstruktur dauerhaft verankert. In der Regel führt daher erst das zeitliche Zusammentreffen mehrerer Faktoren zum Entstehen irreversibler Schäden.

In den letzten Jahren waren beispielsweise in der Rhein-Main Ebene an bis zu einem Fünftel der Alteichen Blattverluste von mehr als 60 % gegeben. So konnte am hessischen Datenkollektiv nachgewiesen werden, dass bei Eichen der Blattverluststufen 60 bis 80 % eine erhöhte Absterberate besteht. Die Mortalitätswahrscheinlichkeit steigt bei Eichen mit mehr als 60 % Blattverlust überproportional an. Sind in einem Bestand wichtige Zuwachsträger betroffen, kann örtlich die Struktur wie auch die Stabilität von ganzen Eichenwäldern in Frage gestellt sein.

#### **Die Vitalität der Wälder wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst**

Die Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings belegen, dass eine Vielzahl von Faktoren den Waldzustand beeinflusst, von denen die meisten nicht durch die Forstwirtschaft gesteuert werden können. Ziel der Waldbewirtschaftung muss es daher sein, zusätzlichen Stress für die Wälder zu minimieren. Hier wären insbesondere zu nennen:

- Vermeidung zusätzlicher Nährstoffverluste durch den Entzug der Baumkronen aus dem Waldbestand.
- Vermeidung von Bodenverdichtungen durch Festlegung dauerhafter Fahrlinien und Verwendung geeigneter Maschinen.
- Vermeidung von großflächigen Kahlschlägen.

#### **Forstbetriebe benötigen Informationen über ihre Waldbestände**

Forstbetriebe erhalten Informationen durch die Standortkartierung, Biotopkartierung und die Forsteinrichtung. Umweltveränderungen und insbesondere Luftverunreinigungen haben jedoch forstliche Standorte verändert. Die Dynamik der Standorte und der Schutz der Stoffkreisläufe ist daher bei Entscheidungen zur Waldentwicklung zu berücksichtigen. Das forstliche Umweltmonitoring und die damit verbundene ökologische Forschung sind Begleiter dieser Kartierungs- und Planungsinstrumente.

#### **Bodenschutzkalkung kann der Bodenversauerung entgegenwirken**

Durch Bodenschutzkalkungen kann auf sensiblen Standorten eine fortschreitende Versauerung vermindert oder aufgehalten werden. Zudem werden Nährstoffe (z. B. Magnesium), die durch die versauerungsbedingte Basenverarmung dem System entzogen werden, den Waldbäumen wieder zugeführt.

#### **Viele Wasserschutzgebiete liegen im Wald**

Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen Waldstruktur, Waldverbreitung und Landschaftswasserhaushalt ist von großer Bedeutung, gilt es schließlich die knapper werdenden Wasserreserven zu sichern. Die Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald belegen, dass durch Stoffeinträge eine Gefährdung des Grund- und Quellwassers nicht ausgeschlossen werden kann. Die Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen liefern wichtige Erkenntnisse über die Stoffflüsse in Waldökosystemen, aus denen Bewirtschaftungshinweise für Wasserschutzgebiete abgeleitet werden können.

Das forstliche Umweltmonitoring mit seinen verschiedenen Untersuchungen und Erhebungen leistet für Politik, Forschung und forstliche Praxis einen hohen, vielfältigen Nutzen, der über die Kernziele dieser Monitoringaktivitäten hinausgeht und mit zunehmender Datenfülle und Datenqualität an Bedeutung gewinnt.

### III. Maßnahmen der Bundesregierung gegen Neuartige Waldschäden

Die Bundesregierung hält an dem 1983 beschlossenen Aktionsprogramm „Rettet den Wald“ fest. Einige wesentliche Elemente dieses Programms sind:

- Konsequente Politik der Luftreinhaltung auf nationaler und internationaler Ebene,
- Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“,
- Überwachung der Neuartigen Waldschäden,
- Maßnahmen zur Erhaltung der forstlichen Genresourcen,
- Förderung einer interdisziplinären Waldschadens- und Waldökosystemforschung durch Bund und Länder.

Zusätzliche umweltpolitische Instrumente, wie die ökologische Steuerreform, mit deren Umsetzung begonnen wurde, die Einrichtung eines nationalen Nachhaltigkeitsrats sowie einer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie tragen zum Schutz des Waldes vor Neuartigen Waldschäden bei.

#### III.1 Maßnahmen der Luftreinhaltung

Der Minderung von Stoffeinträgen in Wälder kommt weiterhin eine hohe Priorität bei der Bekämpfung Neuartiger Waldschäden zu. Hauptquellen für anthropogene Luftverunreinigungen sind Industrieanlagen, Kraftwerke, Verkehr, Haushalte, Kleinverbrauch und Landwirtschaft. Die Bundesregierung wird dafür Sorge tragen, dass zur Verbesserung der Luftqualität der Stand der Technik umgesetzt wird und die zahlreichen nationalen Maßnahmen zur dauerhaften Emissionssenkung fortgeführt werden. Angesichts der weiträumigen grenzüberschreitenden Ausbreitung der Luftschadstoffe sind darüber hinaus die bereits eingeleiteten Bestrebungen auf internationaler Ebene fortzusetzen.

Das Ziel, die Luftschadstoffe weiter zu reduzieren, muss dabei in allen Politikbereichen – u. a. Umwelt-, Verkehrs-, Finanz-, Wirtschafts- und Landwirtschaftspolitik – verwirklicht werden.

#### Maßnahmen der Luftreinhaltung auf nationaler und EU-Ebene

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) hat als zentrales Gesetz für den technischen Umweltschutz und die technische Anlagensicherheit mit seinen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften die Umweltpolitik in Deutschland entscheidend geprägt. Zweck des im Jahre 1974 in Kraft getretenen Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Um-

welteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen. Es wird durch Verordnungen und technische Anleitungen (z. B. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft), Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung, Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen und Verordnung über Abfallverbrennungsanlagen ergänzt. Insbesondere hat sich die Großfeuerungsanlagen-Verordnung von 1983 als wichtiges Instrument bei der Verminderung der klassischen Luftschadstoffe erwiesen. Die Emissionen von Großfeuerungsanlagen, wie Kraftwerken, konnten dadurch erheblich reduziert werden.

Einen wichtigen Beitrag zur Luftreinhaltung haben verkehrspolitische Maßnahmen in den vergangenen Jahren erbracht. Trotz gestiegenen Verkehrsaufkommens gingen die verkehrsbedingten Schadstoffemissionen zurück. Erfolge in diesem Bereich gründen auf folgenden Maßnahmen:

- Einführung und Förderung von verbesserten Abgasminderungstechniken (3-Wege-Katalysator),
- Verschärfung der Abgasgrenzwerte für alle Kategorien von Fahrzeugen,
- Gewährung von Vorteilen für Fahrzeuge mit niedrigen Schadstoffemissionen im Rahmen der 23. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz und des Kraftfahrzeugsteuergesetzes,
- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs (u. a. durch Förderung von verbrauchsarmen PKW im Rahmen der emissionsbezogenen Kfz-Steuer),
- Verbot von bleihaltigem Benzin und Einführung umweltverträglicher Kraftstoffe sowie eine steuerliche Förderung schwefelarmer und schwefelfreier Kraftstoffe.

Durch die im Mai 2000 von der Bundesregierung beschlossenen „Sofortmaßnahmen zur Verminderung der Ozonbelastung“ werden vor allem auch die verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>- und VOC-Emissionen weiter reduziert.

Neben dem Anlagen- und Verkehrsbereich ist die Landwirtschaft eine weitere wesentliche Quelle von umweltrelevanten und die Wälder belastenden Immissionen. So trägt die Landwirtschaft zu 90 % der Ammoniakemissionen in Deutschland bei. Hierbei besteht immer noch ein Minderungspotenzial. In der landwirtschaftlichen Praxis werden vielfältige NH<sub>3</sub>-mindernde Maßnahmen bereits durch gezielte Beratung auf freiwilliger Basis und aufgrund von gesetzlichen Bestimmungen (insbesondere BImSchG und UVP) umgesetzt, so z. B.

- Überprüfung der Umweltrelevanz von genehmigungsbedürftigen Tierhaltungsanlagen,

- Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung von Gülle,
- Aufbau emissionsarmer Tierhaltungssysteme.

Diese positiven Ansätze müssen weiter intensiviert werden. Hierzu hat u. a. die gemeinsame Arbeitsgruppe der Umwelt- und Agrarministerkonferenz „Stickstoffminderungsprogramm“ entsprechende Vorschläge erarbeitet. In den kommenden Jahren wird es darauf ankommen, weitere effektive emissionsmindernde Maßnahmen, möglichst flächendeckend in der landwirtschaftlichen Praxis umzusetzen.

Neben technischen Maßnahmen konnten durch eine Vielzahl agrarpolitischer Maßnahmen seit mehreren Jahren Emissionsminderungen erreicht werden. So hat z. B. die Agrarreform 1992 der Europäischen Gemeinschaften durch Förderung

- einer flächengebundenen Tierproduktion mit begrenztem Viehbesatz und
- von umweltgerechten landwirtschaftlichen Produktionsverfahren einschließlich Flächenstilllegung hierzu beigetragen.

Weiterhin wurde die Verbreitung emissionsmindernder Technologien gefördert.

Die grundlegende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Rahmen der Agenda 2000 soll dazu beitragen, dass sich dieser Trend bei der Reduzierung landwirtschaftlicher Emissionen fortsetzt. Die Mitgliedstaaten müssen künftig gewährleisten, dass den Belangen des Umweltschutzes bei den landwirtschaftlichen Stützungsregelungen angemessene Rechnung getragen wird. Die Honorierung besonders umweltverträglicher Wirtschaftsweisen im Rahmen der Agrarumweltprogramme wurde erweitert und verbessert. Die Förderung der extensiven Rinderhaltung wurde neu geregelt und die des ökologischen Landbaus erhöht.

Gemäß der 1996 verabschiedeten Düngeverordnung sind Ammoniakverluste bei der Düngung weitestgehend zu vermeiden. Dies wird u. a. auch durch bodennahe Ausbringung und unverzügliche Einarbeitung erreicht.

In der Tierhaltung sind züchterische Maßnahmen auf eine Verbesserung der Futtermittelverwertung gerichtet. Die Beratung konzentriert sich auf hohe Futterqualität und bedarfsgerechte Fütterung. Dadurch sollen die Nährstoffeffizienz in der Tierproduktion weiter verbessert und die Ammoniakemissionen vermindert werden. Alleine durch eine angepasste Fütterung, die schon im Genehmigungsverfahren (nach BImSchG) gefordert wird, ist eine Verminderung der  $\text{NH}_3$ -Verluste bei genehmigungsbedürftigen Anlagen bis zu 20 % möglich. Vor allem aus ökonomischen Gründen auf eine Leistungssteigerung gerichtete Fütterung und Management haben auch positive ökologische Effekte. So konnte die Milchleistung von 1990 bis 1999 um 20 % erhöht werden, gleichzeitig wurde jedoch die N-Ausscheidung je Kilogramm Milch um 12 % gesenkt. In der Rinder- und Schweinemast liegt dieses Reduzierungspotenzial der Emissionen bei 5 %.

Die Senkung der Ammoniak-Gesamtemissionen hängt von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab. Neben den Maßnahmen des Bundes wirkten sich darüber hinaus auch Agrarumweltprogramme der Länder, die nahezu ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche erfassen, aus.

Zudem ist es Ziel der Bundesregierung, durch Energieeinsparung Emissionen zu vermeiden. Auch durch die ökologische Steuerreform werden Anreize zum Energiesparen gegeben. Außerdem werden energiesparende Technologien gefördert. Darüber hinaus existiert ein Bündel weiterer Maßnahmen zur Förderung der Energieeinsparung und zur Nutzung alternativer Energieträger.

Mit der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) sollen in den Mitgliedstaaten Emissionen in Luft, Wasser und Boden vermieden bzw. vermindert werden, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. Die Richtlinie betrifft Industrieanlagen einschließlich großer Verbrennungsanlagen, die in Deutschland fast vollständig immissionsschutzrechtlichen und anderen umweltrechtlichen Vorschriften unterfallen. Die Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht soll rasch abgeschlossen werden.

Mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide sowie Partikel und Blei in der Luft hat die EU ihre bestehenden Luftqualitäts-Richtlinien novelliert. Diese Richtlinie legt u. a. strenge Grenzwerte für Schwefeldioxid und Stickstoffoxide zum Schutz von Ökosystemen bzw. der Vegetation fest.

Die derzeit beratene EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe (NEC-RL) zielt auf die gleichzeitige Reduzierung der Emissionen Schwefeldioxid und Stickstoffoxide, flüchtige organische Verbindungen und Ammoniak. Damit wird eine deutliche Verbesserung bei der Versauerung, Bodenentrophierung und bodennahe Ozon einhergehen.

### Internationale Maßnahmen zur Luftreinhaltung

Viele Emissionen unterliegen dem Ferntransport mit der Luft. Fernab von ihrer Quelle werden sie gas- bzw. staubförmig oder mit Niederschlägen in gelöster Form in Wälder und andere Ökosysteme eingetragen. Daher sind internationale Vereinbarungen von großer Bedeutung. Bereits 1979 wurde im Rahmen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) mit dem „Genfer Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung“ ein wirksames umweltpolitisches Instrument auf internationaler Ebene installiert, an dem west- und osteuropäische Staaten mitarbeiten. Dieses Übereinkommen wurde in den folgenden Jahren um acht Protokolle ergänzt:

- Genfer Protokoll über die langfristige Finanzierung des kooperativen Programmes zur Überwachung und Bewertung der weiträumigen grenzüberschreitenden Luftverschmutzungen in Europa (EMEP von 1984),

- Helsinki-Protokoll zur Reduzierung von Schwefel-emissionen 1985 (Erstes Schwefelprotokoll),
- Sofia-Protokoll zur Reduzierung der Stickstoffoxid-emissionen von 1988,
- Genfer Protokoll zur Reduzierung der Emissionen flüchtiger organischer Substanzen von 1991,
- Oslo-Protokoll über die weitere Reduzierung der Schwefelemissionen („Zweites Schwefelprotokoll“) von 1994,
- Arhus-Protokoll zu Schwermetallen von 1998 (noch nicht in Kraft getreten),
- Arhus-Protokoll zu persistenten organischen Schadstoffen (POP-Protokoll) von 1998 (noch nicht in Kraft getreten)
- Göteborg-Protokoll von 1999 (so genanntes Multi-komponentenprotokoll) zur Verminderung von Ver-sauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon.

### Entwicklung der Emissionen

Der Umweltschutz in Deutschland hat ein im internationalen Vergleich hohes Niveau erreicht. Durch strenge, stetig an den Stand der Technik angepasste Umwelanforderungen ist in verschiedenen Umweltbereichen eine deutliche Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Umweltbelastung gelungen.

Für den Waldzustand bedeutende Stoffgruppen der Luftverunreinigungen sind Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).

Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) entstehen fast ausschließlich bei Verbrennungsprozessen. Hauptquellen sind 1998 Verkehr (61 % der Gesamtemissionen – NO<sub>x</sub>) sowie Kraft- und Fernheizwerke (18 % der Gesamtemissionen – NO<sub>x</sub>). Die Gesamtemissionen gingen zwischen 1990 und 1998 um 34 % auf 1,78 Mio. Tonnen pro Jahr zurück. Deutschland konnte damit seine internationale Verpflichtung zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung im Rahmen des UN-ECE-Stickstoffprotokolls von 1988 erbringen. Im Göteborg-Protokoll hat sich Deutschland zu einer NO<sub>x</sub>-Reduzierung um 60 % zwischen 1990 und 2010 verpflichtet.

Ammoniak entsteht in der Landwirtschaft wesentlich bei der Tierhaltung und durch Düngemittelverwendung. Ammoniak ist wegen seines Beitrags zur Versauerung und Nährstoffübersorgung (Eutrophierung) von Böden, Gewässern und Biotopen relevant. Ausmaß und Art des atmosphärischen Transportes sind jedoch noch unklar. Seit 1990 verminderten sich die Ammoniakemissionen nach Schätzungen um mindestens 18 % auf rund 0,62\* Mio. Tonnen pro Jahr. Die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft konnten seit 1990 im vergleichbaren prozentualen Umfang gesenkt werden. Ihr Rückgang ist überwiegend auf den Abbau der Tierbestände, emissionsmindernde Tierhaltungssysteme und den sachgerechten Einsatz von

stickstoffhaltigen Mineraldüngern sowie technische Maßnahmen zur Senkung der Emissionen bei der Güllelagerung und Ausbringung zurückzuführen. Das Göteborg-Protokoll, das erstmals eine Ammoniakreduzierungspflicht vorsieht, verlangt für Deutschland eine Minderung der NH<sub>3</sub>-Emissionen um 28 % von 1990 bis 2010.

Die größten Erfolge konnten in den vergangenen Jahren bei der Reduzierung der Schwefeldioxidemissionen (SO<sub>2</sub>) erreicht werden. Dieser mit Wasser und Sauerstoff zu Schwefelsäure reagierende Stoff entsteht überwiegend bei Verbrennungsvorgängen. Hauptquelle mit mehr als 61 % der Gesamtemission von 1,3 Mio. Tonnen sind 1998 Kraft- und Fernheizwerke. In diesem Sektor erfolgte die größte Reduzierung von Schwefeldioxidemissionen, die dort 1990 noch bei 2,78 Mio. Tonnen lagen und bis 1998 auf 0,8 Mio. Tonnen sanken. Insgesamt gingen in diesem Zeitraum die SO<sub>2</sub>-Emissionen um 76 % zurück. Deutschland hatte sich im Helsinki-Protokoll verpflichtet, seine Emissionen bis 1993 um 30 % des Niveaus von 1980 zu vermindern. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Nach dem Göteborg-Protokoll muss Deutschland seine Schwefeldioxidemissionen bis 2010 auf 0,55 Mio. Tonnen senken. Gegenüber 1990 (Gesamtemission-SO<sub>2</sub>: ca. 5,3 Mio. Tonnen) entspräche dies einer Reduzierung um 90 %.

### III.2 Maßnahmen der Forstwirtschaft gegen Neuartige Waldschäden

Die Neuartigen Waldschäden werden durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren verursacht. Eine Schlüsselrolle spielen dabei nach wie vor die Luftverunreinigungen. Zur Umsetzung des forstpolitischen Ziels, den Wald in seinem Bestand zu erhalten und seine vielfältigen Funktionen für die Gesellschaft sicherzustellen, ist eine weitere Reduzierung der Schadstoffeinträge erforderlich.

Die Möglichkeiten der Forstwirtschaft, auf Stoffeinträge zu reagieren, sind beschränkt. Nur wenige forstliche Maßnahmen können flankierend zu den Maßnahmen der Luftreinhaltung die Widerstandskraft der Wälder verbessern. Dies sind:

- Bodenschutzkalkung,
- Wiederaufforstung,
- Vor- und Unterbau geschädigter Bestände.

