

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Waldzustandsbericht der Bundesregierung 1997 – Ergebnisse der Waldschadenserhebung –

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>Kurzfassung</b> .....	6
<b>1. Aktuelle Situation der Forstwirtschaft</b> .....	11
1.1 Nationale Aspekte .....	11
1.2 Internationale Aspekte .....	11
<b>2. Konzept des Umweltmonitorings im Wald</b> .....	13
2.1 Derzeitiges Verfahren .....	13
2.2 Empfehlungen der Expertengruppe .....	14
2.3 Weiteres Vorgehen .....	15
<b>3. Waldzustand in Deutschland</b> .....	16
3.1 Waldschadenserhebung – Methodik .....	16
3.1.1 Der Kronenzustand als Vitalitätsweiser .....	16
3.1.2 Verfahren der Waldschadenserhebung .....	17
3.1.3 Erhebungsdichte 1997 .....	18
3.2 Waldschadenserhebung – Ergebnisse 1997 .....	18
3.2.1 Bundesübersicht .....	18
3.2.2 Hauptbaumarten .....	19
3.2.3 Alter .....	32
3.2.4 Vergilbung .....	32

3.2.5	Ersatz von Stichprobenbäumen .....	33
3.2.6	Wuchsgebiete .....	33
3.2.7	Länder und Ländergruppen .....	37
3.2.8	Einflüsse auf den Kronenzustand 1997 .....	45
3.2.8.1	Witterung .....	45
3.2.8.2	Schädlingsbefall/Waldschutzumfrage .....	46
3.3	Mittlerer Nadelverlust als beispielhafte Auswertung von Daten der Waldschadenserhebung – Beispiel aus Bayern .....	48
3.4	Waldbodenzustand .....	49
3.4.1	Durchführung der Bodenzustandserhebung .....	49
3.4.2	Ergebnisse .....	49
3.5	Elementgehalte in Nadeln und Blättern der Waldbäume .....	53
3.6	Waldschadensmonitoring auf Dauerbeobachtungsflächen (sog. Level II-Programm) .....	56
3.6.1	Ziele des Level II-Programms .....	56
3.6.2	Umfang des Meßprogramms .....	57
3.6.3	Erste Ergebnisse .....	59
3.6.4	Intensive Auswertung einer Dauerbeobachtungsfläche – Solling .....	61
3.6.5	Ausblick .....	64
3.7	Ergebnisse der Waldforschung .....	64
3.7.1	Waldökosystemforschung .....	64
3.7.1.1	Ausgewählte Ergebnisse des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen zum Zustand und zur wei- teren Entwicklung der Wälder .....	65
3.7.1.2	Ausgewählte Ergebnisse des Bayreuther Instituts für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) zum Zu- stand und zur weiteren Entwicklung der Wälder .....	67
3.7.2	Integrale Auswertung von Bodenzustand, Kronenzustand und anderen Parametern .....	68
3.7.2.1	Stratifizierung nach Alter und Boden .....	68
3.7.2.2	Beziehung zwischen Bodenkennwerten, Magnesiumer- nährung und Kronenzustand .....	69
3.7.3	Ergebnisse der Ursachenforschung .....	72
3.7.3.1	Oberirdischer Wirkungspfad: Einwirkung von Schad- gasen auf die Blattorgane .....	73
3.7.3.2	Unterirdischer Wirkungspfad: Eintrag von Schadstoffen in den Waldboden .....	73
3.8	Zusammenfassende Bewertung .....	76
<b>4.</b>	<b>Der Waldzustand in Europa .....</b>	<b>78</b>
<b>5.</b>	<b>Maßnahmen .....</b>	<b>86</b>
5.1	Luftreinhaltung .....	86
5.1.1	Nationale Maßnahmen zur Minderung der Emissionen .....	86
5.1.2	Maßnahmen im internationalen Bereich .....	90
5.1.3	Ergebnisse der Maßnahmen .....	91

5.1.4	Höhe und Entwicklung von Stoffeinträgen in Waldökosysteme	93
5.1.5	Schwerpunkte für künftige Maßnahmen	95
5.2	Flankierende forstliche Maßnahmen	96
5.2.1	Fördermittel für flankierende forstliche Maßnahmen	96
5.2.2	Steuerliche Erleichterungen	97
5.2.3	Stabile Waldbestände durch Beachtung waldbaulicher Grundsätze	97
5.2.4	Schutz der Waldböden	98
5.2.5	Erhaltung forstlicher Genressourcen	99
5.3	Waldschadensforschung/Waldökosystemforschung und -monitoring	99
<b>6.</b>	<b>Anhang</b>	<b>101</b>

### Verzeichnis der im Text enthaltenen Tabellen, Abbildungen und Karten

#### Tabelle

1:	Herleitung der Schadstufen in Abhängigkeit von Kronenverlichtung und Vergilbung der Belaubung	17
2:	Waldschadenserhebung 1997 – Schadstufenverteilung der ausgefallenen Einzelbäume und ihrer Ersatzbäume	33
3:	Kenngrößen der Mg-Versorgungsgruppen	71
4:	Entwicklung der Emissionen von Luftschadstoffen in der Bundesrepublik Deutschland (D) und der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) in Mio. t	92
5:	Die Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen aufgrund „Neuartiger Waldschäden“ im Privat- und Kommunalwald aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ durch Bund und Länder (in Mio. DM)	97
6:	Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung zur Stabilisierung von Waldökosystemen gegen atmogene Säureeinträge	98

#### Abbildung

1:	Entwicklung der Waldschäden in Deutschland von 1991 bis 1997	19
2:	Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten	19
3:	Entwicklung der Waldschäden bei der Fichte	20
4:	Entwicklung der Waldschäden bei der Kiefer	23
5:	Entwicklung der Waldschäden bei der Buche	26
6:	Entwicklung der Waldschäden bei der Eiche	29
7:	Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten und Altersgruppen in Deutschland	32
8:	Entwicklung der deutlichen Waldschäden in den Ländergruppen; alle Baumarten	37
9:	Entwicklung der Waldschäden in den nordwestdeutschen Ländern	40
10:	Entwicklung der Waldschäden in den ostdeutschen Ländern	42
11:	Entwicklung der Waldschäden in den süddeutschen Ländern	44
12:	Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentes 1984 bis 1997 bei der Baumart Fichte	48