Weiterhin sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- steuerliche Erleichterungen,
- waldbauliche Maßnahmen,
- Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen.

### Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK).

Die Bundesregierung unterstützt von Neuartigen Waldschäden betroffene Waldbesitzer des Privat- und des Körperschaftswaldes bereits seit 1983 durch die Förderung von Maßnahmen zur Stabilisierung der durch Immissionen geschädigten Wälder. Zu diesen gehören im Rahmen

\* vorläufige Angaben

der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ die Bodenschutzkalkung, Wiederaufforstung sowie Vor- und Unterbau geschädigter Bestände. Der Förderanteil für einzelne Maßnahmen liegt bei bis zu 90 % der förderfähigen Kosten (Waldkalkung). Der Bund beteiligt sich mit 60 % und die Länder mit 40 % an den förderfähigen Kosten. Einige Länder haben darüber hinaus eigene Förderprogramme eingerichtet. Die o.a. Maßnahmen können seit 1. Januar 2000 auch von der Europäischen Union im Rahmen der Verordnung zur Förderung des ländlichen Raumes kofinanziert werden.

Wiederaufforstung sowie Vor- und Unterbau von geschädigten Beständen dienen dem Erhalt der Wälder. Auf ca. 45 Tsd. Hektar wurden im Zeitraum von 1984 bis 1999 von Neuartigen Waldschäden betroffene Waldflächen wiederaufgeforstet. Im gleichen Zeitraum wurde auf knapp 87 Tsd. Hektar unter dem Kronenschirm geschädigter Bestände gepflanzt (Vor- und Unterbau).

Zwischen 1984 und 1999 wurden ca. 2 680 Tsd. Hektar Waldfläche gekalkt, wobei in geringem Umfang Flächen zum zweiten Mal gekalkt wurden. Dabei wurden auch Kalkungsflächen erfasst, die nicht im Rahmen der GAK gefördert wurden. Durch Stoffeinträge sind die Waldböden großflächig versauert und verarmen an Nährstoffen. Sie sind damit sensibel für weitere Säureinträge. Die Bodenschutzkalkung kann diese Prozesse zwar nicht vollständig umkehren, jedoch wirkt sie einer fortschreitenden

Bodenversauerung entgegen. Darüber hinaus werden Nährstoffe wie Magnesium und Phosphor ausgebracht.

### Waldbauliche Maßnahmen

Ein Ziel des Bundes und der Länder ist es, durch waldbauliche Maßnahmen stabile und artenreiche Waldbestände zu entwickeln, die weniger anfällig für äußere Einflüsse sind. Im Staats- und Körperschaftswald und immer mehr auch im Privatwald wird nach den Prinzipien der naturnahen Waldwirtschaft gearbeitet. Im Mittelpunkt steht dabei der Anbau standortgerechter, d. h. an die Standortverhältnisse (Boden und Klima) angepasster Baumarten und die Schaffung von strukturreichen, ungleichaltrigen Mischwäldern. In den Waldbauprogrammen der Landesforstverwaltungen und der Bundesforstverwaltung sind diese Grundsätze seit mehreren Jahren ein fester Bestandteil. Die Umstellung auf naturnahe Waldwirtschaft im Privat- und z. T. im Körperschaftswald wird im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ gefördert.

Seit 1999 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung ein umfangreiches Verbundprojekt mit dem Titel „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“, das zum Ziel hat, durch neue Forschungsergebnisse der Forstwirtschaft umfassendes Handlungswissen für den oben beschriebenen Waldumbau zur Verfügung zu stellen. Dieses Projekt, für das bisher 29,4 Mill. DM zur Verfügung gestellt wur-

**Tabelle 2: Forstwirtschaftliche Förderung von Maßnahmen aufgrund Neuartiger Waldschäden im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (in Mio. DM)**

Jahr	Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung	Wiederaufforstung	Vor-/Unterbau	Gesamt
1984	6,3	2,3	8,2	<b>16,8</b>
1985	10,5	4,1	11,0	<b>25,6</b>
1986	14,0	14,8	12,7	<b>41,5</b>
1987	17,1	18,9	17,7	<b>53,7</b>
1988	30,7	22,0	19,8	<b>72,5</b>
1989	29,2	13,5	23,8	<b>66,5</b>
1990	27,1	20,4	15,4	<b>62,9</b>
1991	19,5	50,8	11,8	<b>82,1</b>
1992	20,5	23,7	11,3	<b>55,5</b>
1993	22,4	14,4	14,9	<b>51,7</b>
1994	22,5	8,1	12,7	<b>43,3</b>
1995	20,7	10,0	13,8	<b>44,5</b>
1996	16,1	6,1	9,9	<b>32,1</b>
1997	13,1	4,8	9,9	<b>27,8</b>
1998	17,9	3,0	6,7	<b>27,6</b>
1999	17,2	5,7	7,2	<b>30,1</b>
<b>Summe</b>	<b>304,8</b>	<b>222,6</b>	<b>206,8</b>	<b>734,2</b>

**Tabelle 3: Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung zur Stabilisierung von Waldökosystemen gegen atmogene Säureeinträge**

Jahr	Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung <sup>a</sup> [in 1.000 ha]		
	im Privat- und im Kommunalwald	im Staatswald	Gesamt
1984 – 1990	410 <sup>b</sup>	846 <sup>c</sup>	1256
1991	70	139	209
1992	71	100	171
1993	95	68	163
1994	89	79	168
1995	81	79	160
1996	76	79	155
1997	71	70	141
1998	74	63	137
1999	59	65	124
<b>1984 – 1999</b>	<b>1096</b>	<b>1588</b>	<b>2684</b>

<sup>a</sup> = ohne Treuhandwald.

<sup>b</sup> = Nur Privat- und Kommunalwald der alten Länder.

<sup>c</sup> = Staatswald in den alten Ländern sowie Staatswald, Privat- und Kommunalwald in der DDR.

den, wird in enger Zusammenarbeit mit den Forstministerien von sechs Bundesländern durchgeführt. Sowohl die Forstfakultäten der Hochschulen als auch die forstlichen Forschungs- und Versuchsanstalten der Länder beteiligen sich an diesem interdisziplinären Projekt.

### Steuerliche Erleichterungen

Waldbesitzer, die wegen Neuartiger Waldschäden Zwangsnutzungen durchführen müssen, können nach § 34b des Einkommenssteuergesetzes für Einkünfte aus diesen Zwangsnutzungen einen ermäßigten Steuersatz geltend machen, soweit unter Anrechnung „normaler Nutzungen“ der Hiebsatz überschritten wird. Die Höhe der steuerlichen Erleichterungen richtet sich nach dem Umfang der Zwangsnutzung im Vergleich zur „normalen“ Nutzung.

### Erhaltung forstlicher Genressourcen

Die Anpassungsfähigkeit von Pflanzen- und Tierarten sichert deren Überleben unter sich verändernden Umweltbedingungen. Bei Waldbäumen wird diese Anpassungsfähigkeit durch eine besonders hohe genetische Vielfalt gewährleistet. Diese hohe Vielfalt ist wegen der Ortsgebundenheit und der langen Lebenserwartung der Bäume erforderlich. Die Erhaltung der genetischen Vielfalt ist angesichts der Immissionen und der prognostizierten Klimaänderung besonders bedeutend.

Die natürliche genetische Vielfalt und damit die Anpassungsfähigkeit der Waldbäume an sich ändernde Umweltbedingungen ist u. a. durch Luftschadstoffe gefährdet. Die Maßnahmen der Forstwirtschaft zur Sicherung der genetischen Ressourcen umfasst unter anderem

1. naturnahe Waldverjüngungsmethoden,
2. gesetzliche Regelung des Handels mit forstlichem Vermehrungsgut sowie
3. besondere Aktivitäten zur Erhaltung der genetischen Vielfalt der Waldbäume und -sträucher.

Im Rahmen der naturnahen Waldbewirtschaftung wird die natürliche Verjüngung bevorzugt, sofern der Ausgangsbestand standortangepasst und verjüngungswürdig ist. Dabei werden lange Verjüngungszeiträume angestrebt, so dass viele Bäume an der Regeneration teilnehmen und ihre genetischen Informationen an die nächste Generation weitergeben können. Wenn es notwendig ist, wird die Naturverjüngung durch Pflanzung oder Saat ergänzt, z. B. zur Einbringung von Mischbaumarten, die im Ausgangsbestand nicht vorhanden sind.

Das Forstsaatgutrecht regelt für wichtige Baumarten u. a. die Anforderungen für die Zulassung von Ausgangsmaterial und den Handel mit forstlichem Vermehrungsgut. Nur Saat- und Pflanzgut, das von zugelassenem Ausgangsmaterial stammt, darf in Verkehr gebracht werden. Durch die Zulassung einer Vielzahl von über das ganze Bundesgebiet verteilten Erntebeständen wird die Ernte und Vermehrung auf geeignetes und gleichzeitig genetisch möglichst breitgestreutes Ausgangsmaterial gelenkt. Zudem ist eine klare Kennzeichnung der Herkunft des Vermehrungsgutes vorgeschrieben, sodass die Waldbesitzer für ihre örtlichen Bedingungen passendes Vermehrungsgut auswählen können. Dabei können sie sich an Herkunftsempfehlungen der Länder orientieren, die für den Staatswald verbindlich sind und auch für die finanzielle Förderung forstlicher Maßnahmen herangezogen werden.

Durch die am 22. Dezember 1999 verabschiedete neue EG-Richtlinie zum forstlichen Vermehrungsgut, die zur Zeit in nationales Recht umgesetzt wird, werden unter anderem weitere Baumarten einbezogen, um ihre genetische Vielfalt besser erhalten und nachhaltig nutzen zu können.

Spezielle Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt der Waldbäume und -sträucher werden von Bund und Ländern im Rahmen ihres Konzepts zur Erhaltung forstlicher Genressourcen durchgeführt. Dieses Konzept wird zur Zeit überarbeitet und neugefasst.

### III.3 Waldschadensforschung/ Waldökosystemforschung

Zwischen 1982 und 1994 haben Bund, Länder und andere Forschungsträger in der Bundesrepublik Deutschland etwa 850 Forschungsvorhaben im Rahmen des Aktionsprogramms „Rettet den Wald“ gefördert. Die Bundesregierung hat davon 330 Vorhaben mit insgesamt 313 Mio. DM unterstützt. Darüber hinaus haben Bundes- und Landesforschungseinrichtungen, Landesanstalten für Umwelt-

schutz, Großforschungseinrichtungen und Hochschulen im Rahmen ihrer finanziellen Möglichkeiten Projekte für die Waldschadensforschung finanziert.

Im Verlauf von über 10 Jahren Waldschadensforschung hat sich gezeigt, dass diese sehr vielfältigen und komplexen Zusammenhänge umfassende, d. h. ökosystemare und auf Langzeitbeobachtungen ausgelegte Forschungsansätze erfordern. Daher wurde 1989 zusätzlich zur Waldschadensforschung die Waldökosystemforschung aufgenommen, die sich auch mit Waldschäden befasst. Die diesbezüglichen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Arbeiten sind 1995 weitgehend an die Stelle der Waldschadensforschung getreten.

Darüber hinaus werden im Aufgabenbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bei der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) Fragen zu den Neuartigen Waldschäden und zum forstlichen Umweltmonitoring bearbeitet. Insbesondere das Institut für Forstökologie und Walderfassung aber auch das Institut für Weltforstwirtschaft befassen sich mit diesen Forschungsschwerpunkten.

## IV. Länderbeiträge

### Baden-Württemberg

Die Forstwirtschaft in Baden-Württemberg ist im Jahr 2000 erheblich durch die Orkanshäden „LOTHAR“ vom 26. Dezember 1999 beeinflusst. Windgeschwindigkeiten von ortswise über 200 km/h führten in den baden-württembergischen Wäldern innerhalb weniger Stunden zu einem Sturmholzanfall von rund 29 Millionen Festmeter.

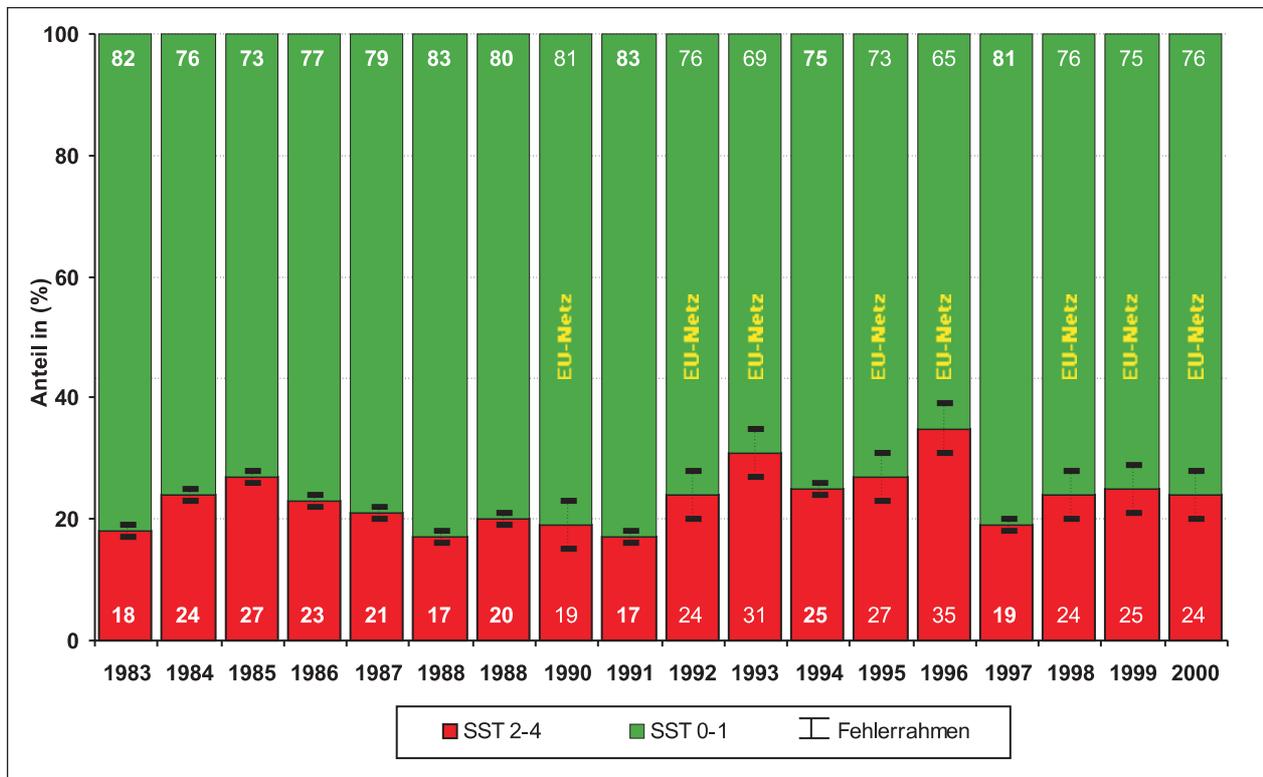
Die Orkanshäden hatten auch für die forstlichen Monitoringnetze einschneidende Folgen. Aufgrund der umfangreichen Schäden auf den Versuchsflächen und Stichprobenpunkten konnte im Jahr 2000 nur ein Teil der ursprünglich vorgesehenen Erhebungen zum Waldschadensmonitoring durchgeführt werden. Die geplante periodische Erfassung des Nährstoffgehaltes der Nadeln von Fichte und Tanne musste ebenso zurückgestellt werden wie die Vollaufnahme des Stichprobennetzes zur Erfassung des Kronenzustandes. Die Waldzustandserfassung beschränkte sich somit auf 50 Stichprobenpunkte des EU-Netzes im 16 x 16 km-Raster. Von diesen waren 23 Punkte vom Sturm geschädigt. Mehr als 10 % der Probestämme waren vom Sturm geworfen. Durch die Auswahl benachbarter Ersatzbäume konnten auf dem EU-Netz dennoch insgesamt 1 146 Bäume aufgenommen und ausgewertet werden. Dieser Stichprobenumfang lässt für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs hinreichend gesicherte Aussagen zu. Dies gilt nicht für einzelne Baumarten oder Regionen.

Die Aufnahme 2000 ergibt einen mittleren Nadel-/Blattverlust von 18,8 % +/- 1,5 %. Der Waldflächenanteil in Baden-Württemberg mit deutlich geschädigten Bäumen (Schadstufen 2-4) beträgt 24 % +/- 4 %. Gegenüber den Jahren 1997 bis 1999 hat sich der Benadelungs-/Belaubungszustand nicht signifikant verändert. Diese Ergebnisse werden durch die Beobachtungen auf baden-württembergischen Dauerbeobachtungsflächen gestützt.

Bei den diesjährigen Erhebungen fällt auf, dass sich der Kronenzustand bei Laubbäumen tendenziell verbessert hat, bei den Nadelbäumen ist kein klarer Trend erkennbar. Ein nennenswerter Anteil des regional starken Fruchtbehangs bei Buche und Fichte ist vermutlich infolge einer längeren Trockenperiode bereits im Frühjahr verkümmert.

Im Waldzustandsbericht der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg werden regelmäßig aktuelle Forschungsergebnisse dargestellt. Die Untersuchungen zu neuartigen Eichenschäden ergaben, dass neben dem Fraß durch Schadinsekten und anderen biotischen Stressoren auch durch Stoffeinträge veränderte chemische (Versauerungstendenz) und physikalische (Strukturverluste mit der Konsequenz von verminderter Bodenbelüftung und Durchwurzelungsintensität) Boden-zustände in einem deutlichen Zusammenhang mit dem jeweiligen Kronenzustand der Eichen stehen.

**Abbildung 41: Schadstufen 0-1 und 2-4 sowie Stichprobenfehler in Baden-Württemberg (SST 2-4 = Schadstufen 2 bis 4, SST 0-1 = Schadstufe 0 und 1)**



Der Waldzustandsbericht 2000 Baden-Württemberg ist im Internet unter der Adresse <http://fva.forst.uni-freiburg.de> abrufbar.

**Bayern**

Die erkennbare Stabilisierung des Kronenzustands der Waldbäume in Bayern in den letzten vier Jahren hat sich in diesem Jahr nicht in gleichem Maße fortgesetzt. Allerdings ist auch keine signifikante Trendumkehr erkennbar. Die durchschnittlichen Nadel-/Blattverluste aller Baumarten haben um 2 Prozentpunkte auf nunmehr 19,8 % zugenommen, die Summe der deutlichen Schäden auf 22 % (19 %). Dies kann zum Teil durch natürliche Schwankungen wie z. B. außergewöhnliche Trockenheit oder Fruktifikation erklärt werden und auch durch das „Auswehen“ grüner Triebe infolge des Orkans „Lothar“.

Verschlechtert hat sich der Kronenzustand der Nadelbaumarten Fichte, Kiefer und Tanne, während die Laubbäume Buche und Eiche auf ungefähr gleichem Niveau geblieben sind. Die Tanne ist nach wie vor die am stärksten geschädigte Baumart, gefolgt von Buche und Eiche, die beide gleichauf liegen. Noch immer sterben Eichen aus ungeklärter Ursache ab. Forschungsergebnisse weisen auf eine maßgebliche Beteiligung von Phytophthora-Pilzarten auf bestimmten Standorten hin.