13: Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Fichte .....	48
14: Zeitreihe für Fichte .....	49
15: Aktuelle C/N-Verhältnisse und pH-Werte der Humusformen (Median, 10-, 90-Perzentil) sowie Beziehungen zwischen C/N und pH aus den 60er bzw. 70er Jahren nach Literaturangaben .....	52
16: Stickstoffquotienten und Elementgehalte von <i>Fichtennadeln</i> .....	54
17: Stickstoffquotienten und Elementgehalte von <i>Kiefernadeln</i> an ausgewählten Bodenzustandserhebungs-Probenpunkten .....	55
18: Gegenüberstellung der S-Gehalte des 1. und 3. Nadeljahrgangs von <i>Fichten</i> (n = 600) und Bereich natürlicher S-Gehalte .....	56
19: Gegenüberstellung der S-Gehalte des 1. und 2. Nadeljahrgangs von <i>Kiefern</i> (n = 93) und Bereich natürlicher S-Gehalte .....	56
20: Entwicklung der atmosphärischen Einträge (Gesamtdeposition) von Sulfat-Schwefel (SO <sub>4</sub> -S), Calcium (Ca) und Gesamt-Stickstoff (Nges) in einem Fichtenbestand im Solling .....	62
21: Entwicklung der Konzentrationen von Aluminium (Al), Calcium (Ca), Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N) und Sulfat-Schwefel (SO <sub>4</sub> -S) in der Bodenlösung (–90 cm) in einem Fichtenbestand im Solling .....	62
22: Entwicklung der Vorräte austauschbarer Neutralkationen (Ca, Mg, K, Na) im Mineralboden (0–50 cm) eines Fichtenbestandes im Solling .....	63
23: Entwicklung der Magnesiumgehalte in diesjährigen Nadeln in einem Fichtenbestand im Solling .....	63
24: Anteile der Schadstufen 2–4 [ %] von Nadel- und Laubbaumarten (ohne Altersdifferenzierung), stratifiziert nach Substratgruppen .....	69
25: Schematische Darstellung von Wirkungszusammenhängen in Wäldern ..	69
26: Darstellung der relativen Gruppenähnlichkeit .....	70
27: Beziehung zwischen Basensättigung (BS) im Oberboden sowie S-Nadelspiegelwerte und Kronenzustand von Fichten .....	72
28: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte der europäischen Bodenzustandserhebung .....	84
29: Stickstoff- und Magnesiumkonzentrationen (mg/g) in 1jährigen Fichtennadeln .....	84
30: Rückgang der Emissionen aus Großfeuerungsanlagen in den alten Ländern von 1983 bis 1994 (in Mio. t/Jahr). .....	86
31: Rückgang der Emissionen aus Großfeuerungsanlagen in den neuen Ländern von 1990 * bis 2001 ** (in Mio. t/Jahr) .....	87
32: Anstieg des geregelten Katalysators in Deutschland .....	87
33: Anteil bleifreien Benzins am Gesamtabsatz von Ottokraftstoff in ausgewählten Ländern der Europäischen Union 1995 .....	87
34: Anstieg des bleifreien Benzins in Deutschland .....	87
35: Entwicklung der Deposition von Sulfatschwefel in einem Fichtenbestand (Kronentraufe) im Solling .....	93
36: Entwicklung der Stickstoffdeposition in einem Fichtenbestand (Kronentraufe) im Solling .....	94
37: Potentielle Azidität – Flächenanteil der Critical Loads-Überschreitungsklassen in Waldgebieten, 1989 und 1993 .....	95
38: Eutrophierender Stickstoff – Flächenanteil der Critical Loads Überschreitungsklassen in Waldgebieten, 1989 und 1993 .....	95

**Karte**

1: Waldschäden an Fichte in den Wuchsgebieten .....	21
2: Änderung der Waldschäden an Fichte in den Wuchsgebieten .....	22
3: Waldschäden an Kiefer in den Wuchsgebieten .....	24
4: Änderung der Waldschäden an Kiefer in den Wuchsgebieten .....	25
5: Waldschäden an Buche in den Wuchsgebieten .....	27
6: Änderung der Waldschäden an Buche in den Wuchsgebieten .....	28
7: Waldschäden an Eiche in den Wuchsgebieten .....	30
8: Änderung der Waldschäden an Eiche in den Wuchsgebieten .....	31
9: Waldschäden in den Wuchsgebieten 1997, alle Baumarten .....	35
10: Waldschäden in den Wuchsgebieten, Veränderung seit 1991, alle Baumarten .....	36
11: Anteil der deutlichen Schäden in den Ländern 1997 .....	38
12: Trend der deutlichen Schäden in den Ländern seit 1991 .....	39
13: pH-Werte* in 0–10 cm Tiefe .....	51
14: Level II-Flächen in Deutschland .....	58
15: Deposition auf Level II-Flächen .....	60
16: Entwicklung des Nadel-/Blattverlustes in Europa von 1992–1996 .....	79
17: Kronenzustand in 1996 und Schwefeleinträge .....	81
18: Geographische Verteilung der pH-Werte im obersten Mineralboden ...	83

## Kurzfassung

### I. Bedeutung des Waldes und forstpolitische Ziele der Bundesregierung

In Deutschland ist ein Drittel der Landesfläche bewaldet. Der Wald erfüllt **unverzichtbare Funktionen** für Wirtschaft, Natur und Gesellschaft.

Unser Wald

- ist Erwerbs- und Einkommensquelle für zahlreiche Menschen, insbesondere im ländlichen Raum,
- liefert den umweltfreundlichen nachwachsenden Rohstoff Holz,
- speichert Kohlendioxid,
- reguliert den Wasserhaushalt und trägt zur Grundwasserneubildung bei,
- schützt den Boden vor Erosion und verhindert Geröll- und Schneelawinen im Gebirge,
- ist Lebensraum für viele Pflanzen und Tiere und damit ein wichtiger Faktor beim Erhalt der biologischen Vielfalt,
- bietet dem Menschen vielfältige Möglichkeiten für Entspannung und Erholung.