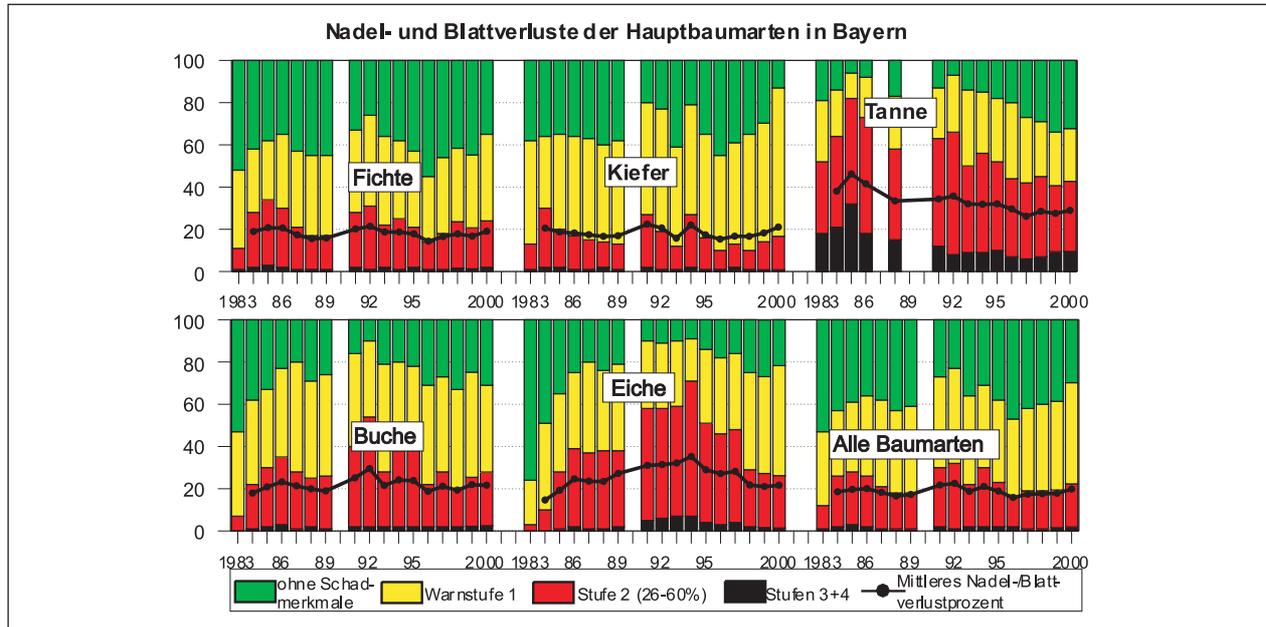
Nach wie vor muss der Alpenraum als Hauptschadensgebiet in Bayern bezeichnet werden. Auch wenn der vor La-

winen, Hochwasser und Erosion schützende Bergwald wie alle anderen Landesteile nur im allgemeinen weitmaschigen 16 km x 16 km-Raster aufgenommen wurde, sind jedoch die Hinweise aus der Inventur sowie der Einzelstudien aus dem Netz der Dauerbeobachtungsflächen und Waldklimastationen auf ein höheres Schadensniveau nicht zu übersehen.

Sowohl aus forstpolitischen wie aus forstbetrieblichen Gründen gewinnen die Ursachen und Folgen der Klimaveränderungen und ihre Wechselwirkungen mit Wald und Holznutzung zunehmend an Bedeutung. Der Aufbau, die Erhaltung und die nachhaltige Nutzung unserer Wälder entlasten den Kohlenstoffhaushalt der Atmosphäre und wirken als Kohlenstoffsinken dem Treibhauseffekt entgegen, können ihn jedoch nicht alleine aufhalten. Eine entschlossene und wirksame Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist unverzichtbar, da ansonsten diese Senkenwirkung infrage gestellt werden kann. Die zentrale forstliche Maßnahme, um die Folgen der Klimaveränderungen abzumildern, ist der langfristige Umbau der historisch bedingten Nadelbaumbestände in laubholzreiche Mischbestände in allen Waldbesitzarten.

Der Waldzustandsbericht für Bayern ist im Internet unter [www.forst.bayern.de](http://www.forst.bayern.de) und [www.lwf.uni-muenchen.de](http://www.lwf.uni-muenchen.de) veröffentlicht und kann dort auch als Broschüre bestellt werden.

Abbildung 42: Entwicklung des Kronenzustandes in Bayern



**Berlin**

Im Jahre 2000 bleiben in Berlin 20,9 % der Waldfläche ohne sichtbare Schadenssymptome (Stufe 0), 54,6 % sind leicht geschädigt (Stufe 1) und 24,5 % weisen deutliche Schäden bis zum Absterben auf (Stufen 2 bis 4) (Abb.43).

Die Schadstufenprozentage für das Jahr 2000 ergeben den schlechtesten Kronenzustand seit 1992.

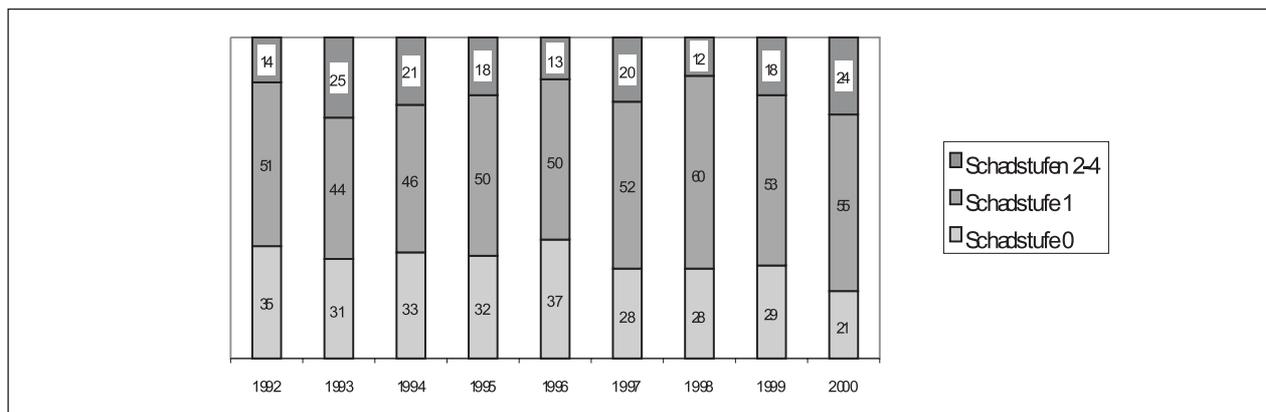
An diesen Zahlen zeigt sich zunächst einmal der auslösende Einfluss der Witterung auf den Kronenzustand. Für Kiefer brachte der nun schon zweite zu milde Winter in Folge erneut das fast völlige Fehlen der Vegetationsruhe. Dadurch wurden viele Reservestoffe verbraucht bzw. konnten nicht angelagert werden, die dann zum Austriebszeitpunkt fehlten. Die Niederschläge der Wintermonate waren zwar endlich wieder etwas reichlicher, konn-

ten die diesjährigen trockenen Monate April bis Juni aber nicht ausgleichen, zumal insbesondere die Austriebsmonate Mai und Juni besonders trocken waren. Die Bäume, speziell die Laubbäume, haben gegenüber dem Jahr 1999 mit einem nochmals verstärkten Nadel- und Blattverlust reagiert.

Diese sofortige, starke Reaktion auf solche Witterungsschwankungen deutet auf tiefer liegende Probleme hin. Zwar gehört die direkte Belastung der Blattoorgane durch Schwefeldioxid wohl endgültig der Vergangenheit an. Aber die Ozonkonzentrationen in der Waldluft liegen besonders während der Vegetationszeit auf einem unveränderten, zu hohen Niveau.

Vor allem aber unterliegen insgesamt die Pufferkapazitäten des Waldökosystems einer ständigen Überbean-

Abbildung 43: Waldschadensentwicklung in Berlin (1992 bis 2000) – Angaben in Prozent



sprechung. Einerseits aufgrund anhaltender, für unsere Wälder zu hoher Einträge an Stickstoff und bodenversauernden Säurebildnern aus Luftverunreinigungen. Verursacher mit steigender Bedeutung ist der Verkehr im Ballungsraum Berlin. Andererseits wirken in vielfältiger Weise die über Jahrzehnte aufgebauten, künstlichen Abhängigkeiten des Waldökosystems von Nährstoffen und säurepuffernden Substanzen aus der verunreinigten Luft.

Hinzu kommen ebenfalls langfristig wirkende Faktoren wie Grundwasserabsenkungen und Zerschneidung der Waldgebiete.

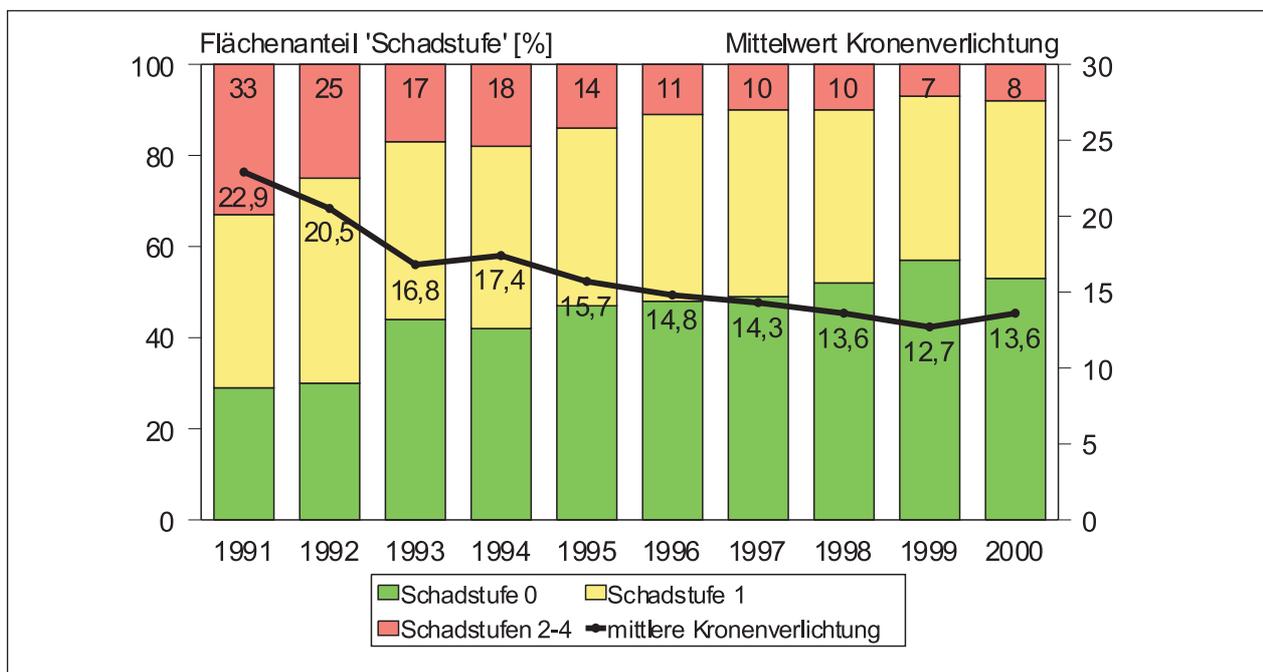
Der Waldzustandsbericht für Berlin ist im Internet unter <http://www.sensut.berlin.de/sensut/umwelt/waldzustand/> veröffentlicht.

**Brandenburg**

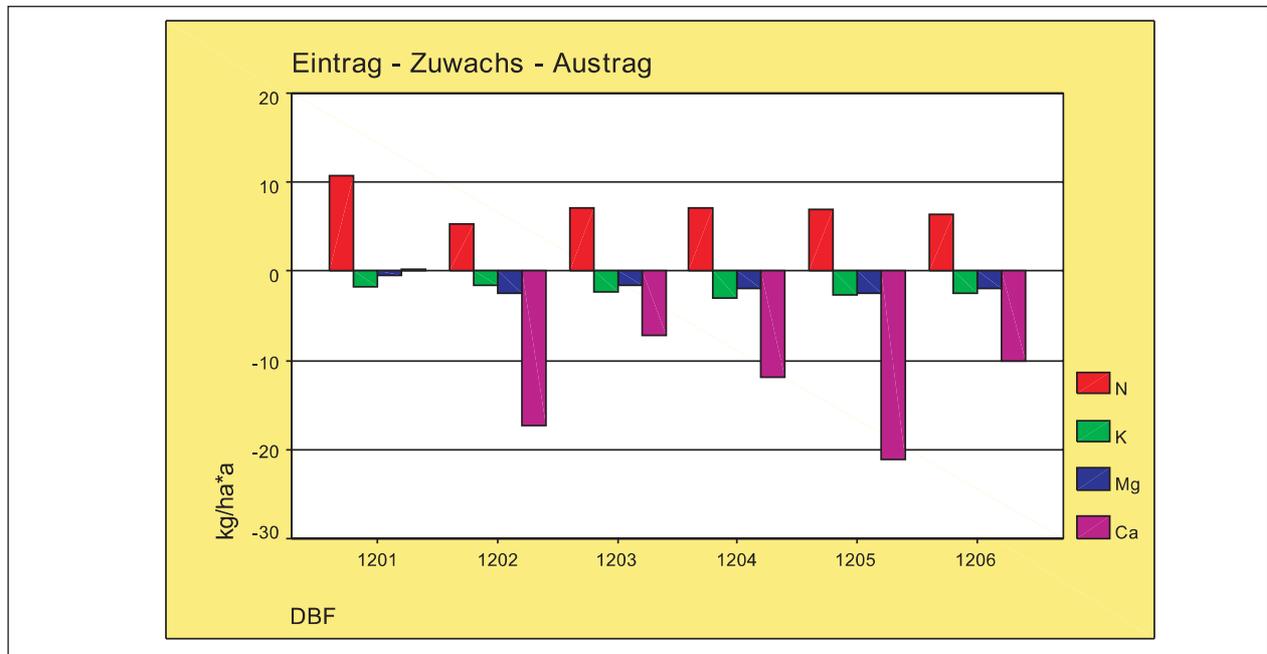
Seit Beginn der Waldschadenserhebung nach der WSE-Methodik im Jahr 1991 hat sich der Kronenzustand der Wälder in Brandenburg bis 1999 kontinuierlich verbessert. Der Flächenanteil deutlich verlichteter Kronen sank von 33 % auf nunmehr 8 %. 1999 wurden gegenüber 1991 von den Waldbäumen im Mittel 10 % mehr Nadel-/Laubmasse gehalten. Im geringfügigen Anstieg der Anteile deutlicher Schäden im Jahr 2000 wird kein Trendbruch gesehen. Die Belaubung der Buche war aufgrund der Vollmast reduziert. Der Kronenzustand der Eiche war dagegen etwas besser als im Vorjahr. Die reduzierte Kronendichte vor allem der jüngeren Altersgruppe deutet auf Auswirkungen des relativ trockenen Jahres 1999 und der

ausgeprägten Niederschlagsdefizite in den Monaten April und Mai des Jahres 2000 hin. Die Bewertung der Zustandsentwicklung ist angesichts der in den Jahren 1988 bis 1990 in Brandenburg aufgetretenen sehr trockenen Frühjahrs- und Sommerperioden sowie anschließenden sehr warmen Wintern problematisch. Mit der Erholungsphase des Kronenzustandes seit 1992 haben sich sowohl die Witterungsverhältnisse als für den Waldzustand günstig ergeben, sind aber auch die hohen Immissionsbelastungen von Schwefeldioxid und Stäuben stark reduziert worden. Es bleibt ein hohes Niveau der Ozonimmission bestehen, das Wirkungen auf den Waldzustand haben kann. Die Stickstoffeinträge überschreiten großflächig die kritischen Eintragsraten, wie beispielhaft für die Level II-Standorte nachgewiesen wurde. Der gegenwärtig gute Waldzustand wird weiterhin als nicht gesichert betrachtet. Die Bodenzustandsveränderungen schreiten, zwar deutlich gebremst, weiter fort. Eine Analyse des Witterungsverlaufes für die Level II-Standorte Brandenburgs lässt für die Periode 1981 bis 2000 erhebliche Abweichungen der Wasserversorgung der Wälder sowohl nach durchschnittlicher Menge als auch regionaler Verteilung erkennen. Klimatische Veränderungen werden als eine wesentliche Ursache für die Labilität der Kronenzustandsentwicklung gesehen. Die Aufklärung dieser Zusammenhänge wird als prioritäre Aufgabe auch im Hinblick auf die Realisierung des Waldumbauprogramms des Landes gesehen. Die Untersuchungen im Waldzustandsmonitoring Level I und Level II werden auch dafür als notwendige Vorsorge betrachtet und in bestehender Intensität fortgeführt.