Angesichts dessen ist es das zentrale **Ziel der Forstpolitik** der Bundesregierung, die Funktionsfähigkeit der Wälder auf Dauer zu erhalten und zu verbessern. Um dies zu erreichen, ist eine wirtschaftliche Nutzung des Waldes unerlässlich. Es kommt deshalb darauf an, die Leistungsfähigkeit der Forstbetriebe zu stärken und die Wettbewerbsfähigkeit des Rohstoffes Holz zu verbessern.

Die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegen schädigende Einflüsse muß erhöht werden.

Um die forstpolitischen Ziele zu erreichen, ist es auch erforderlich, die Belastung der Wälder mit Luftverunreinigungen zu verringern. Die Bundesregierung hat hierzu seit 1982 eine Reihe von Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene durchgesetzt. Sie sind insbesondere darauf gerichtet, die Luftschadstoffe mit ihrer Schlüsselrolle für die „Neuartigen Waldschäden“ zu reduzieren. Diese Politik hat auch für die Zukunft hohe Priorität.

Der Waldzustandsbericht gibt für das Bundesgebiet einen Überblick über das Ausmaß und die Entwicklung der „Neuartigen Waldschäden“, bewertet die Situation in den Waldökosystemen unter den vielfältigen und komplexen Einflüssen der Umwelt und stellt die Maßnahmen der Bundesregierung dar.

### II. Konzept des Umweltmonitorings im Wald

Die jährliche Waldschadenserhebung liefert in Verbindung mit anderen Übersichtserhebungen wie der Bodenzustandserhebung im Wald, dem intensiven Monitoring auf Dauerbeobachtungsflächen und der Waldökosystemforschung die notwendigen Daten für eine Überwachung der aktuellen Situation der Wälder und der „Neuartigen Waldschäden“. Die kontinuierliche Erhebung dient zugleich als wichtige Grundlage für Forst- und Umweltpolitik.

Die Beobachtung und Bewertung von Zustand und Entwicklung der Wälder (Umweltmonitoring im Wald) ist ein wesentlicher Bestandteil der Umweltvorsorge.

Das derzeitige Umweltmonitoring im Wald ruht auf mehreren Säulen:

- Ein systematisches, ganz Deutschland überziehendes Stichprobennetz liefert flächenrepräsentative Informationen über die großräumige und zeitliche Entwicklung der Wälder
- durch die sog. **Waldschadenserhebung** als Weiser für den Vitalitätszustand der Wälder,
- durch die **Bodenzustandserhebung im Wald** (BZE) und
- durch Erhebungen der Ernährungssituation der Bäume.

Je nach Netzdichte können Aussagen für unterschiedliche Bezugseinheiten gewonnen werden. Erhebungsdaten des 16 x 16 km-Netzes gehen als deutsches Level I-Monitoring in die europaweite Waldzustandserhebung ein.

Die Daten werden von den Landesforstverwaltungen erhoben und ausgewertet, vom Bund zusammengestellt und in Zusammenarbeit mit den Ländern bewertet.

- Auf ausgesuchten Standorten wurden **Dauerbeobachtungsflächen** eingerichtet, um Faktoren und Abläufe in Waldökosystemen unter spezieller Berücksichtigung des Einflusses von Luftverunreinigungen intensiver erfassen und beurteilen zu können. Insbesondere steht dabei die Aufklärung von Ursache – Wirkungs-Beziehungen im Vordergrund.

Bundesweit sind 89 dieser Flächen Teil des Europäischen Dauerbeobachtungsflächenprogramms zur Umweltkontrolle im Wald (Level II).

- Als intensivste Stufe des Umweltmonitorings im Wald erfassen Forschungsträger (Universitäten, forstliche Forschungsanstalten) auf einigen Standorten die Struktur der Wälder, darin ablaufende Prozesse und deren Dynamik (Level III, **Waldöko-**

**systemforschung**) möglichst umfassend, um dadurch noch genauere Einblicke in Ökosysteme zu gewinnen.

Schließlich sind die von Bund und Ländern in Angriff genommenen **integralen Auswertungen** darauf gerichtet, Daten der verschiedenen Erhebungsebenen (Level I bis III) zu verknüpfen und mit Daten aus anderen Meßnetzen (z. B. Witterungsdaten, Immissionsdaten) zu verbinden. Damit können zusätzliche Erkenntnisse gewonnen, die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Fallstudien auf die Fläche geprüft und die Beobachtungen von Übersichtserhebungen besser interpretiert werden.

Es ist ständige Aufgabe von Bund und Ländern, das Umweltmonitoring im Wald modernen Erfordernissen der Umweltbeobachtung anzupassen.

Eine von der Bundesregierung einberufene Expertengruppe hat Vorschläge für eine Weiterführung des Umweltmonitorings im Wald erarbeitet. Die Vorschläge werden derzeit von Bund und Ländern geprüft.

### III. Waldzustand in Deutschland

#### Waldschadenserhebung

Seit 1984 führen die Länder die Waldschadenserhebung nach einem einheitlichen, mit dem Bund abgestimmten und von Wissenschaftlern entwickelten Verfahren durch. Dieses Verfahren liefert mit vertretbarem Aufwand kurzfristig verfügbare Angaben über den Waldzustand. Das Ergebnis der Erhebung spiegelt den Einfluß aller Faktoren, die den Kronenzustand beeinflussen, wider.

Diese Methode der Waldschadenserhebung wird auch auf europäischer Ebene angewandt.

Die bis 1984 zurückreichenden **Zeitreihen** zeigen, daß sich die Wälder je nach Baumart, Region und Jahr unterschiedlich entwickelt haben. Die anfänglichen pessimistischen Prognosen vom raschen und großflächigen Sterben unserer Wälder sind jedoch nicht eingetroffen. Bundesweit hat sich der Waldzustand in den neunziger Jahren verbessert. In diesem Jahr stagniert die Entwicklung, denn im Bundesdurchschnitt weisen, genau wie im Vorjahr, 20 % der Wälder deutliche Schäden auf (Schadstufen 2–4, d. h. über 25 % Nadel-/Blattverlust). Bei Kiefer gingen die deutlichen Schäden von ihrem höchsten Niveau 1991 (29 %) auf 12 % zurück. Bei Fichte war dieser Rückgang weniger ausgeprägt (von 23 % auf 18 %). Ein schwankender, nach wie vor sich verschlechternder Trend des Kronenzustandes zeigt sich bei Eiche. Ausgehend von 31 % deutlichen Schäden im Jahr 1991 stieg die Kronenverlichtung bis 1996 auf 48 % an. 1997 ist ein leichter Rückgang auf 46 % festzustellen. Die Eiche ist die Baumart, die seit Beginn der Erhebung die stärkste Zunahme deutlicher Schäden aufweist. Die Buche hat sich nach einem zwischenzeitlichen Anstieg der Schäden mit 29 % wieder fast auf das Niveau von 1991 (28 %) verbessert.

Regional betrachtet sind 1997 die deutlichen Schäden mit 10 % im Nordosten (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg) am geringsten und mit rund 1/3 in der Mitte Deutschlands (Thüringen, Hessen) am höchsten. Im mehrjährigen Trend wird östlich einer Linie von Mecklenburg-Vorpommern bis Bayern eine Verbesserung des Waldzustandes festgestellt, während westlich davon eher eine leichte Verschlechterung zu beobachten ist.

Die „Neuartigen Waldschäden“ sind nicht auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland begrenzt. Die europaweite Waldschadenserhebung weist auch für andere **europäische Staaten**, insbesondere in Osteuropa, z. T. deutliche Kronenverlichtungen aus.

#### Waldbodenzustand

Mit der ersten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald sind nun regional differenzierte Aussagen zu Ausmaß der Bodenversauerung und Basenverarmung, zu Risiken für Grund- und Quellwasser und zu Nährstoffungleichgewichten infolge erhöhter Stickstoffeinträge möglich.

Es besteht eine großflächige, weitgehend substratunabhängige Versauerung und Basenverarmung der Oberböden sowie eine Tendenz zur Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes auf niedrigem Niveau. Noch nicht merklich betroffen sind lediglich Böden mit oberflächlich anstehenden kalkhaltigen Gesteinen.

#### Elementgehalte in der Belaubung

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung wurden auf einem Teil der Erhebungspunkte Nadel-/Blattproben gewonnen und ihr Gehalt an bestimmten Nährelementen untersucht. Damit können Rückschlüsse auf die Ernährungssituation von Waldbäumen gezogen werden.

Es zeigt sich ein negativer Einfluß der Immissionen auf die Nährelementverhältnisse in der Belaubung, insbesondere durch Einträge von Schwefel und Stickstoff.

#### Waldschadensmonitoring auf Dauerbeobachtungsflächen

Schon Ende der sechziger Jahre richteten die Länder **Dauerbeobachtungsflächen** ein. Seit 1994 besteht hierfür ein europäisches Förderprogramm (Level II-Programm). Deutschland stellt mit 89 rund 20 % aller durch die EU geförderten Flächen.

Dauerbeobachtungsflächen dienen der Analyse von Veränderungen der Umweltbedingungen (z. B. durch Stoffeinträge) und den damit verbundenen Auswirkungen auf Waldökosysteme, der Ursachenerkennung der „Neuartigen Waldschäden“ und der Ableitung von Empfehlungen an Politik (z. B. Luftreinhaltung) und forstliche Praxis.

Erste Meßergebnisse zeigen, daß 1995 der überwiegende Teil der Level II-Flächen geringe Schwefeldepositionen verzeichnete (unter 20 kg/ha \* a). Der Stickstoffeintrag dagegen lag bei der Mehrzahl der Flächen mit 15–30 kg/ha \* a deutlich über den von Waldbeständen durchschnittlich benötigten 8–10 kg/ha \* a. Außerdem deutet sich für die untersuchten Nadelbäume im Gegensatz zu den Laubbäumen Magnesiummangel an. Mit einer integralen Auswertung aller Level II-Daten wurde begonnen.

### Integrale Auswertung

Eine integrale Auswertung der Daten aus Bodenzustandserhebung und Waldschadenserhebung ermöglicht neben einer differenzierten Darstellung der Schadenssituation weiterhin die Überprüfung von Thesen über die Ursachen „Neuartiger Waldschäden“. Hierzu sollen zukünftig Zusammenhänge zwischen den Kennwerten des Waldzustandes (Boden-, Ernährungs-, Kronenzustandsdaten) statistisch analysiert sowie deren Abhängigkeit von natürlichen und durch den Menschen bedingten Umweltfaktoren (Klima, Immission) quantifiziert werden.

Erste Ergebnisse weisen darauf hin, daß die Bodenversauerung, bedingt durch atmosphärische Säureeinträge, zu einer instabilen Magnesiumversorgung führt, welche sich in sichtbaren Schadenssymptomen äußert.

### Bewertung der Waldforschung

Die Waldschadens- und Waldökosystemforschung zeigt, daß die Wälder großräumig nach wie vor erheblichen Belastungen, u. a. durch Luftschadstoffe aus dem In- und Ausland, ausgesetzt sind.

Die Stoffe werden mit der Luft zum Teil sehr weit transportiert. Sie wirken nicht nur direkt auf Pflanzen, Tiere und Menschen, sondern verändern bereits in vielen Gebieten die Bodenverhältnisse und lösen damit Folgewirkungen (z. B. für die Grundwasserqualität) aus. Sie verursachen in den Waldökosystemen erhebliche Veränderungen, die jedoch zunächst unsichtbar bleiben können. Die Schadstoffe reichern sich im Boden an und bleiben dort über längere Zeit wirksam, auch wenn keine weitere Deposition mehr stattfindet.