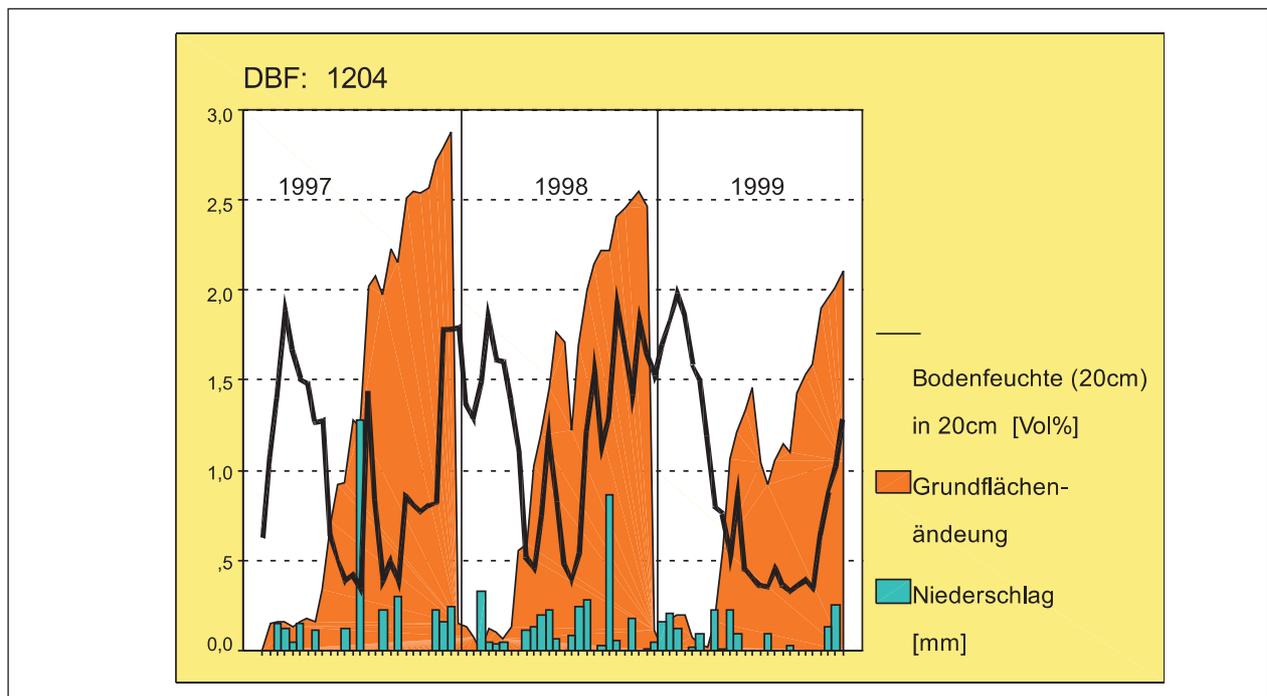
**Abbildung 44: Waldschadensentwicklung in Brandenburg (1991 bis 2000) – Angaben in Prozent**



**Abbildung 45:** Ergebnis der Stoffbilanzierung der Brandenburger Level II-Standorte (Kiefer): Der im Überschuss eingetragene Stickstoff wird an allen Flächen akkumuliert, an den Flächen 1202 bis 1206 werden erheblich höhere Mengen an Kalzium, Magnesium und Kalium ausgetragen bzw. im Zuwachs festgelegt, als über den Stoffeintrag nachgeliefert werden. Die Verwitterung als Quelle ist hier nicht berücksichtigt, erreicht aber nicht die Größenordnung der Austräge. Der Standort 1201 ist bereits bis 250 cm Tiefe so stark versauert, dass weitere Basenausträge nicht mehr stattfinden



**Abbildung 46:** Verlauf des Kreisflächenzuwachs anhand von 14-tägigen Dendrometermessungen an der DBF 1204 1997 bis 1999 (Fläche) im Vergleich zum Verlauf der Bodenfeuchte (Linie) und der Niederschlagsmenge. Die Kiefern reagieren auch im Zuwachs sehr empfindlich auf reduzierte Wasserverfügbarkeit



**Tabelle 4: Schadstufenanteile für die einzelnen Baumarten, dargestellt für das Gesamtstichprobenkollektiv**

Baumart	Anzahl	Schadstufe 0 (%)	Schadstufe 1 (%)	Schadstufe 2 (%)	Schadstufe 3 (%)	Schadstufe 4 (%)
Fichte	63	39,68	39,68	15,87	4,76	0,00
Kiefer	134	53,73	38,81	5,97	0,00	1,49
Douglasie	4	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00
SNB	66	93,94	6,06	0,00	0,00	0,00
Buche	138	47,10	40,58	10,14	2,17	0,00
Eiche	182	67,58	24,73	7,14	0,00	0,55
SLB	535	92,52	4,86	1,50	0,75	0,37

Anmerkungen: SNB = Sonstige Nadelbäume; SLB = Sonstige Laubbäume.

**Bremen**

Die diesjährige, nach den Richtlinien des BMELF durchgeführte Waldzustandserfassung für die Waldflächen des Bundeslandes Bremen basiert auf einem Stichprobenumfang von 1 122 Bäumen mit dem folgenden Gesamtergebnis:

- 72,2 % Schadstufe 0 (gesund)
- 18,7 % Schadstufe 1 (geringe Blattverluste)
- 4,7 % Schadstufe 2 (mittlere Blattverluste)
- 0,9 % Schadstufe 3 (starke Blattverluste)
- 0,4 % Schadstufe 4 (absterbende bzw. abgestorbene Bäume).

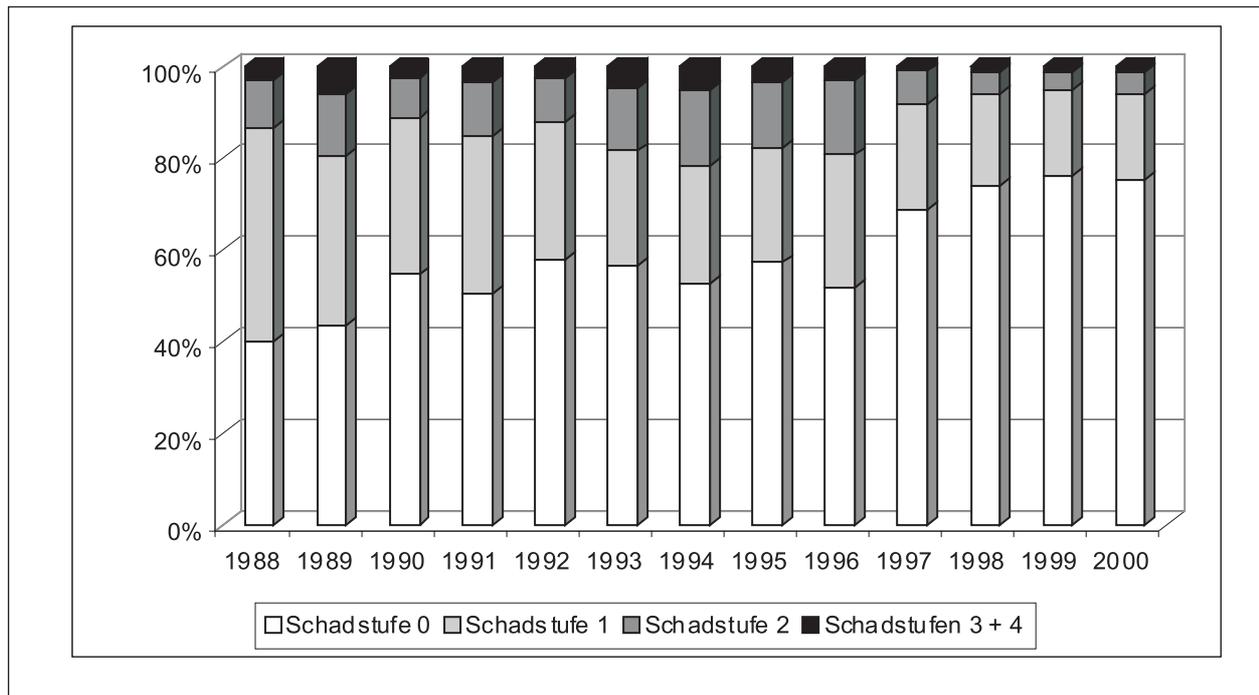
Das Gesamtergebnis ist im Vergleich mit den Ergebnissen aus den Vorjahren als günstig zu bezeichnen und ent-

spricht fast dem des Vorjahres. Dabei gab es innerhalb der Baumarten sehr unterschiedliche Entwicklungen, die aufgrund eines leicht veränderten Stichprobenkollektivs im Gesamtergebnis nicht zum Ausdruck kommen.

Die Fichte ist im Bundesland Bremen die Baumart mit der geringsten Vitalität. Knapp 40 Prozent der Bäume sind gesund, jede sechste Fichte hat Blattverluste zwischen 26 und 60 %. Im Vergleich zum Vorjahr hat sich die Schadstufenbesetzung wenig geändert.

Ebenfalls ungünstige Schadstufenbesetzungen haben in diesem Jahr Buche und Kiefer. Etwa die Hälfte der untersuchten Bäume waren gesund. Bei beiden Baumarten überwiegen ältere Bäume im Stichprobenkollektiv. Im Vergleich zum Vorjahr kam es bei beiden zu einer deutlichen Verschlechterung in der Schadstufenbesetzung. Der Grund ist bei der Buche die wiederholte und in diesem

**Abbildung 47: Vitalitätsentwicklung der Waldbestände im Bundesland Bremen (1988 bis 2000)**



Jahr besonders starke Fruktifikation. Bei der Kiefer ist der Rückgang gesunder Bäume auf das trockene Frühjahr zurückzuführen.

Das Schadniveau der Eiche ist im Vergleich mit anderen Baumarten hoch. Zwei Drittel der Eichen sind gesund. Die Eiche hat im Vergleich zum Vorjahr ein ähnliches Ergebnis, das als insgesamt günstig für diese Baumart zu bezeichnen ist, weil sie in der Stichprobe mit überwiegend alten Bäumen vertreten ist und in Zyklen unter der Eichen-Fraßgesellschaft zu leiden hat.

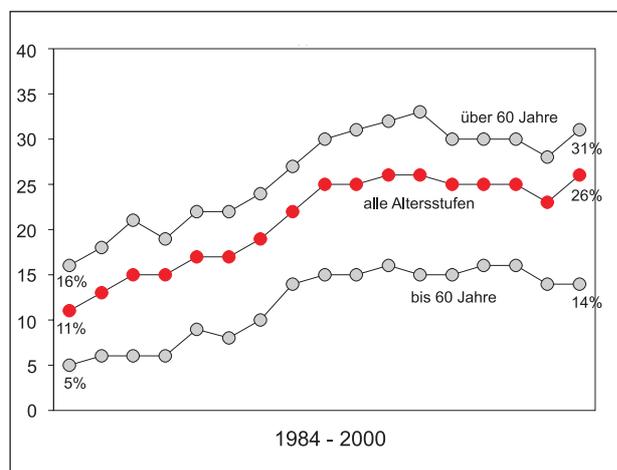
Die Sonstigen Laubbäume und Sonstigen Nadelbäume haben mit Anteilen gesunder Bäume von über 90 Prozent die mit Abstand günstigsten Schadstufenbesetzungen. Gegenüber dem Vorjahr hat sich die Vitalitätssituation dieses fast ausschließlich aus jungen Bäumen bestehenden Baumkollektivs noch einmal verbessert.

Trotz der negativen Entwicklungen bei Buche und Kiefer entspricht das Gesamtergebnis in der Schadstufenbesetzung weitgehend dem des Vorjahres. Der Grund hierfür findet sich beim Stichprobenkollektiv der Sonstigen Laubbäume, dessen günstige Vitalitätsentwicklung aufgrund des hohen Anteils an der Gesamtstichprobe (fast 50 %) dem Trend bei Buche und Kiefer entgegenwirkte.

## Hessen

Im Rahmen der diesjährigen Waldschadenserhebungen erfolgten die Kronenzustandsbonituren auf dem repräsentativen 8 km x 8 km Dauerbeobachtungsnetz. Für die Buche als prägende Baumart der meisten hessischen Waldgesellschaften sowie für die Eiche, die bis 1999 die stärkste Schadentwicklung zeigte, wurde auf dem 4 km x 4 km Rasternetz erhoben. Diese Erhebungen ermöglichen Aussagen auf Wuchsgebietsebene. Seit 1994 werden auf Grund der prekären Waldschadenssituation in der Rhein-Main-Ebene die dortigen Aufnahmen grundsätzlich auf dem Vollerhebungsmessnetz 4 km x 4 km durchgeführt.

**Abbildung 48: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten in Hessen**



Der mittlere Nadel-/Blattverlust aller Baumarten und Altersstufen hat sich 2000 im Vergleich zum Vorjahr von 23 % auf 26 % verschlechtert. Dies ist bedingt durch einen deutlichen Anstieg der mittleren Kronenverlichtung der älteren Bäume von 28 % (1999) auf 31 % (2000). Besonders betroffen ist die ältere Buche (1999: 29 %, 2000: 37 %). Die jüngeren Bäume verbleiben mit Werten von insgesamt 14 % auf dem Niveau des Vorjahres. Nach einem Anstieg des Nadel-/Blattverlustes der jüngeren Bäume in der Zeit von 1984 bis 1991 verbleiben die Kronenverlichtungsprozente dieser Altersklasse nun mehr seit 10 Jahren auf einem gleichbleibenden Niveau. Die durchschnittliche Absterberate in der Zeit von 1984 bis 2000 liegt für alle Baumarten und alle Altersstufen bei nur 0,3 %. Sie zeigt keinerlei gerichtete Veränderung.

Im Rahmen der Waldschadenserhebung in Hessen wird seit 1988 die Fruktifikationsintensität der Buche flächendeckend bonitiert. Auch in 2000 haben die älteren Buchen in Hessen stark fruktifiziert. Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Zeitraum 1988 bis 2000 sechs starke bis sehr starke Fruktifikationsereignisse der Buche aufgetreten sind. Offensichtlich hat die Buche im Beobachtungszeitraum in kürzeren Abständen und vielfach stärker fruktifiziert als das „alte Gesetzmäßigkeiten“ erwarten lassen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fruktifikationsereignisse die Baumphysiologie und den Energie- und Stoffhaushalt der Buchen erheblich beeinflussen.

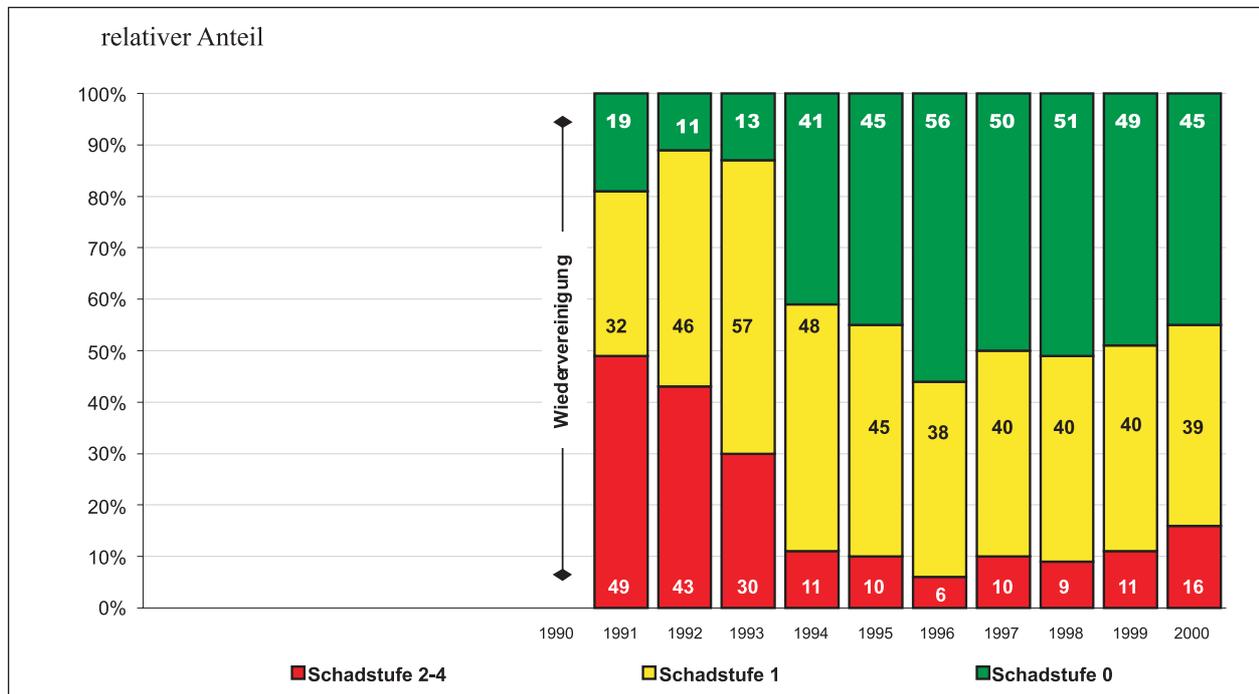
Besonders ungünstig ist der Kronenzustand der älteren Eiche in der Rhein-Main-Ebene. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes 1984 bis 2000 hat sich die mittlere Kronenverlichtung nahezu verdreifacht. Trotz der Verbesserung des Belaubungszustandes seit 1998 ist der Kronenzustand der älteren Eiche mit 41 % in der Rhein-Main-Ebene erheblich schlechter als in Gesamthessen (29 %).

## Mecklenburg-Vorpommern

Mit einem diesjährigen mittleren Nadel-/Blattverlust aller Stichprobenbäume von 16 % lässt sich seit sieben Jahren statistisch keine signifikante Veränderung in der Entwicklung des Belaubungszustandes erkennen. Im Gesamtergebnis zeigen 45 % der Bäume keine Schadensmerkmale. Wie im Vorjahr sind weitere zwei Fünftel schwach geschädigt. Mittlere Schäden treten anteilig zu 15,1 % und starke Schäden zu 0,5 % auf. Der Anteil abgestorbener Bäume beträgt 0,1 %. Somit beläuft sich die Quote deutlicher Schäden auf insgesamt 15,7 %.

Der Schadenskontrast zwischen den Laub- und Nadelbäumen ist wieder angestiegen, indem die Laubbäume 1,8-mal häufiger deutliche Schäden aufweisen. Weiterhin verzeichnen bei allen Baumartengruppen die über 60-jährigen Stichprobenbäume einen höheren Anteil deutlicher Schäden als die jüngeren, und zwar besonders ausgeprägt bei den „sonstigen Nadelbäumen“. Gegenüber 1999 hat sich nur der Zustand der Eiche verbessert, jener der Buche aber, im Wesentlichen bedingt durch starke Fruchtbildung, erheblich verschlechtert. Konstant blieb auf relativ niedrigem Niveau das Schadprozent der

Abbildung 49: Entwicklung der Schadstufenanteile in Mecklenburg-Vorpommern



Fichte. Eine leichte Verschlechterung verzeichnen zwar die Kiefer und die „sonstigen Laubbäume“, doch bleibt deren absolutes Schadniveau immer noch niedrig. Deutlich verschlechtert haben sich wiederum die „sonstigen Nadelbäume“.

Aus der Zeitreihe der Erhebungen von 1992 bis 2000 wird ersichtlich, dass die durchschnittliche Kronenverlichtung aller Stichprobenbäume einen wesentlich ausgeglicheneren Verlauf zeigt als jene der jährlichen Gesamtschadquote.

Im laufenden Jahr beeinflussten biotische Faktoren das Schadensgeschehen der Fichte sowie der „sonstigen Laubbäume“ und der Eiche. Wie die aktuelle Waldschutzsituation belegt, hat das seit 1995/96 zu beobachtende rückläufige Schadensgeschehen bei den rindenbrütenden Insekten zwar ein relativ niedriges Niveau erreicht, doch zeichnet sich bei einzelnen Insektenarten inzwischen wieder ein schrittweiser Populationsanstieg ab. Bei den nadel-/blattfressenden Schadinsekten konnte die Massenvermehrung des Kiefernspanners durch Bekämpfungsmaßnahmen, verbunden mit für den Schädling ungünstigen Witterungsanomalien, in diesem Jahr beendet werden.

Für die Zeitspanne von April bis Juni betrug der Niederschlag im Landesflächenmittel nur zwei Drittel der Norm. In Verbindung mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen kam es phasenweise zu Engpässen bei der Wasserversorgung der Laubbäume und dadurch zur Beeinträchtigung des Kronen- und Gesundheitszustandes. Positiv auf das Waldschadensgeschehen wirkte sich in den letzten Jahren dagegen aus, dass sich die Eintragungssituation bei Säuren

und Schwefel im Lande deutlich entspannt hat. Aber auch beim Eintrag von Stickstoff aus der Luft zeichnet sich ein allmählicher Rückgang ab.