Schwerwiegend sind in diesem Zusammenhang auf schwach gepufferten, durchlässigen Standorten Versauerungseffekte, die damit verbundenen Nährstoffverluste und die Nitrat-, Aluminium- und Schwermetallbelastung der Hydrosphäre sowie Verschiebungen im Artenspektrum bis hin zur Artenverarmung.

### Ursachen der Waldschäden

Die „Neuartigen Waldschäden“ werden durch eine Vielzahl von **Einflußfaktoren** verursacht. Deren Gewicht kann sich von Jahr zu Jahr verändern.

Eine Schlüsselrolle bei den Einflußfaktoren spielen die **Luftschadstoffe**.

**Luftschadstoffe**, insbesondere Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) belasten die Wälder nach wie vor erheblich; einerseits indem sie direkt auf die oberirdischen Pflanzenorgane einwirken, andererseits indirekt über den Eintrag in den Boden. Während die direkte Wirkung von Schadgasen im allgemeinen abklingt, sobald sich deren Konzentration in der Luft verringert, halten die Wirkungen der über Jahrzehnte im Boden akkumulierten Schadstoff- und Säureinträge noch jahrelang an, auch wenn keine Einträge mehr folgen. Die derzeitigen Stickstoffeinträge liegen zwei- bis fünfmal über dem, was die Wälder für ihr Wachstum benötigen.

Darüber hinaus belasten viele **natürliche Einflußfaktoren** wie z. B. Insekten, Pilze, Witterung und Sturm den Wald. So führen biotische Schaderreger in zeitlichem und regionalem Wechsel zu Schwankungen im Gesundheitszustand der Bäume. Inwieweit der Einfluß von Luftschadstoffen den Angriff von Insekten erleichtert, läßt sich nicht generell abschätzen. Bei der Witterung können auch Ereignisse aus den Jahren vor der jeweiligen Waldschadenserhebung eine Rolle spielen. Daneben beanspruchen Blüten und Fruchtbildung Nährstoffe und Reservestoffe eines Baumes.

Diese Faktoren haben sich auch 1997 regional und baumartenbezogen sehr unterschiedlich auf den Gesundheitszustand der Wälder ausgewirkt.

Die **forstlichen Maßnahmen** der letzten hundert bis zweihundert Jahre waren zeitweise geprägt von übermäßigem Holzbedarf, Notlagen der Kriegs- und Nachkriegsjahre, Naturereignissen und Mangel an geeignetem Saat- und Pflanzgut. Ihre Spuren zeigen sich noch heute. Auch daraus können Belastungen herrühren, die den Waldzustand beeinflussen.

## IV. Maßnahmen der Bundesregierung gegen die „Neuartigen Waldschäden“

### Nationale und internationale Ansätze

Seit 1982/83 betreibt die Bundesregierung eine gezielte Politik, um die **Luftschadstoffe**, denen eine maßgebliche Rolle als Streßfaktor bei den „Neuartigen Waldschäden“ zukommt, zu verringern.

Zahlreiche nationale Maßnahmen zur dauerhaften Emissionsenkung wurden ergriffen. Angesichts der weiträumigen, grenzüberschreitenden Ausbreitung der Luftschadstoffe sind darüber hinaus Maßnahmen auf internationaler Ebene erforderlich. Daher hat die

Bundesregierung auf EU-weite und internationale Regelungen hingewirkt, um gemeinsame Anstrengungen der Staaten zur Luftreinhaltung zu erreichen. Schwerpunkte liegen dabei insbesondere in den Bereichen Energieerzeugung und Industrieanlagen, Verkehr sowie Landwirtschaft.

### Luftreinhaltung

Bereits 1983 hat die Bundesregierung das **Aktionsprogramm „Rettet den Wald“** verabschiedet. Erster wichtiger Schritt zur Verringerung der Emissionen im Rahmen dieses Programms war die **Großfeuerungsanlagen-Verordnung** von 1983. Damit konnten bei Großfeuerungsanlagen zwischen 1983 und 1994

- die Schwefeldioxid-Emissionen um 89 % auf 0,20 Mio. t und
- die Stickstoffdioxid-Emissionen um 77 % auf 0,22 Mio. t

gesenkt werden.

Weitere Schritte zur wirksamen Verminderung der Schadstoffemissionen sind die **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft** (1986), die **Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung** (1988), die **Novelle des Bundes-Immissionsschutzgesetzes** (1993) und das **Ozongesetz** (1995).

Wichtige Entlastung bei Schadstoffemissionen haben **verkehrspolitische Maßnahmen** gebracht. Trotz gestiegenen Verkehrsaufkommens gingen die verkehrsbedingten Schadstoffemissionen zurück. Seit Ende der achtziger Jahre steigt die Zahl schadstoffreduzierter Pkw. 1993 hatten erstmals fast 100 % der neu zugelassenen Pkw mit Ottomotor einen Dreiwegekatalysator. Inzwischen reinigt in zwei von drei Pkw mit Ottomotor ein geregelter „Dreiwegekat“ die Abgase. Dies ist ein Erfolg der **steuerlichen Förderung schadstoffarmer Pkw** (1985–1992).

Alles in allem konnten mit diesem Bündel von Maßnahmen die Emissionen einzelner Schadstoffe zwischen 1989 und 1994 in Deutschland merklich vermindert werden:

- Besonders erfolgreich sind die Maßnahmen zur Verringerung der SO<sub>2</sub>-Emissionen. Für Deutschland insgesamt nahmen sie um 52 % auf 3,0 Mio. t SO<sub>2</sub> ab.
- Auch NO<sub>x</sub>-Emissionen konnten erfolgreich verringert werden. Sie nahmen um 24 % auf 2,21 Mio. t ab.
- Die Ammoniakemissionen gingen um ca. 24 % auf 0,62 Mio. t zurück.
- Die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan sind um 32 % auf 2,14 Mio. t zurückgegangen.

Auf Ebene der **Europäischen Union** konnten vor allem aufgrund deutscher Initiativen wirksame Maßnahmen zur Emissionsminderung eingeführt werden. Dazu zählen z.B. die Grenz- und Leitwerte zur Luftqualität u.a. für Blei (1982), Stickstoff (1985) und Ozon (1992), die Großfeuerungsanlagen-Richtlinie

(1988), die EU-weite Einführung des geregelten Dreiwegekatalysators und der Abgasuntersuchungen bei Kfz (1993) sowie verschärfte Abgasnormen für Lkw (1993).

**International** geht es vor allem darum, daß die erzielten Vereinbarungen zum Umweltschutz umgesetzt werden. Dies sind z.B. das Helsinki-Protokoll zur Reduzierung der Schwefelemissionen (1987), das Sofia-Protokoll zur Reduzierung der Stickstoffemissionen (1988), das Genfer Protokoll zur Emissionsminderung flüchtiger organischer Verbindungen (1991), die Klimarahmenkonvention und die Walderklärung von Rio de Janeiro (1992).

### Forstliche Maßnahmen

Zusätzlich zu den Maßnahmen der Luftreinhaltung fördern Bund und Länder forstliche Maßnahmen, um die Widerstandsfähigkeit unserer Wälder gegen Schadeinflüsse zu erhöhen.

Von 1984 bis 1996 haben Bund und Länder zur Stabilisierung geschädigter Waldbestände insgesamt 648,7 Mio. DM bereitgestellt.

Dadurch wurden folgende Maßnahmen unterstützt:

- die Bodenschutzkalkung, um die Vitalität der Wälder zu stärken; hierfür wurden 40 % der Mittel eingesetzt. Rund 2,3 Mio. Hektar Wald wurden in dieser Zeit gekalkt bzw. gedüngt, das sind rd. 22 % der Waldfläche Deutschlands;
- die Wiederaufforstung v. a. mit Laubbäumen, um geschädigte Bestände leistungsfähig zu erhalten; hierfür wurden 32 % der Mittel ausgegeben;
- der Vor- und Unterbau mit v. a. Laubholz, um die Bestandesstruktur geschwächter Wälder zu stabilisieren; hierfür wurden 28 % der Mittel eingesetzt.

In diese Maßnahmen haben Bund und Länder allein im letzten Jahr 32,1 Mio. DM investiert.

Die **Forstwirtschaft** trägt darüber hinaus durch eine auf Nachhaltigkeit und zunehmend auf Naturnähe ausgerichtete Waldbewirtschaftung dazu bei, die Widerstandsfähigkeit von Waldökosystemen zu verbessern und damit den Schadensverlauf im Wald zu mildern. Dazu gehören

- der Aufbau stabiler und artenreicher Mischbestände,
- das Vermeiden großflächiger Kahlhiebe,
- eine auf den Einzelbaum ausgerichtete Bestandespflege,
- die Anwendung des integrierten Pflanzenschutzes,
- der Einsatz bestandes- und bodenschützender Techniken,
- eine ökologisch verträgliche Wilddichte.

## Forschung

Die interdisziplinäre Waldökosystemforschung ist neben Übersichtserhebungen und neben dem intensiven Monitoring auf Dauerbeobachtungsflächen eine unverzichtbare Voraussetzung, um die in Waldökosystemen ablaufenden Prozesse zu verstehen. Durch diese Forschungsarbeiten ergeben sich wichtige Erkenntnisse über Ursachen und Wirkungszusammenhänge von Waldschäden.

Bund, Länder und andere Forschungsträger haben seit 1982 über 850 Forschungsvorhaben zu „Neuartigen Waldschäden“ mit insgesamt rund 465 Mio. DM gefördert.

Durch die intensive Förderung gelang es der deutschen Waldschadensforschung, eine internationale Vorreiterrolle einzunehmen. Die Ergebnisse der Forschung sind Grundlage für Maßnahmen der Bundesregierung zur Bekämpfung der Waldschäden.

## V. Ausblick

Die Bundesregierung wird ihre Anstrengungen zur Eindämmung der „Neuartigen Waldschäden“ und zur Erhaltung der Wälder fortsetzen.

Die bereits ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene werden zu weiteren Verringerungen der Schadstoffemissionen führen. Insgesamt aber zeigen die Depositionsmessungen und -modelle, daß gegenwärtig immer noch zu viel Schadstoffe aus nationalen Quellen, aber insbesondere auch aus grenzüberschreitenden Schadstoffströmen in die Waldökosysteme eingetragen werden.

### Schadstoffe in der Luft weltweit verringern

**Maßnahmen zur Luftreinhaltung haben für die Verringerung der „Neuartigen Waldschäden“ auch weiterhin Vorrang.** Sie werden im nationalen und im internationalen Rahmen konsequent weitergeführt.

Die **Schwerpunkte** für künftige Maßnahmen zur Luftreinhaltung auf **nationaler Ebene** sind die weitere Verringerung

- der Schadstoffemissionen aus Energieerzeugungs- und Industrieanlagen in den neuen Ländern,
- der verkehrsbedingten Umweltbelastungen, vor allem der Stickstoffoxide und der flüchtigen organischen Verbindungen, sowie
- der Stickstoffemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen.

Auf **internationaler Ebene** wird die Bundesregierung ihre bisherige Rolle als treibende Kraft und Vorreiter

beim internationalen Umweltschutz fortsetzen. Dabei wird vor allem angestrebt,

- die Arbeiten im Rahmen des **UN/ECE-Übereinkommens** über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung fortzuführen, um Schadstoffemissionen international zu verringern,
- die Beschlüsse der **Konferenz „Umwelt und Entwicklung“** der Vereinten Nationen (UNCED 1992) zu verwirklichen.

So arbeitet die Bundesregierung intensiv an der Umsetzung und Fortentwicklung der Klimarahmenkonvention sowie an völkerrechtlich verbindlichen Regelungen zur Umsetzung und Weiterentwicklung der Waldbeschlüsse, wie z.B. an einer Waldkonvention.

Die Politik der Bundesregierung zum **Schutz der natürlichen Umwelt** kommt auch den Wäldern zugute.