### Niedersachsen

Die Waldzustandserhebung 2000 in Niedersachsen weist im Gesamtergebnis über alle Baumarten und Alter 51 % der Waldfläche ohne Schäden, 33 % mit schwachen Schäden und 16 % mit deutlichen Schäden aus. Insgesamt hat sich der Kronenzustand der Waldbäume gegenüber dem Vorjahr verschlechtert, da die deutlichen Schäden um 3 % angestiegen sind. Der Anteil gesunder Bäume blieb konstant (s. Abbildung 50). Datengrundlage ist die Erhebung im 4 x 4 km-Raster.

### Waldzustand 2000 nach Alter und Baumarten

Die Schadstufenverteilung bei den jüngeren (bis 60-jährigen) Bäumen blieb weitgehend unverändert. Mit einem Anteil deutlicher Schäden in einer Spanne von 1 bis 3 % für die Hauptbaumarten wird in dieser Altersgruppe das durchgehend niedrige Schadniveau beibehalten.

In der Altersgruppe über 60 Jahre wurden 34 % der Waldfläche als deutlich geschädigt eingestuft. Dies bedeutet einen Anstieg um 6 % gegenüber dem Vorjahresergebnis. Abbildung 51 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Schadstufenanteile für die Hauptbaumarten (Alter über 60 Jahre):

- Eine gravierende Verschlechterung des Kronenzustandes ist 2000 bei der Buche eingetreten. Der Anteil deutlicher Schäden hat sich von 31 % auf 54 %

Abbildung 50: Flächenanteile der Schadstufen in Niedersachsen (1984 bis 2000)

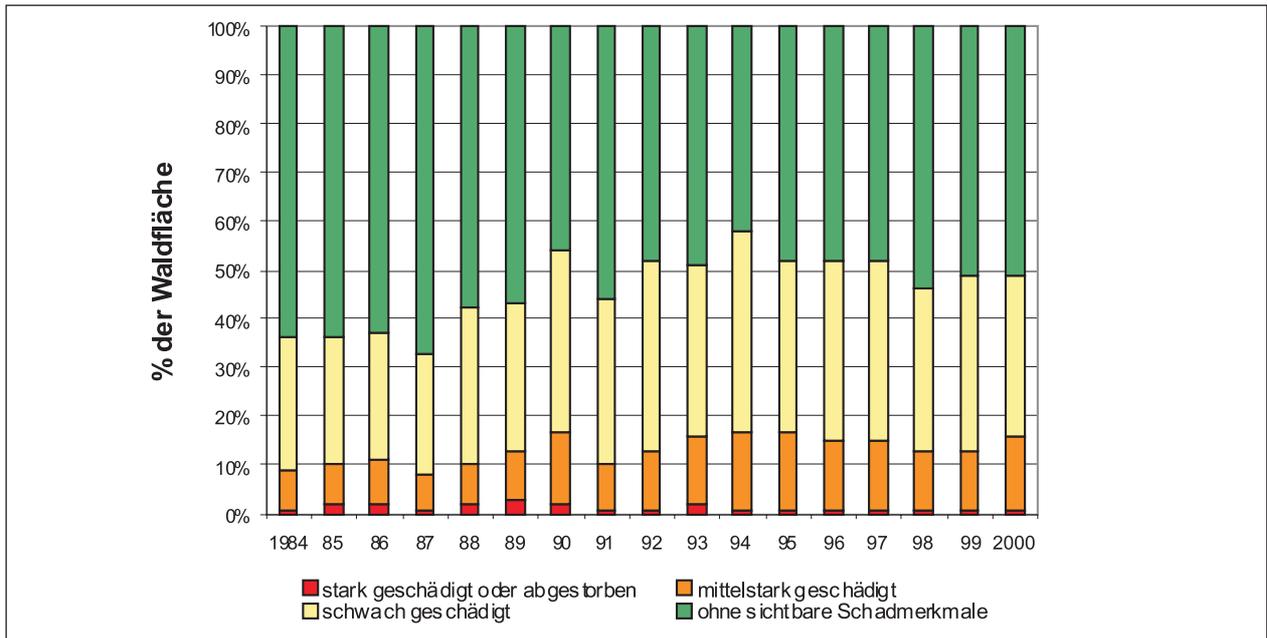
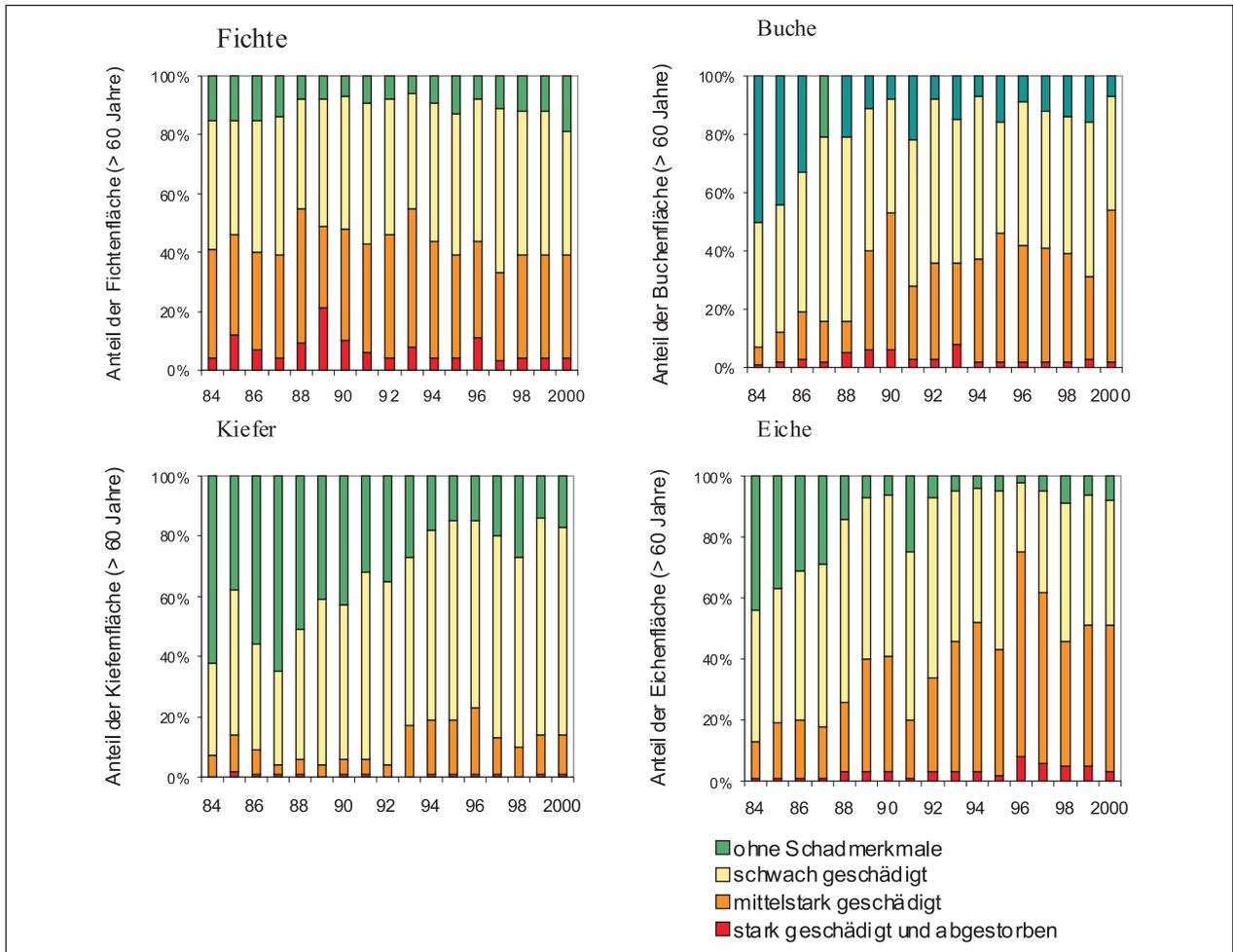


Abbildung 51: Entwicklung der Schadstufenanteile bei den Hauptbaumarten (Alter über 60 Jahre) in Prozent in Niedersachsen (1984 bis 2000)



erhöht. Der sich seit 1996 abzeichnende leichte Abwärtstrend des insgesamt hohen Schadniveaus setzte sich nicht weiter fort. Ausschlaggebend für die Zunahme der Kronenverlichtung in diesem Jahr war die landesweit intensive Fruchtbildung der Buche.

- Die Eiche hatte 1996 sehr hohe Schadwerte erreicht, anschließend gingen die Schäden zurück, erreichten aber nicht wieder das niedrige Niveau der 80er-Jahre. Auch 2000 ist mit einem Anteil deutlicher Schäden von 51 % – dies entspricht dem Vorjahresergebnis – keine rückläufige Tendenz eingetreten.
- Für die Fichte ist im gesamten Zeitverlauf der Waldzustandserhebung ein gleich bleibend hohes Schadniveau zu verzeichnen, dies setzt sich auch 2000 mit einem Anteil von 39 % deutlicher Schäden weiter fort.
- Bei der Kiefer blieb der Anteil deutlicher Schäden konstant (14 %). Das seit 1993 gegenüber den Vorjahren erhöhte Schadniveau bleibt bestehen. Im Vergleich unter den Hauptbaumarten ist die Kiefer die Baumart mit dem niedrigsten Kronenverlichtungsgrad.

Nach einer nur kurzen einjährigen Erholungsphase haben viele Baumarten stark geblüht und Früchte ausgebildet. Besonders intensiv fruktifizierten die Buchen. Dies war mit einer erheblichen Zunahme der Kronenverlichtung der älteren Buche verbunden, die sich auch auf das Gesamtergebnis auswirkte.

Der Witterungsverlauf mit Durchschnittstemperaturen über dem vieljährigen Mittel und Niederschlagsdefiziten

von April bis einschließlich Juni, hat für die Kronenentwicklung in diesem Jahr keine optimalen Verhältnisse geboten. Die nachhaltige Wasserversorgung der Bäume war aber überwiegend gewährleistet. Der Schaden durch Insektenfraß blieb – überregional betrachtet – gering.

Im niedersächsischen Harz ist das Schadniveau der älteren Fichten nach wie vor besonders hoch. In Abbildung 52 sind die Anteile deutlicher Schäden für die Fichte im Harz und für das Land Niedersachsen im Vergleich dargestellt. Im Harz ist der Kronenzustand der älteren Fichten deutlich schlechter als auf Landesebene. Gegenüber den hohen Schäden Ende der 80er-Jahre ist für die Harzfichte eine leichte Verbesserung erkennbar.

Der Waldzustandsbericht 2000 für das Land Niedersachsen kann im Internet unter den Adressen <http://www.forstnds.de> und <http://www.nfv.gwdg.de/wze.htm> abgerufen werden.

### Nordrhein-Westfalen

Der Zustand des nordrhein-westfälischen Waldes hat sich weiter verschlechtert. Bezogen auf den Gesamtwald sind die deutlichen Schäden um 6 %-Punkte auf 30 % angestiegen. Der Schwerpunkt dieser Schäden liegt nach wie vor in der Schadstufe 2. Die Anteile der Stufen 3 und 4 betragen zusammen nur 1,5 %.

Die vorliegende Zeitreihe zeigt, dass die Waldschäden in Nordrhein-Westfalen während der gesamten Zeit seit Beginn der regelmäßigen Schadensinventuren noch nie ein solches Ausmaß erreicht haben wie in diesem Jahr.

**Abbildung 52: Entwicklung der deutlichen Schäden für die Fichte (über 60 Jahre) im Harz und für das Land Niedersachsen**

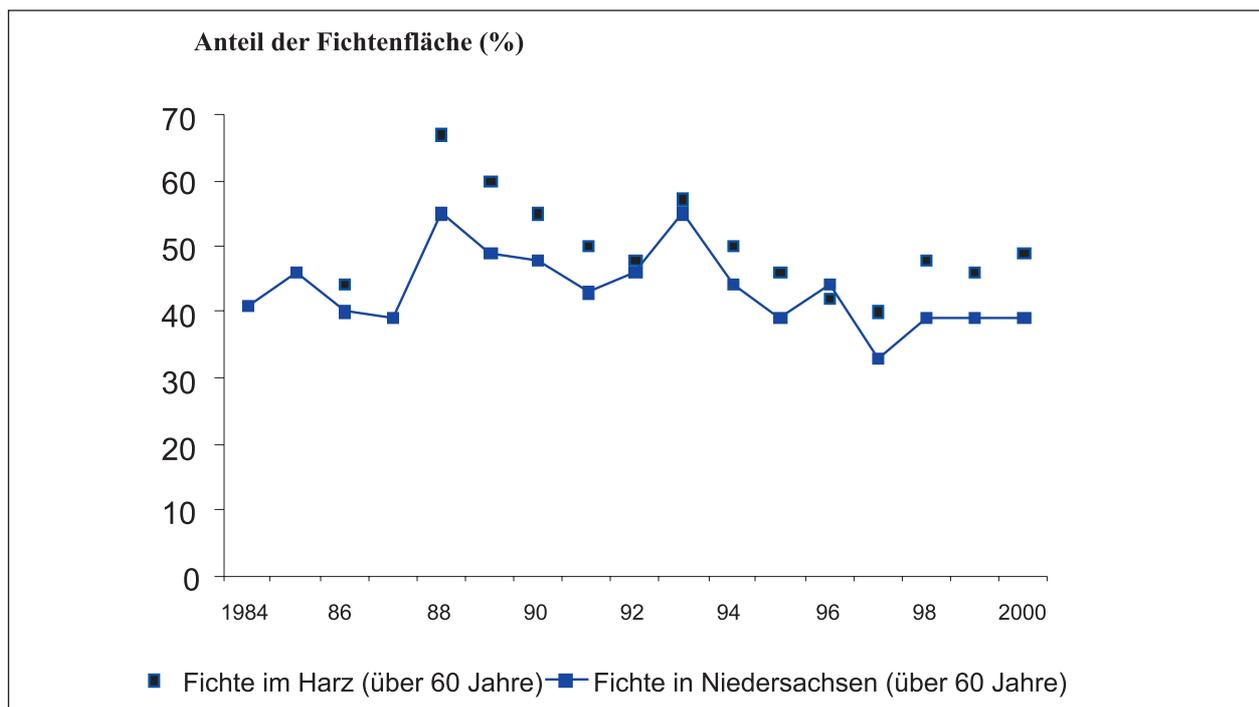
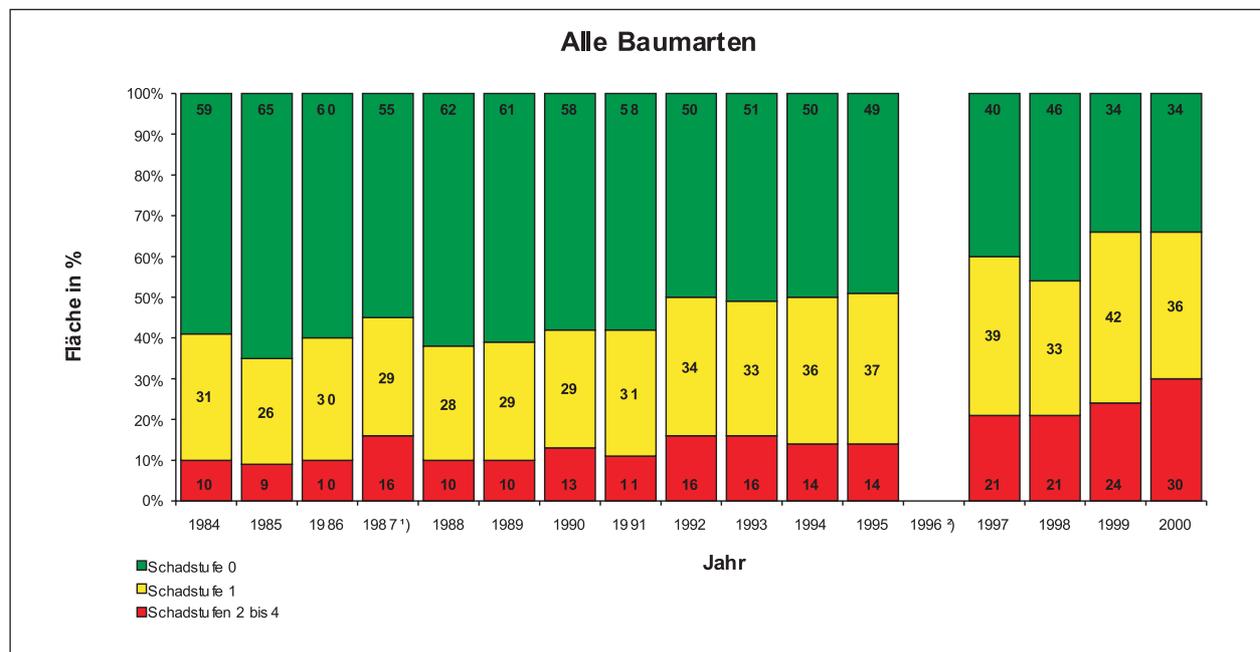


Abbildung 53: Entwicklung der Schadstufenanteile in Nordrhein-Westfalen



Weiter belegt sie, dass die Entwicklung der Schäden einen klaren negativen Trend aufweist. Zu der Zeitreihe ist anzumerken, dass sie gegenüber den früher veröffentlichten Grafiken kleine Abweichungen aufweist, weil in diesem Jahr erstmals die durch die Landeswaldinventur 1997/98 exakt festgestellte Baumartenverteilung für die Berechnungen zugrunde gelegt wurde.

Der Schadensgrad der Fichte hat in diesem Jahr einen Höchststand erreicht. Der Anteil der deutlichen Schäden ist im Mittel um 10 %-Punkte auf 24 % angewachsen. Betroffen sind fast ausschließlich die älteren Bäume über 60 Jahre. Biotische Ursachen für den Anstieg sind nicht bekannt. Auch die Witterung ist insgesamt eher günstig gewesen. Allerdings ist Ende Mai ein starker Sturm aufgetreten. Durch die Böen sind vermutlich viele ganz junge Triebe abgerissen oder abgeschlagen worden.

Die Kiefer hat sich nach dem Schadenssprung des Jahres 1999 so weit erholt, dass sie sich dem Stand früherer Jahre wieder angenähert hat. Insbesondere die älteren Bäume haben wieder dichtere Kronen. Gemessen an den deutlichen Schäden ist die Kiefer z. z. die vitalste Hauptbaumart. Der Anteil der deutlichen Schäden beträgt bei ihr nur 17 %. Das sind 9 %-Punkte weniger als im Vorjahr. Zusätzlich haben sich die schwachen Schäden um 9 %-Punkte verringert.

Bei der Buche sind die Schäden drastisch angestiegen. Der Anteil der Schadstufen 2 bis 4 ist von 28 % auf 52 % hochgeschwungen. Das ist der höchste Schadensgrad, der bislang bei der Buche zu verzeichnen gewesen ist. Der Zuwachs bei den deutlichen Schäden ergibt sich fast vollständig aus einer Verringerung der Stufe 1; in der Stufe 0 sind weiterhin rund ein Fünftel der Bäume verblieben. Ähnlich wie bei der Fichte sind von der negativen Veränderung fast aus-

schließlich die älteren Bäume über 60 Jahre betroffen. Für diese Verschlechterung dürfte ganz wesentlich eine außergewöhnliche Mast verantwortlich sein, die bekanntermaßen bei dieser Baumart eine verringerte Blattmasse mit sich bringt. Außerdem hat die Buche im Frühjahr extrem stark geblüht. Als weitere Belastungsfaktoren sind hier der Befall durch den Buchenspringrüssler und durch die Buchenblattbaumlaus zu nennen.