Die im Rahmen der **Klimaschutzstrategie** ergriffenen Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen von CO<sub>2</sub> und anderer klimarelevanter Gase tragen ebenfalls zur Reduzierung der die Wälder belastenden Luftschadstoffe bei.

### Waldbauliche Maßnahmen gezielt fördern

Die **Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen** zur Stabilisierung der Waldökosysteme gegen die „Neuartigen Waldschäden“ wird fortgesetzt. 1997 sind von Bund und Ländern 29,2 Mio. DM eingeplant.

### Waldmonitoring fortführen

Das Waldmonitoring wird in seinen verschiedenen Intensitätsstufen fortgeführt und weiterentwickelt.

### Waldökosystemforschung fortsetzen

Die **Waldökosystemforschung** wird weiterhin gefördert. Hierfür stehen 1997 rund 19 Mio. DM zur Verfügung.

### Walderhaltung – Herausforderung für uns alle

Staatliche Maßnahmen allein reichen jedoch nicht aus, um die Wälder zu erhalten. Die vielfältigen Funktionen des Waldes zu sichern ist eine Aufgabe, die erfolgreich nur gemeinsam von **Bund und Ländern, Wirtschaft und Bevölkerung** gemeistert werden kann.

Nur mit Unterstützung durch die Bürger – insbesondere bei einem verantwortungsbewußten Umgang mit Energie und Rohstoffen – kann die Schadstoffbelastung unserer Umwelt spürbar vermindert und zur Erhaltung eines funktionsfähigen Ökosystems Wald beigetragen werden.

## 1. Aktuelle Situation der Forstwirtschaft

### 1.1 Nationale Aspekte

Der Wald ist in Deutschland aufgrund seiner unverzichtbaren Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehrten. Seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung ist sicherzustellen (s. § 1 Bundeswaldgesetz). Die Verwirklichung dieser Zielsetzungen ist im verantwortungsvollen Zusammenwirken von Forstpolitik und Waldeigentümern gelungen.

Die Waldfläche in Deutschland beträgt 10,7 Mio. ha, das entspricht rund 30 % der Landesfläche. Seit 1960 nahm der Wald um 500 000 ha zu. Der Wald ist damit der bedeutendste großflächige Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Zugleich ist er die naturnaheste Landnutzungsform und ein wesentliches landschaftsprägendes Element. Er ist heute von den vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche geprägt. Trotz des in der Vergangenheit bestimmenden Trends zum Anbau von Nadelbäumen wurde mit 56 % wieder ein beachtlicher Laub- und Mischwaldanteil erreicht. Auch erfolgte die Wiederaufforstung nach den Stürmen 1990 zu über 90 % mit Laubbaum- und Mischkulturen.

Das Waldeigentum in Deutschland setzt sich aus 46 % Privatwald (hiervon rund 600 000 ha Treuhandwaldflächen), 20 % Körperschaftswald und 34 % Staatswald zusammen.

Deutschland nimmt bei den Holzvorräten mit insgesamt 270 Vorratsfestmeter je ha im europäischen Vergleich einen führenden Platz ein. Dem derzeitigen jährlichen Holzeinschlag in Deutschland von rd. 40 Mio. Erntefestmeter (m<sup>3</sup>) oder 3,7 m<sup>3</sup>/ha steht ein potentiell und nachhaltig nutzbares Rohholzaufkommen von 57 Mio. m<sup>3</sup>/a jährlich gegenüber. Dies entspricht 5,3 m<sup>3</sup> pro Jahr und Hektar. Das Holzeinschlagspotential wird nur zu 70 % ausgeschöpft, was u. a. am oft schwierigen Absatz liegt.

Holz ist unter ökologischen Aspekten ein sehr günstiger nachwachsender Rohstoff. Seine Nutzung führt durch die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder zu keinem Ressourcenabbau.

Das technisch nutzbare Potential an Energieholz in Deutschland (Holz aus Waldpflege, Be- und Verarbeitung und Landschaftspflege) wird gegenwärtig nicht einmal zur Hälfte genutzt. Dabei würde die Substitution fossiler Brennstoffe durch Holz zu einem Nettoeinspareffekt bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen von 16 Mio. t/a führen. Auch der vermehrte Einsatz von Holz im Bauwesen kann einen Beitrag zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten (Holz speichert Kohlenstoff über Jahrzehnte, vermehrte Holzverwendung vermeidet Emissionen, die bei der Herstellung z. B. von Stahl und Zement anfallen würden).

Die Bewirtschaftung der Wälder stellt eine Einkommensquelle dar. So konnte der Privatwald unter Ein-

bezug der forstlichen Fördermaßnahmen überwiegend positive, wenn auch zeitweise nur geringfügige Reinerträge verbuchen. Im Wald aller Eigentums-kategorien finden gegenwärtig energische Anstrengungen statt, durch Rationalisierung und organisatorische Änderungen die Betriebsergebnisse zu verbessern.

Der Holzabsatz ist für die Forstwirtschaft lebenswichtig. Einnahmen aus Holz ermöglichen Waldpflege, die auch der Allgemeinheit zugute kommt. Die Holzerlöse sind im Durchschnitt der letzten Jahrzehnte nahezu unverändert geblieben. Die Aufwendungen v. a. durch höhere Lohnkosten sind dagegen gestiegen. Zur Steigerung des Holzabsatzes fördert die Bundesregierung auf dem Gebiet des Rohstoffes Holz Forschung, Entwicklung und beispielhaften Einsatz von Holz. Mit der Förderung aussichtsreicher und innovativer Vorhaben wird die Nachfrage nach dem Rohstoff Holz verstärkt. Die Bundesregierung setzt sich dafür ein, daß rechtliche Hemmnisse bei der Verwendung von Holz abgebaut werden.