Der Zustand der Eiche ist gegenüber dem Vorjahr bedeutend besser geworden. Ihre Schädigung bleibt aber auf einem hohen Niveau. Der Trend der Schadensentwicklung muss weiterhin als negativ eingestuft werden, obwohl der Anteil der deutlichen Schäden von 51 % auf 39 % gesunken ist. Die Verbesserung erstreckt sich auf alle Altersklassen. Zu den Ursachen für die dichtere Belaubung gehört neben dem unproblematischen Witterungsverlauf vor allem der Umstand, dass der Blattfraß durch Eichenwickler- und Frostspanner schwächer gewesen ist.

Hinsichtlich der Beeinträchtigung des nordrhein-westfälischen Waldes durch Luftschadstoffe kann gesagt werden, dass sie in letzter Zeit geringer geworden ist. Die Konsequenz daraus ist, dass akute Schäden aufgrund von direkten Schadstoffeinwirkungen aus der Atmosphäre nicht zu erwarten sind. Andererseits besteht kein Zweifel, dass die Ozongehalte der Luft sowie die Stickstoff- und Säureeinträge mit den Niederschlägen noch immer zu hoch sind. Zieht man außerdem in Betracht, dass bereits einige Jahrzehnte lang hohe Schadstoffeinträge auf den Wald eingewirkt haben und dass sich diese Stoffe in den Böden und der aufwachsenden Biomasse akkumuliert haben, so ergibt sich dennoch zwangsläufig für den Lebensraum Wald eine weiterhin hohe Belastung, die zum großen Teil auf Langzeitwirkungen beruht.

## Rheinland-Pfalz

Der Kronenzustand der Waldbäume in Rheinland-Pfalz hat sich in diesem Jahr merklich verbessert. Der Anteil der Stichprobenbäume mit deutlichen Kronenschäden nahm gegenüber dem Vorjahr um 7 Prozentpunkte auf 18 % ab. Entsprechend stieg der Anteil von Probebäumen ohne sichtbare Schadmerkmale um 5 Prozentpunkte auf 34 % und der Anteil schwach geschädigter Probebäume um 2 Prozentpunkte auf 48 % an. Trotz dieser Verbesserung liegt das Niveau der Kronenschäden aktuell aber noch deutlich über dem Schadniveau in den 80er-Jahren.

Bei der Fichte ging der Anteil deutlich geschädigter Probebäume auf 13 % zurück (Vorjahr 16 %). Die in den letzten Jahren verzeichnete langsame Verschlechterung des Kronenzustandes setzt sich damit in diesem Jahr nicht fort. Die Schadsituation der Kiefer blieb gegenüber dem Vorjahr weitgehend unverändert. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume ist mit aktuell 10 % nur gering. In der Zeitreihe seit 1984 ist kein einheitlicher Trend zu erkennen. Bei der Buche ist der Anteil von Probebäumen mit deutlichen Kronenschäden auf 36 % gesunken (Vorjahr 43 %). Damit ist das Ausmaß der Kronenschäden bei der Buche wieder auf das Schadniveau Mitte der 90er-Jahre zurückgegangen. Die deutlichste Verbesserung des Kronenzustandes war bei der Eiche zu verzeichnen. Der Anteil deutlich geschädigter Probebäume beträgt jetzt 29 % (Vorjahr 50 %). Trotz dieser Erholung liegt das aktuelle Schadniveau der Eiche noch weit über dem der 80er-Jahre. Zudem ist in vielen Eichenbeständen in Rheinland-Pfalz noch eine deutlich erhöhte Absterberate zu verzeichnen. Die Verbesserung des Kronenzustandes in diesem Jahr dürfte im Wesentlichen auf dem besonders günstigen Witterungsverlauf und das vergleichsweise geringe Ausmaß von Insektenfraß und Pilzbefall zurückzuführen sein. Ermöglicht wurde diese Erholung aber erst durch die Abnahme der Luftschadstoffbelastung und das Wirksamwerden von waldbaulichen Maßnahmen zur Erhöhung der Widerstandskraft der Ökosysteme.

Trotz der beachtlichen Erfolge der Luftreinhaltemaßnahmen werden aber die ökosystemverträglichen Schwellenwerte der Luftschadstoffbelastung in rheinland-pfälzischen Waldökosystemen meist noch sehr deutlich überschritten. So belegen Bodenuntersuchungen eine erhebliche luftschadstoffbedingte Versauerung und teilweise eine beginnende Stickstoffsättigung der Standorte. Eine weitere deutlichere Verringerung des Ausstoßes waldschädigender Luftschadstoffe ist daher unverzichtbar. Vor allem bei der Stickstoffemission besteht noch ein beträchtlicher Minderungsbedarf; dies gilt insbesondere für die Ammoniakemission aus der Landwirtschaft. Durch naturnahen Waldbau und Fortführung der Bodenschuttkalkung wird die Widerstandskraft der Waldökosysteme gestärkt.

Der Waldzustandsbericht für Rheinland-Pfalz 2000 kann im Internet <http://www.uni-kl.de/FVA/> abgerufen oder beim Ministerium für Umwelt und Forsten Kaiser-Friedrich-Straße 7 in 55116 Mainz angefordert werden.

## Saarland

Im Saarland wurde die Waldschadenserhebung 2000 als Vollstichprobe in einem 2 x 4 km-Raster mit über 2 300 Probebäumen durchgeführt. Das Ausmaß äußerlich deutlich erkennbarer Waldschäden hat sich im Saarland mit einem Stand von 14 % gegenüber 1999 insgesamt nicht verändert. Auch die Gesamtschäden (Schadstufe 1 bis 4) halten sich mit 51 % auf dem Niveau des Vorjahres. Jeder zweite Baum im saarländischen Wald ist geschädigt. Die Laubbäume haben sich gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert, bei den Nadelbäumen ist eine leichte Verschlechterung zu verzeichnen. Die Buche bleibt mit einem Anteil deutlicher Schäden von 28 % die am stärksten geschädigte Baumart, gefolgt von Kiefer (12 %), Eiche (10 %) und Fichte (9 %). Kronenschäden treten vornehmlich in älteren Waldbeständen auf: Bei 25 % der älteren, über 60-jährigen Bäume und lediglich bei 5 % der jüngeren Bäume wurden in diesem Jahr deutliche Schäden festgestellt. In der langjährigen Entwicklung verringerten sich die deutlichen Schäden seit dem Höchststand von 1995 um über 9 Prozentpunkte, für die Gesamtschäden ist jedoch der Gesamttrend seit Beginn systematischer Beobachtungen steigend. Günstige Witterungsbedingungen der vergangenen 3 Jahre haben sich auf das Wachstum der Waldbäume und ihre Kronenentwicklung positiv ausgewirkt. Allerdings belegen Untersuchungen über den Eintrag von Luftschadstoffen eine zunehmende Versauerung und Destabilisierung der Waldböden in z. T. dramatischer Geschwindigkeit, die Überschreitung kritischer Belastungsgrenzen insbesondere für Stickstoff und die Freisetzung toxisch wirkender Stoffe im Boden mit zunehmender Gefährdung des Grundwassers. Eingetretene Wurzelschäden erschweren die Aufnahme notwendiger Nährstoffe und erhöhen die Windwurfgefährdung der Waldbäume. Ein Rückzug von Feinwurzeln in die oberen Bodenhorizonte erhöht die Disposition gegenüber Trockenschäden in niederschlagsarmen Jahren.

## Sachsen

In Sachsen wurde die Waldschadenserhebung im Jahr 2000 zum 10. Mal durchgeführt. Auf einem Raster von 4 x 4 km sind dazu insgesamt 6 840 Bäume in 285 Waldbeständen begutachtet worden. Die Erhebung weist 19 % der sächsischen Waldfläche als deutlich geschädigt, 37 % als schwach geschädigt und 44 % ohne erkennbare Schäden aus. Damit hat sich der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche im Vergleich zum Vorjahr um 3 Prozentpunkte verringert und liegt unter dem Niveau zu Beginn der 90er-Jahre.

Für die Hauptbaumarten und Wuchsgebiete gilt:

- Der Schadverlauf zeigt im Zeitraum 1991 bis 2000 für die Baumarten gegenläufige Trends: Während sich bei den Nadelbaumarten ein Schadrückgang andeutet, ist bei den Laubbaumarten eine tendenzielle Schadzunahme zu beobachten.
- Bei der Fichte (43,8 % der Waldfläche) liegen die deutlichen Schäden in diesem Jahr mit 20 % um 7 %punkte niedriger als im Vorjahr. Ausgelöst durch das

Tabelle 5: Waldzustand im Saarland (1999 und 2000)

**Entwicklung der Waldschäden seit 1999 nach Hauptbaumarten und Alterstufen**  
**Veränderung in Prozentpunkten** **Saarland**

Baumart	Jahr	bis 60 Jahre			über 60 Jahre			GESAMT		
		0	1-4	2-4	0	1-4	2-4	0	1-4	2-4
Fichte	1999	76,0	24,0	3,8	13,6	86,4	21,9	64,7	35,3	7,1
	2000	72,6	27,4	5,0	17,8	82,2	23,5	60,8	39,2	9,1
	Veränd.	-3,4	3,4	1,2	4,2	-4,2	1,6	-3,9	3,9	2,0
Douglasie	1999	36,2	63,8	26,9	35,6	64,4	21,5	36,2	63,8	26,0
	2000	36,8	63,2	26,6	27,6	72,4	21,5	35,4	64,6	25,8
	Veränd.	0,6	-0,6	-0,3	-8,0	8,0	0,0	-0,8	0,8	-0,2
Kiefer	1999	46,5	53,5	0,0	15,0	85,0	8,3	23,3	76,7	6,1
	2000	37,1	62,9	1,1	11,4	88,6	16,2	18,2	81,8	12,3
	Veränd.	-9,4	9,4	1,1	-3,6	3,6	7,9	-5,1	5,1	6,2
Sonstige Nadelbäume	1999	32,4	67,6	5,6	35,9	64,1	5,5	33,3	66,7	5,6
	2000	29,9	70,1	2,5	44,5	55,5	10,6	33,4	66,6	4,4
	Veränd.	-2,5	2,5	-3,1	8,6	-8,6	5,1	0,1	-0,1	-1,2
Buche	1999	97,7	2,3	0,0	15,0	85,0	47,0	47,5	52,5	28,6
	2000	96,4	3,6	0,5	13,6	86,4	46,3	46,3	53,7	28,2
	Veränd.	-1,3	1,3	0,5	-1,4	1,4	-0,7	-1,2	1,2	-0,4
Eiche	1999	75,8	24,2	5,8	27,4	72,6	17,0	47,2	52,8	12,5
	2000	72,4	27,6	6,0	23,2	76,8	13,6	43,3	56,7	10,5
	Veränd.	-3,4	3,4	0,2	-4,2	4,2	-3,4	-3,9	3,9	-2,0
Sonstige Laubbäume	1999	64,1	35,9	8,8	44,9	55,1	6,4	60,5	39,5	8,4
	2000	78,7	21,3	5,1	60,6	39,4	10,1	75,2	24,8	6,0
	Veränd.	14,6	-14,6	-3,7	15,7	-15,7	3,7	14,7	-14,7	-2,4
Alle Baumarten	1999	71,1	28,9	5,2	21,9	78,2	24,6	49,3	50,7	13,7
	2000	71,4	28,6	4,7	20,9	79,2	24,8	48,7	51,3	13,7
	Veränd.	0,3	-0,3	-0,5	-1,0	1,0	0,2	-0,6	0,6	0,0

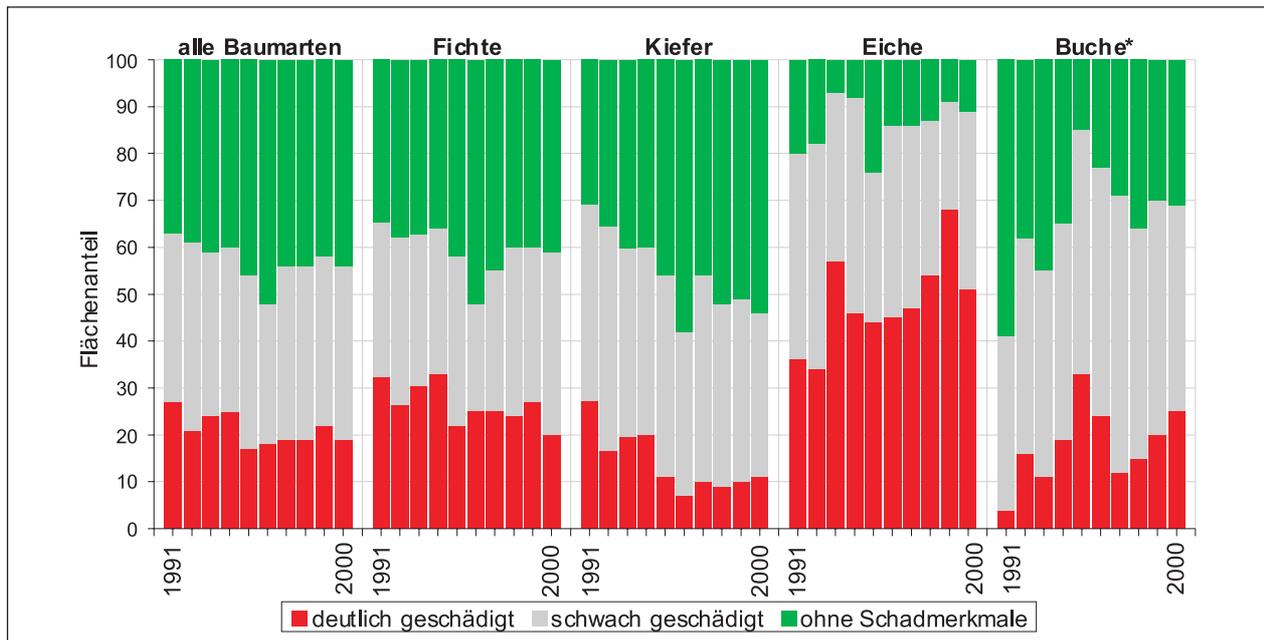
zeitige, warme Frühjahr nahm allerdings der Befall durch Borkenkäfer, speziell des Buchdruckers, zu.

- Bei der Kiefer (31,7 % der Waldfläche) sind die deutlichen Schäden mit 11 % ähnlich niedrig wie in den vorangegangenen fünf Jahren und damit deutlich schwächer ausgeprägt als Anfang der 90er-Jahre. In Nordwest-Sachsen weisen die Kiefern einen ungünstigeren Kronenzustand auf als in Ost-sachsen.
- Weiterhin extrem hoch ist das Schadniveau der Eiche (6,1 % der Waldfläche). Trotz eines geringen Rückgangs im Vergleich zu 1999 liegt der Flächenanteil deutlicher Schäden noch über 50 %. Die Eiche bleibt somit die am stärksten geschädigte Baumart in Sachsen. Der Einfluss von Fraßschäden auf den Belaubungszustand war in diesem Jahr unbedeutend.

– Der Anteil deutlicher Schäden an der Buche (2,8 % der Waldfläche) ist 2000 erneut angestiegen. Damit setzt sich der seit 10 Jahren beobachtete Trend fort. Das Erscheinungsbild älterer Buchen war in diesem Jahr zusätzlich von Fruchtanhang geprägt.

– Die Schadausprägung unterscheidet sich zwischen den einzelnen sächsischen Wuchsgebieten erheblich. Die höchsten Schäden treten im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland auf. Dort ist das Schadniveau inzwischen höher als im Erzgebirge und wird von den in diesem Gebiet dominierenden Laubbäumen bestimmt. Im großflächig mit Fichte bestockten Erzgebirge hat sich der Zustand des Waldes dagegen selbst in Gebieten, die in der Vergangenheit stark geschädigt waren, verbessert. Vergleichsweise günstig stellte sich das Erscheinungsbild der von Kiefern ge-

Abbildung 54: Entwicklung der Schadstufenanteile in Sachsen (1991 bis 2000)



prägen Wuchsgebiete Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland dar.

Der drastische Rückgang der Schwefelimmisionen hat insbesondere in den Waldökosystemen des Erzgebirges zu einer Abnahme der Gesamtsäurebelastung geführt. Demgegenüber sind die Stickstoffeinträge unverändert und deutlich zu hoch. Sie überschreiten weiterhin die langfristig tolerierbaren Eintragsraten.

Aufgrund der großflächig ausgeprägten Versauerung und des „Langzeitgedächtnisses“ der Waldböden vollzieht sich eine Stabilisierung der Waldökosysteme nur allmählich.

Die Basensättigung, die auf den meisten Standorten unterhalb von 15 % liegt, verdeutlicht die geringe Elastizität der Böden gegenüber Säurestress sowie den hohen Gefährdungsgrad durch Aluminiumtoxizität im Wurzelbereich. Jedoch konnte durch umfangreiche Kalkungsmaßnahmen zur Kompensation der Säurebelastung die Gefahr von Säurestress auf großer Fläche vermindert werden.

Einhergehend mit den verminderten SO<sub>2</sub>-Immissionen nahmen auch die Schwefelgehalte in den Nadeln und Blättern markant ab. Sie liegen zwar noch über dem Niveau in Schwefel-Reinluftgebieten, eine akute Gefährdung kann allerdings weitgehend ausgeschlossen werden. Mit Stickstoff-, Phosphor-, Kalzium- und Kalium sind die Bestände meist ausreichend und belastungsfrei ernährt. Labil ist dagegen die Magnesium-Versorgung von ungekalkten Fichtenbeständen in den sächsischen Mittelgebirgen.

### Sachsen-Anhalt

Die Waldschadenserhebung 2000 erfolgte im 4x4-km-Netz an 273 Erhebungspunkten mit insgesamt 6 552 Probestämmen.

Der Anteil deutlich geschädigter Bäume lag für den Gesamtwald bei 18 %. Im Vergleich zum Vorjahr entspricht das einem Anstieg um 3 %-Punkte. Nachdem sich seit 1996 die jährlichen Veränderungen bei den deutlichen Schäden im Bereich von +/- 1 %-Punkten bewegten, ist der Anstieg im zurückliegenden Jahr etwas stärker ausgefallen. Die Entwicklung des Kronenzustandes war allerdings auch im vergangenen Jahr bei den einzelnen Baumarten unterschiedlich – teils sogar gegenläufig. Das aktuelle Schadniveau der Baumarten ist äußerst differenziert. Der o.g. Anstieg deutlicher Schäden ist nahezu ausschließlich auf die Entwicklung der Laubbaumarten zurückzuführen. Die gravierendsten Veränderungen vollzogen sich bei Buche. In der Summe aller Altersbereiche nahm der Anteil deutlich geschädigter Buchen von 26 % im Vorjahr auf 51 % in diesem Jahr zu. Bei den über 60 Jahre alten Buchen verlief der Schadanstieg noch drastischer.

Hier stiegen die deutlichen Schäden um 34 %-Punkte auf 72 %. Damit wurde der schlechteste Kronenzustand der Buchen seit Beginn der Zeitreihe registriert. Die Buche ist mit diesem Ergebnis sowohl als Baumart insgesamt als auch unter den über 60-jährigen Bäumen die am stärksten geschädigte des Landes. Nach nur einjähriger Pause fruktifizierten die Buchen in diesem Jahr erneut sehr stark. 61 % der über 60-jährigen Bäume wiesen mittleren oder starken Fruchtbehang auf; weitere 23 % fruktifizierten gering. Diese im Ausmaß in etwa mit den Jahren 1992, 1995

und 1998 vergleichbare Fruktifikation ist mit hoher Wahrscheinlichkeit am Schadanstieg bei dieser Baumart beteiligt. In welchem Maße andere Faktoren (z. B. Trockenperioden im Sommer 1999 sowie im Frühjahr diesen Jahres, sehr früher Austrieb, Ozonspitzen) zusätzlich eine Rolle spielten, kann gegenwärtig nicht gesagt werden.

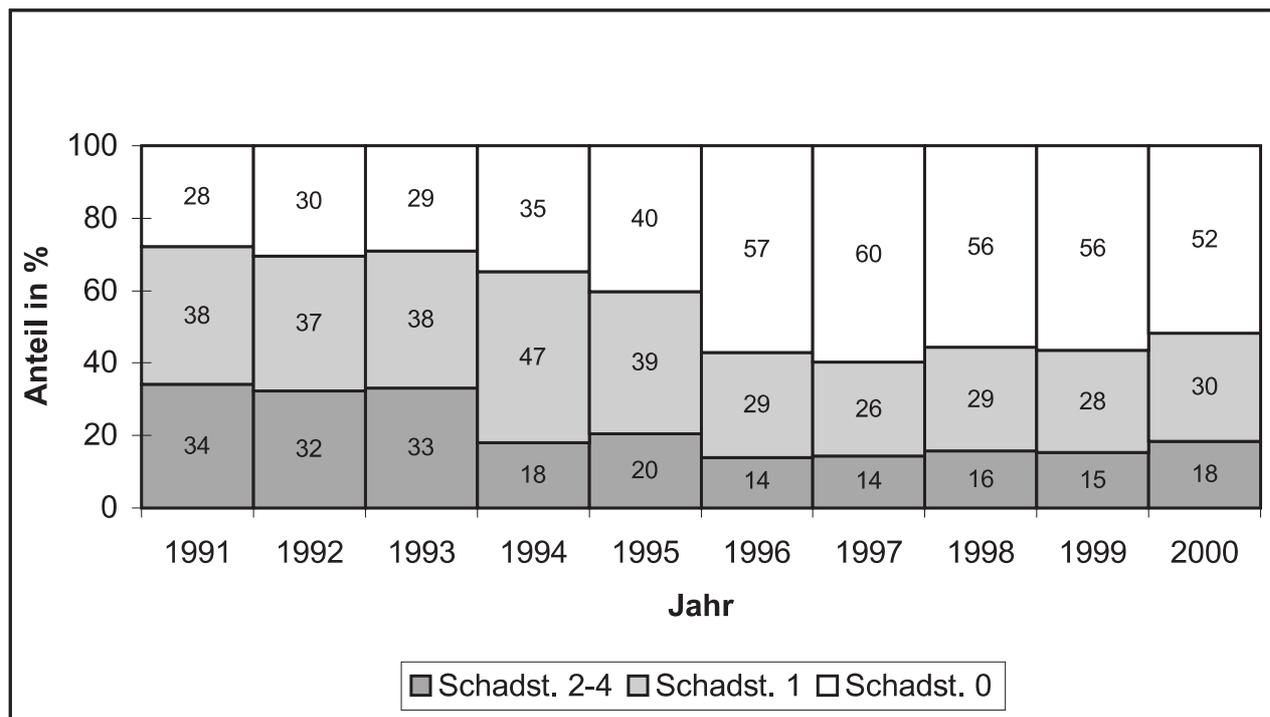
Bei den Eichen verschlechterte sich der Zustand der Altersgruppe über 60 Jahre. Die deutlichen Schäden stiegen auf 64 % – gegenüber 1999 eine Erhöhung um 6 %-Punkte. Die Eichenfraßgesellschaft (Eichenwickler, Frostspannerarten) trat das dritte Jahr hintereinander nur gering in Erscheinung. Mittlere und starke Fraßschäden waren praktisch ohne Bedeutung (1 %). Auch die Eichen fruktifizierten verbreitet mittel bis stark. Zahlenmäßige Vergleiche sind wegen der normalerweise schlechten Erfassbarkeit des Eichelanhanges zum Zeitpunkt der Waldschadenserhebung nicht sinnvoll. Das Anhalten des sog. Eichensterbens geht auch aus der Waldschutzberichterstattung des Landes hervor. Bekannt ist, dass dabei u. a. der Eichenprachtkäfer nach wie vor eine Rolle spielt. Über den konkreten Wirkungsanteil dieser sowie möglicher weiterer Faktoren ist im Rahmen der Waldschadenserhebung genau wie bei Buche keine Aussage möglich. Die mit ziemlich wenigen Probestämmen vertretene Gruppe der jüngeren (<= 60 Jahre) Eichen verbesserte im Gegensatz zur älteren Gruppe ihren Kronenzustand. Es nahm insbesondere der Anteil an Bäumen ohne sichtbare Schadmerkmale unter Verringerung der geringen Schäden (Warnstufe) zu. Diese Verbesserung ging einher mit einem Rückgang des Ausmaßes sowie der Intensität des

sichtbaren Eichenmehltaubefalles. Wegen der geringen Probebaumanzahl wirken sich in dieser Gruppe allerdings auch andere Faktoren (z. B. Wildverbiss) auf das jährliche Ergebnis stärker aus.

Die Kiefer nimmt ca. die Hälfte der Waldfläche ein und ist damit die für das Landesergebnis „gewichtige“ Baumart. Bei ihr stiegen die deutlichen Schäden um lediglich 1 %-Punkt an. Mit 5 % deutlich geschädigten Bäumen ist sie die mit Abstand am geringsten geschädigte Hauptbaumart des Landes und damit für das hinsichtlich des Gesamtergebnisses günstige Abschneiden Sachsen-Anhalts im Bundesvergleich verantwortlich. Der Rückgang des Anteiles nicht sichtbar geschädigter Kiefern über 60 Jahre um 6 %-Punkte steht möglicherweise im Zusammenhang mit örtlich begrenzter, vermutlich trockenstressbedingter Verfärbung (z. T. bereits Abwurf) des ältesten Nadeljahrganges ab Anfang August. Nadeln fressende Waldschädlinge an Kiefer waren im Landesmaßstab nicht von Bedeutung.

Betrachtet man die Gesamtheit aller Fichten sowie die Gruppe der bis 60-jährigen Bäume dieser Baumart, so bewegen sich die Veränderungen zum Vorjahr bei maximal 2 %-Punkten. Die Fichte ist gekennzeichnet durch große Unterschiede zwischen den Altersgruppen. Die bis 60-jährigen Bäume weisen mit 6 % deutlichen Schäden einen ebenso günstigen Kronenzustand auf wie die Kiefer. Trotz Verringerung des Anteiles deutlich geschädigter Bäume um 6 %-Punkte auf 49 % liegen die Schäden in der Altersgruppe über 60 Jahre noch immer sehr hoch. Ein ho-

Abbildung 55: Entwicklung der Schadstufenanteile in Sachsen-Anhalt (1991 bis 2000)



her Anteil der älteren Fichten hat intensiv (zumindest männlich) geblüht. Der Zapfenbehang war jedoch hinsichtlich des Anteiles fruktifizierender Bäume und insbesondere bezüglich der Intensität erheblich niedriger als 1998. Nadelfressende Insekten sowie der Borkenkäfer spielten an den Probestämmen keine Rolle.

**Schleswig-Holstein**

Die Waldschäden in Schleswig-Holstein nahmen in diesem Jahr geringfügig ab. Der Anteil der gesunden Bäume ohne Schadmerkmale hat von 39 % im Vorjahr auf 41 % zugenommen. Ein Teil der Bäume, die im vergangenen Jahr in der Warnstufe waren, sind in diesem Jahr ohne Schadmerkmale eingeschätzt worden. Bei den einzelnen Baumarten fallen aber deutliche Veränderungen bei den Buchen und Eichen auf. So zeigt sich eine erfreuliche Tendenz bei der Eiche. Diese hat den vor zehn Jahren einsetzenden Einbruch durch das Eichensterben, verbunden mit erheblichen Blattverlusten und Absterben, scheinbar überwunden. Allerdings bedeutet dieses Ergebnis noch keine Entwarnung. Die Buche hat sich dagegen deutlich verschlechtert. Klimaextreme und starke Fruktifikation haben die Buchen offensichtlich sehr geschwächt. Nach einer Konsolidierungsphase Anfang der 90er-Jahre mit einem leichten Rückgang der Schäden ist seit 1993 ein stetiger Anstieg der Waldschäden zu verzeichnen. Es zeigt sich, dass die extremen Witterungsverhältnisse der Jahre 1995 und 1996 keinen spürbaren Einfluss auf den damaligen Schadensverlauf hatten. Auch der für den Wald günstige Witterungsverlauf des Jahres 1999 führte zu keiner Verbesserung der Schadenssituation.

**Entwicklung in den Altersgruppen**

50 Prozent der über 60-jährigen Bäume werden einer der Schadstufen 2 bis 4 zugeordnet. Damit weist jeder zweite Baum über 60 Jahre deutliche Kronen- und Blattverluste

auf. Die erreichte Größenordnung bei der Altersgruppe über 60 Jahre macht das Ausmaß der Schäden überdeutlich. Bei den unter 60-jährigen Bäumen hat sich der Gesundheitszustand nicht verändert. Der Zustand der Kiefer, die im vergangenen Jahr auch in den jungen Altersklassen starke Vergilbungen aufwies, hat sich deutlich verbessert.

**Entwicklung bei den einzelnen Baumarten**

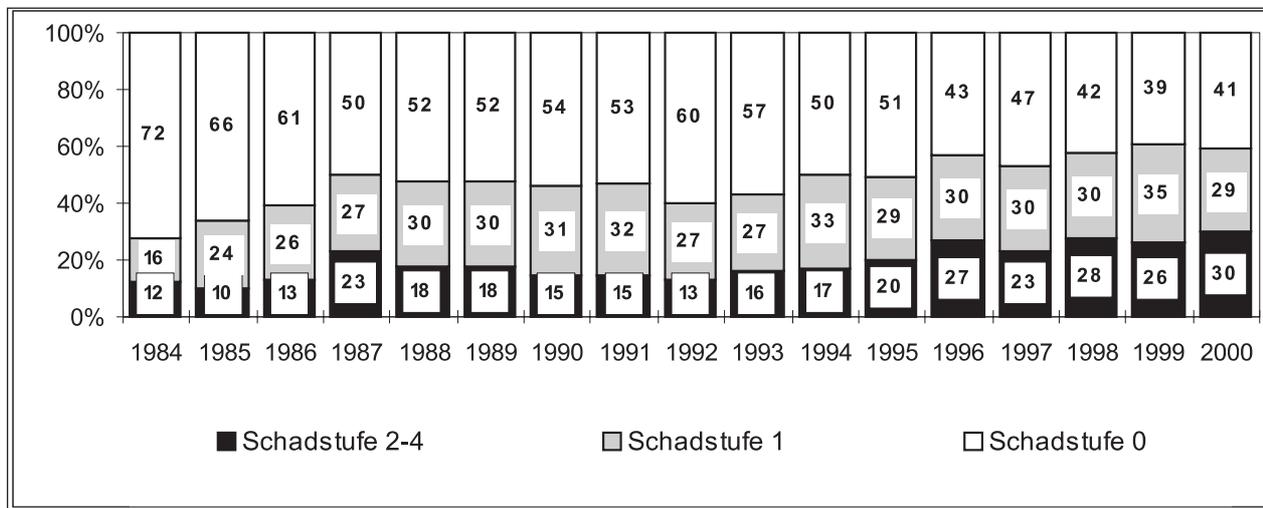
Der Zustand der Buchen hat sich in diesem Jahr deutlich verschlechtert. Während der Anteil der ungeschädigten Buchenkronen bei 29 Prozent stabil geblieben ist, hat der Anteil in der Warnstufe um 17 % zulasten der Schadstufen 2 bis 4 abgenommen. Der Anteil der geschädigten Buchen liegt jetzt bei 52 %. Damit ist nur noch jede zweite Buche gesund.

Der Zustand der Eiche hat sich in diesem Jahr deutlich verbessert. Nach einer vorübergehenden Besserung in den Jahren 1997 und 1998 fielen die Eichen im vergangenen Jahr auf das Niveau des Jahres 1996 zurück. In diesem Jahr zeigen die Eichen eine deutliche Verbesserung der Kronenentwicklung. Die Blattverluste in den Schadstufen 2 bis 4 fallen mit 24 % in diesem Jahr um 8 Prozent deutlich geringer aus als im Vorjahr. Bei den über 60-jährigen Eichen hat sich die Situation in den Schadstufen 2 bis 4 sogar um 15 % auf 37 % verbessert.

Seit 1993 steigt der Anteil der Fichten mit deutlichen Schäden. In diesem Jahr haben sich die Schäden auf dem hohen Niveau der beiden Vorjahre stabilisiert.

Die Kiefer bleibt auch weiterhin die am wenigsten geschädigte Hauptbaumart. In diesem Jahr hat sich der Zustand bei den deutlichen Schäden noch einmal verbessert. Die durch Vergilbung der Nadeln festgestellten Nadelverluste des Vorjahres haben sich halbiert. So sind nur noch 7 % der Kiefern in den Schadstufen 2 bis 4.

**Abbildung 56: Entwicklung der Waldschäden aller Baumarten in Schleswig-Holstein (1984 bis 2000)**



## Thüringen

Auch im Jahre 2000 erfolgte die Waldschadenserhebung in Thüringen als Vollstichprobe im 4 x 4 km-Raster mit 350 Stichprobenpunkten. Lediglich 1996 wurde die Waldschadenserhebung im 8 x 8 km-Raster durchgeführt. Die sich seit 1993 abzeichnende ganz allmähliche Verbesserung des Kronenzustandes hat sich auch in diesem Jahr fortgesetzt. Unbesehen baumarten- und altersspezifischer Unterschiede erbrachte die diesjährige Waldschadenserhebung das insgesamt beste Ergebnis seit Beginn der Waldschadenserhebung in Thüringen im Jahre 1991.

- Im Vergleich mit den anderen Bundesländern ist das Schadniveau dennoch hoch. Allerdings ging die mittlere Kronenverlichtung von 29,1 % im Jahre 1992 auf 20,2 % in diesem Jahr zurück (Abbildung 57).

### Mittlere Kronenverlichtung in Prozent von 1991 bis 2000 als Summe aller Baumarten

- Im gleichen Zeitraum haben die deutlichen Schäden (Schadstufen 2-4) von 53 % auf 28 % abgenommen. Der Anteil der ungeschädigten Bäume hat von 17 % im Jahre 1992 auf 30 % im Jahre 2000 zugenommen.

### Entwicklung der Schadstufenanteile als Summe aller Baumarten von 1991 bis 2000

- Hinsichtlich der einzelnen Baumarten/Baumartengruppen stellt sich die Entwicklung des Kronenzustandes wie folgt dar:

Die Fichte mit einem Waldflächenanteil in Thüringen von 48 % hat sich in ihrem Kronenzustand seit 1992 kontinuierlich verbessert. Unter den vier Hauptbaumarten weist sie die größte Anzahl der Bäume in der Schadstufe 0 auf. Sie hat die geringsten deutlichen Schäden.

Auch bei der Kiefer sind die deutlichen Schäden seit 1992 ständig zurückgegangen. Nach der Fichte hat die Kiefer den besten Kronenzustand.

Bei der Buche haben die deutlichen Schäden im Vergleich zum Vorjahr um 4 %-Punkte zugenommen. Damit bleibt die Buche die Hauptbaumart mit dem zweithöchsten Schadniveau.

Erfreulicherweise hat sich der Kronenzustand der Eiche in diesem Jahr verbessert. Dennoch ist die Eiche mit 43 % deutliche Schäden die Baumart mit den gravierendsten Schäden.

Bei den sonstigen Nadelbäumen (das sind vor allem Lärchen und Douglasien) und den sonstigen Laubbäumen (hier handelt es sich überwiegend um Eschen, Ahorne, Hainbuchen, Birken und Linden) haben die Schäden insgesamt weiter abgenommen.

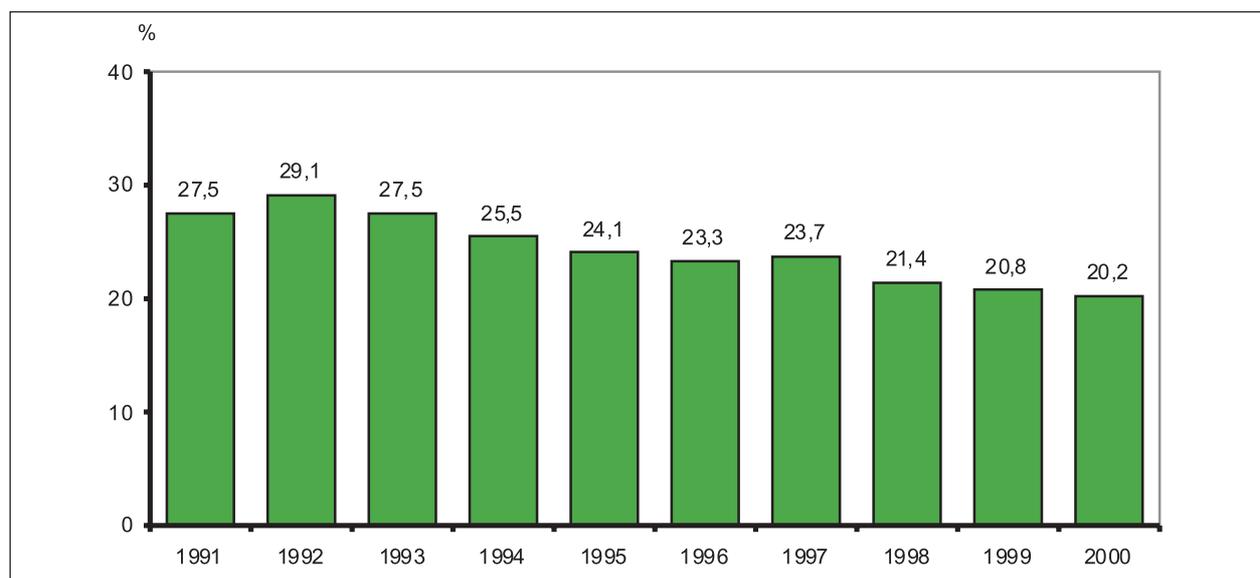
Bezogen auf die deutlichen Schäden, das sind Kronenverlichtungen über 25 %, ergibt sich bei den vier Hauptbaumarten folgende Rangfolge:

Eiche	43 %
Buche	39 %
Kiefer	27 %
Fichte	22 %

Damit bestätigt sich auch in Thüringen der allgemeine Trend, dass Laubbäume stärker geschädigt sind als Nadelbäume. 36 % aller Laubbäume weisen deutliche Schäden auf, bei den Nadelbäumen sind es nur 24 %.

Die Waldschadenserhebung belegt, dass ältere Bäume über 60 Jahre von Kronenverlichtungen wesentlich stärker betroffen sind als junge. Während der Flächenanteil deutlicher Schäden bei den jüngeren Bäumen (bis 60 Jahre) nur

**Abbildung 57: Mittlere Kronenverlichtung in Prozent von 1991 bis 2000 als Summe aller Baumarten in Thüringen (1991 bis 2000)**



11 % beträgt, sind dies bei den älteren Bäumen über 60 Jahre immerhin 39 %.

Die Vergilbung als Schadsymptom hat im Vergleich zum Vorjahr geringfügig abgenommen.

Vergilbung an mehr als 10 % der Nadeln/Blätter tritt an 4 % der Bäume auf (1991: 24 %, 1994: 8 %, 1998: 5 %). Fast die Hälfte davon sind Fichten. Eine Schadstufenerhöhung durch Vergilbung tritt nur in wenigen Fällen auf.

Die aktuell positive Entwicklung des Waldzustandes in Thüringen steht im Zusammenhang mit der insgesamt

nicht ungünstigen Witterung besonders für die Hauptbaumart Fichte und dem vergleichsweise geringen biotischen Schadgeschehen der letzten Jahre, aber selbstverständlich auch mit den Erfolgen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung. Hier gilt es, in den nächsten Jahren konsequent und nachhaltig die eingeschlagene Politik zu entschlossenen Maßnahmen der Luftreinhaltung fortzuführen. Während sich die Schwefeleinträge bereits deutlich verringert haben, überschreiten die Stickstoffeinträge das Maß dessen, was die Wälder langfristig verkraften können.

## V. Literatur

Weitergehende Informationen enthält folgende Literatur:

- BOSSHARD, H., (1984): Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Holzkunde Band 2: Birkhäuser Verlag, Basel.
- BRECHTEL, H.-M. et al., EC/UNEP (1989): Interim Report on Cause-Effect Relationships in Forest Decline. Global Environment Monitoring System 1991. Geneva.
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (1999): Forschung für den Wald – Berichte der ökologischen Forschung. Bonn.
- BML (1993): Terrestrische Waldschadenserhebung – Aufgaben, Methoden, Stellenwert, 32 Seiten. Bonn.
- BML (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE), Arbeitsanleitung. Bonn. (vergriffen)
- BML (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald Level II – Erste Ergebnisse. Bonn.
- BML (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald Level II – Methodenleitfaden. Bonn.
- BML (1999): Bericht über den Zustand des Waldes 1999 – Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitoring, 175 Seiten. Bonn.
- BML (1999): Level II-Dauerbeobachtungsflächen (Faltblatt). Bonn
- BURSCHEL, P., (1966): Untersuchungen in Buchenmastjahren. Forstwissenschaftliches Centralblatt 85. Jg., Nr. 7/8, 204–219.
- Forschungsbeirat Waldschäden/Luftverunreinigungen (Hrsg.); (1989): 3. Bericht. Karlsruhe.
- DE VRIES, W. et al., EC-UN/ECE (1998): Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report 1997. EC-UN/ECE, Brussels, Geneva.
- LUSCHER, D., (1990): Die Blütenbildung bei Bäumen und ihre Auswirkung auf die Struktur der Krone: IV. Die Buche. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 141. Jg., 147–154.
- MÜLLER-EDZARDS, ET AL., EC and UN/ECE (1997): Ten Years of Monitoring Forest Condition Europe: Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impacts of Natural and Anthropogenic Stress Factors. Technical Report. EC and UN/ECE. Brussels, Geneva, 350 p.
- STEFAN, K. ET AL., EC-UN/ECE (1997): Forest Foliar Condition in Europe – Results of large-scale foliar chemistry surveys (survey 1995 and data from previous years). EC-UN/ECE-FBVA, Brussels, Geneva, Vienna.
- VANMECHELEN, L. ET AL., EC and UN/ECE (1997): Forest Soil Condition Report. Technical Report. EC and UN/ECE, Brussels, Geneva.
- LORENZ, M. ET AL., EC and UN/ECE (1998): Forest Condition in Europe. Technical Report. EC and UN/ECE, Brussels, Geneva.
- RIEK, W.; WOLFF B. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996, BML (Hrsg.). Bonn.
- RIEK, W.; WOLFF, B. (1998): Integrierende Auswertung bundesweiter Waldzustandsdaten, Zwischenbericht, 85 S. Eberswalde.
- UN/ECE (1998a): Manual on Methodologies and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. 4th edition. Hamburg.
- UN/ECE und EC (2000): Der Waldzustand in Europa – Kurzbericht 2000. Genf und Brüssel, 37 Seiten.

## VI. Verzeichnis der Karten und Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung der Schadstufenanteile für alle Baumarten .....	9
Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für alle Baumarten...	9
Abbildung 3: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten...	10
Abbildung 4: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Fichte .....	10
Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung der Baumart Fichte ...	11
Abbildung 6: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Fichte .....	11
Abbildung 7: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Fichte .....	12
Abbildung 8: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Kiefer.....	12
Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Kiefer.....	13
Abbildung 10: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Kiefer .....	14
Abbildung 11: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Kiefer .....	14
Abbildung 12: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Buche.....	15
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Buche.....	16
Abbildung 14: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Buche.....	16
Abbildung 15: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Buche .....	17
Abbildung 16: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Eiche.....	18
Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung bei der Baumart Eiche.....	18
Abbildung 18: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung bei Eiche.....	19
Abbildung 19: Entwicklung der deutlichen Schäden nach Altersgruppen für die Baumart Eiche .....	19
Abbildung 20: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Gruppe der „anderen Nadelbäume“ .....	20
Abbildung 21: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Gruppe der „anderen Laubbäume“ .....	20
Abbildung 22: Mittlere Kronenverlichtung im Jahr 2000 je Stichprobenpunkt für alle Baumarten.....	21
Abbildung 23: Schadstufenverteilung bei Buche für unterschiedliche Intensitäten der Fruktifikation.....	22
Abbildung 24: Anteil deutlicher Schäden und Stichprobenfehler im Jahr 2000 .....	23
Abbildung 25: Entwicklung der atmosphärischen Einträge für einen Fichtenbestand an der Level II – Fläche Elberndorf.....	27
Abbildung 26: Entwicklung der pH-Werte >5 im Freilandniederschlag an Waldmessstationen in Nordrhein – Westfalen .....	28
Abbildung 27: Depositionsmessungen für Schwefel auf Level II-Dauerbeobachtungsflächen (1997/1998).....	29
Abbildung 28: Stickstoffeinträge und Ammonium/Nitratverhältnis an den deutschen Level II-Dauerbeobachtungsflächen (TD N = Stickstoffgesamteintrag, TF NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub> -N = Ammonium/Nitratverhältnis) .....	30
Abbildung 29: Beispiel der Zusammensetzung der Bodenlösung aus zwei verschiedenen Tiefen für einen „nicht versauerten“ Waldboden (Level II-Fläche 706).....	32

Abbildung 30: Beispiel der Zusammensetzung der Bodenlösung aus zwei verschiedenen Tiefen für einen „anthropogen versauerten“ Waldboden (Level II-Fläche 702).....	32
Abbildung 31: Gegenüberstellung von basischen Kationen (Bc)- und Aluminiumgehalten in der Bodenlösung des unteren Wurzelraumes an den deutschen Level II-Standorten. Die Isolinien kennzeichnen Bc/Al-Bereiche mit hohem Aluminiumstressrisiko: Kiefer < 0,1 , Fichte < 0,4 , Buche < 0,6.....	33
Abbildung 32: Beziehung der Ca-Blattgehalte zu den Ca-Konzentrationen der Bodenlösung im Wurzelraum für die Baumart Buche .....	34
Abbildung 33: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher N- Versorgung, Vergleich verschiedener Hauptbaumarten und Monitoringprogramme (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996 ); Diagnose auf der Grundlage von Nadel-, Blattanalysen (1-jähr. Nadeln bei Fichte und Kiefer).....	36
Abbildung 34: Stickstoffgehalte in jüngsten Fichtennadeln bayerischer Level II-Standorte; Untersuchungsfläche Altötting und Durchschnitt mehrerer Standorte; Jahreswerte und Trend .....	36
Abbildung 35: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher Mg- Ernährung, Vergleich verschiedener Hauptbaumarten und Monitoringprogramme (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996 ); Diagnose auf der Grundlage von Nadel-, Blattanalysen (1-jähr. Nadeln bei Fichte und Kiefer).....	37
Abbildung 36: Anteil der Bestände mit unterschiedlicher Schwefel-Belastung, Vergleich der Baumart Fichte und Kiefer in versch. Monitoringprogrammen (BZE – zw. 1987 bis 1996 einmalig erhoben/Level II-1995/1996 ); Diagnose auf der Grundlage von Nadelanalysen 1-jähr. Nadeln. ....	38
Abbildung 37: Anteil mittel und stark fruktifizierender Buchen auf Dauerbeobachtungsflächen der Länder Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein in den Jahren 1989 bis 1999. ....	39
Abbildung 38: Entwicklung des mittleren Blattverlustes bei zunehmender Häufigkeit mittlerer und starker Fruktifikation. Datengrundlage: Dauerbeobachtungsflächen der Länder Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein 1989 bis 1999 .....	40
Abbildung 39: Organisation des forstlichen Umweltmonitorings auf europäischer Ebene (vereinfacht dargestellt).....	42
Abbildung 40: Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustes bei den Hauptbaumarten Europas .....	43
Abbildung 41: Schadstufen 0-1 und 2-4 sowie Stichprobenfehler in Baden-Württemberg (SST 2-4 = Schadstufen 2 bis 4, SST 0-1 = Schadstufe 0 und 1).....	53
Abbildung 42: Entwicklung des Kronenzustandes in Bayern .....	54
Abbildung 43: Waldschadensentwicklung in Berlin (1992 bis 2000) – Angaben in Prozent.....	54
Abbildung 44: Waldschadensentwicklung in Brandenburg (1991 bis 2000) – Angaben in Prozent. ....	55
Abbildung 45: Ergebnis der Stoffbilanzierung der Brandenburger Level II-Standorte (Kiefer):.....	56
Abbildung 46: Verlauf des Kreisflächenzuwachs anhand von 14-tägigen Dendrometermessungen an der DBF 1204 1997-1999 (Fläche) im Vergleich zum Verlauf der Bodenfeuchte (Linie) und der Niederschlagsmenge.....	56
Abbildung 47: Vitalitätsentwicklung der Waldbestände im Bundesland Bremen (1988 bis 2000).....	57

---

Abbildung 48: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten in Hessen.....	58
Abbildung 49: Entwicklung der Schadstufenanteile in Mecklenburg-Vorpommern.	59
Abbildung 50: Flächenanteile der Schadstufen in Niedersachsen (1984 bis 2000) ...	60
Abbildung 51: Entwicklung der Schadstufenanteile bei den Hauptbaumarten (Alter über 60 Jahre) in Prozent in Niedersachsen (1984 bis 2000).....	60
Abbildung 52: Entwicklung der deutlichen Schäden für die Fichte (über 60 Jahre) im Harz und für das Land Niedersachsen.....	61
Abbildung 53: Entwicklung der Schadstufenanteile in Nordrhein-Westfalen.....	62
Abbildung 54: Entwicklung der Schadstufenanteile in Sachsen (1991 bis 2000)....	65
Abbildung 55: Entwicklung der Schadstufenanteile in Sachsen-Anhalt (1991 bis 2000).....	66
Abbildung 56: Entwicklung der Waldschäden aller Baumarten in Schleswig-Holstein (1984 bis 2000). .....	67
Abbildung 57: Mittlere Kronenverlichtung in Prozent von 1991 bis 2000 als Summe aller Baumarten in Thüringen (1991 bis 2000) .....	68

## VII. Glossar

Basen	Basen sind die Nährstoffe Kalzium-, Magnesium-, Kalium- und Natrium.
Bestand	Abgrenzbare Waldfläche, die sich in Struktur, Alter und Baumartenzusammensetzung von angrenzenden Flächen unterscheidet.
Bioindikatoren	Organismen, die auf bestimmte äußere Einflüsse reagieren und deshalb zum Nachweis von Schadstoffen in Luft, Wasser oder dem Boden dienen.
Biomasse	Gesamtheit der Organismen eines Lebensraumes.
Bodenacidität	Verhältnis von Säuren zu Basen im Boden. Bei hoher Acidität herrschen die Säuren vor.
Bodenzustandserhebung (BZE)	Auf dem Stichprobennetz (⇔ Level I-Monitoring) durchgeführte Untersuchung des Waldbodens und des Ernährungszustandes der Waldbäume. Die erste Bodenzustandserhebung wurde im Zeitraum 1987 und 1993 durchgeführt. Eine bundesweite Wiederholung dieser Erhebung ist in Vorbereitung. Teil des ⇔ forstlichen Umweltmonitoring.
Critical Loads	Schwellenwert für Schadstoffeinträge, bei dem nach bisherigem Wissen noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme in Struktur und Funktion zu erwarten sind.
Deposition	Eintrag in ein ⇔ Ökosystem (z. B. Eintrag von Schadstoffen durch die Luft und mit dem Regen in ein Waldökosystem).
Emission	Ausstoß (z. B. von Schadstoffen) in die Luft.
Eutrophierung	Nährstoffüberangebot, das unerwünschte Auswirkungen (z. B. Beeinträchtigungen des Nährstoffgleichgewichtes) haben kann.
forstliches Umweltmonitoring	Überwachung des Waldzustandes mit dem Ziel, Schäden und andere Veränderungen der Waldökosysteme frühzeitig zu erkennen, um im Bedarfsfall geeignete Maßnahmen zum Schutz des Waldes zu treffen. Es umfasst das ⇔ Level I-Monitoring, das á Level II-Monitoring und die á Waldökosystemforschung.
Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung	Angabe der in 5 %-Stufen angesprochenen á Kronenverlichtung nach ihrer Häufigkeit. Sie lässt erkennen, ob viele Bäume im Bereich der Schadstufengrenzen liegen.
Hiebsatz	Bei der betrieblichen Planung für einen Forstbetrieb festgelegte Holzmenge, die in einer bestimmten Zeitperiode nachhaltig genutzt werden soll.

Immission	Einwirkung (z. B. von Schadstoffen) auf die Umwelt.
Integrierende Auswertungen	Verknüpfungen der auf dem Stichprobennetz erhobenen Daten (⇒ Waldschadenserhebung, ⇒ Bodenzustandserhebung und ⇒ Nadel-/Blattanalysen sowie ⇒ Level II) mithilfe mathematisch-statistischer Methoden. Bei diesen Untersuchungen werden – soweit möglich – auch Daten anderer Messnetze (z. B. Klima, Schadstoffeinträge) einbezogen.
Kationensäuren	Eisen- und Aluminiumionen.
Kronenverlichtung	Im Rahmen der ⇒ Waldschadenserhebung eingeschätzter Verlust/Minderaustrieb von Nadeln und Blättern an Waldbäumen. Zunehmende Kronenverlichtung ist ein Alarmsignal, das eine Gefährdung der Wälder anzeigt.
Level I-Monitoring	Überwachung des Waldzustandes auf dem flächendeckenden, systematischen Stichprobennetz mit repräsentativen Ergebnissen für den gesamten Wald. Das Level I-Monitoring umfasst die jährliche ⇒ Waldschadenserhebung, die ⇒ Bodenzustandserhebung und Untersuchungen des Ernährungszustandes der Waldbäume (⇒ Nadel-/Blattanalysen). Teil des ⇒ forstlichen Umweltmonitoring.
Level II-Monitoring	Intensive Untersuchungen des Waldzustandes an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Fallstudien) zur Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Wald-Ökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren. Teil des ⇒ forstlichen Umweltmonitoring.
Mittlere Kronenverlichtung	Mittelwert der in 5 %-Stufen eingeschätzten ⇒ Kronenverlichtung der Einzelbäume.
Nadel-/Blattanalysen	Im Rahmen der ⇒ Bodenzustandserhebung im Wald durchgeführte Analysen der Elementgehalte von Nadeln und Blättern zur Bestimmung des Ernährungszustandes der Waldbäume.
Nadel-/Blattspiegelwerte	Nährstoffgehalte in Nadel bzw. Blättern.
Nadel-/Blattverlust	⇒ Kronenverlichtung
Neuartige Waldschäden	Seit Ende der 70er-Jahre an allen Baumarten beobachtete Waldschäden, die im Gegensatz zu den früher beobachteten so genannten ⇒ Rauchschäden großflächig und auch fernab von Industrieanlagen auftreten. Eine Schlüsselrolle bei den Einflussfaktoren spielen Luftschadstoffe.
Ökosystem	Beziehungsgefüge von Lebewesen untereinander und mit ihrer Umwelt.
Perzentilbereich	Bereich einer Häufigkeitsverteilung. So liegen z. B. 75 % aller gemessenen Werte innerhalb des 75-Perzentil. Perzentilbereiche werden als relativer Bewertungsmaßstab verwandt.
Pufferung	Fähigkeit (z. B. von Waldböden), den ⇒ pH-Wert trotz Zufuhr von Säuren oder Basen durch chemische Prozesse konstant zu halten.

---

Rauchschäden	Bereits in früheren Jahrhunderten in der Nähe von Industrieanlagen, vornehmlich Hüttenwerken, beobachtete Waldschäden, die auf schwefelhaltige Abgase (z. B. Schwefeldioxid) zurückgeführt wurden.
Sickerwasser	Wasser, das sich im Boden der Schwerkraft folgend bewegt.
Stoffbilanz	Gegenüberstellung von Stoffaus- und Stoffeinträgen eines Systems.
Transnationales Stichprobennetz	Für die Überwachung des Waldzustandes auf europäischer Ebene eingerichtetes Stichprobennetz, das derzeit 35 Staaten mit einem grenzüberschreitenden 16 x 16 km-Raster überzieht. ⇨ Level I-Monitoring.
Waldschadenserhebung (WSE)	Jährlich auf dem Stichprobennetz (⇨ Level I-Monitoring) durchgeführte Ansprache der ⇨ Kronenverlichtung und der Vergilbung von Nadeln und Blättern an Waldbäumen. Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung dienen als Weiser für die Vitalität der Wälder. Teil des á forstlichen Umweltmonitoring.