Durch eine konsequente Weiterführung der Luftreinhaltungspolitik und einen möglichst naturnahen Waldaufbau läßt sich der Gesundheitszustand des Waldes verbessern, seine Vitalität erhöhen und seine Funktionsvielfalt gewährleisten. Eine naturnahe Waldbewirtschaftung ist in besonderer Weise geeignet, Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes nachhaltig sicherzustellen, da sie sich weitestgehend an Abläufen in der Natur orientiert. Diese Wirtschaftsform liegt aber auch im Interesse der Wirtschaftlichkeit der Forstbetriebe, da sie weniger risikofähig ist und durch „biologische Automation“ der betriebliche Aufwand langfristig erheblich gesenkt werden kann.

Die Politik kann den Betrieben ihre unternehmerischen Entscheidungen nicht abnehmen, sie kann jedoch Orientierungshilfen in Form von verlässlichen Rahmenbedingungen geben. Ziel der deutschen Forstpolitik ist daher

- die Leistungsfähigkeit der Forstbetriebe zu stärken,
- die Wettbewerbsfähigkeit des Rohstoffes Holz zu verbessern und
- die Stabilität des Waldes zu erhöhen.

### 1.2 Internationale Aspekte

Die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organisation, FAO) hat 1997 aktuelle Daten als Fortschreibung einer Erhebung von 1990 zur weltweiten Waldsituation vorgelegt<sup>1)</sup>. Danach setzte sich weltweit die Waldzerstörung zwischen 1990 und 1995 – trotz einer geringen

<sup>1)</sup> FAO: State of the world's forest. Rom, 1997

Verbesserung – in großem Ausmaß fort. 13,7 Mio. ha, davon allein 12,9 Mio. ha tropischer Naturwälder, gingen in diesem Zeitraum jährlich verloren. Die FAO hat die Vorbereitungen zur nächsten weltweiten Waldressourcenerfassung begonnen. Die Ergebnisse werden im Jahr 2000 erwartet.

Im Rahmen der Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Europa wurde 1994 erstmals ein erweitertes Waldmonitoring anhand einer vereinbarten Liste von Kriterien und Indikatoren nachhaltiger Waldbewirtschaftung gestartet. Nach einem ersten Testlauf 1994–1996, an dem sich auch Deutschland beteiligte, sollen entsprechende europaweite Daten bis zur nächsten Ministerkonferenz 1998 in Lissabon zur Verfügung stehen.

Bei den Vereinten Nationen hat sich in Folge der Rio-Konferenz 1992 in den Jahren 1995–1997 ein Sonderausschuß zu Wäldern (Intergovernmental Panel on Forests) mit den weltweiten Waldgefährdungen befaßt und entsprechende Vorschläge für Gegenmaßnahmen erarbeitet. Deren Umsetzung wird in den kommenden Jahren durch einen weiteren Sonderausschuß (Intergovernmental Forum on Forests) begleitet werden.

Dieser wird sich auch mit möglichen Inhalten einer globalen Waldkonvention befassen. Die Bundesregierung bemüht sich seit Jahren intensiv um eine

globale völkerrechtlich verbindliche Konvention zum Schutz der Wälder.

Am 21. März 1994 ist das in Rio de Janeiro 1992 gezeichnete Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen in Kraft getreten. Ziel ist die Stabilisierung des Treibhausgasanteils in der Erdatmosphäre auf einem Niveau, bei dem schädliche Klimaänderungen vermieden werden.

Die erste Vertragsstaatenkonferenz (VSK) in Berlin hat 1995 das „Berliner Mandat“ zur Aushandlung eines Protokolls erteilt, in dem verschärfte Verpflichtungen der Industrieländer zur Begrenzung und Reduzierung der Treibhausgasemissionen vereinbart werden sollen. Dieses Protokoll soll auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz, die im Dezember 1997 in Kyoto (Japan) zusammentreten wird, angenommen werden. Allerdings haben weder die Verhandlungen in den von der 1. VSK eingesetzten Gremien, noch die VN-Sondergeneralversammlung im Juni 1997 bisher zum erwünschten Durchbruch bei diesen Verhandlungen geführt.

Deutschland setzt sich zusammen mit den EU-Partnern weiterhin für substantielle Reduktionsziele mit verbindlichen Zeithorizonten sowie für ein Bündel verbindlicher Maßnahmen zur Emissionsreduktion ein.

## 2. Konzept des Umweltmonitorings im Wald

### 2.1 Derzeitiges Verfahren

Die Beobachtung und Bewertung von Zustand und Entwicklung der Wälder (Umweltmonitoring im Wald) ist ein wesentlicher Bestandteil der Umweltvorsorge. Ende der 70er Jahre zeichnete sich durch weit verbreitete Schäden unbekannter Ursache an nahezu allen Baumarten eine abnehmende Vitalität der Wälder ab. Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten koordinierte daraufhin Erhebungen, die Aufschluß über Art und Umfang der Phänomene liefern sollten. Ab 1984 wurde die von einigen Ländern entwickelte flächenrepräsentative Waldschadenserhebung bundesweit durchgeführt. Gleichzeitig begann die Forschung, die Ursachen für die als „Neuartige Waldschäden“ bezeichneten Erscheinungen wissenschaftlich zu ergründen. Bund und Länder unterstützten eine Abstimmung der vielfältigen Forschungsprojekte in der 1983 gegründeten interministeriellen Arbeitsgruppe „Luftverunreinigungen/Waldschäden“. Zur Ergänzung der Waldschadenserhebung wurde 1988 gemeinsam mit den Ländern beschlossen, eine erste bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald durchzuführen. Dieses langfristige und aufwendige Projekt konnte mit der Veröffentlichung des Bundesberichts im Jahre 1997 abgeschlossen werden. Bereits Ende der 70er Jahre hatten einige Länder „Dauerbeobachtungsflächen-Waldschäden“ eingerichtet, um die Entwicklung besonders gefährdeter Bestände erfassen zu können. In den 80er und 90er Jahren wurden von den Ländern weitere Dauerbeobachtungsflächen-Waldschäden eingerichtet sowie die Untersuchungen auf diesen Flächen entsprechend den Erkenntnissen der Waldschadensforschung erweitert und angepaßt.

Rund anderthalb Jahrzehnte gezielter Beobachtung und Erforschung der „Neuartigen Waldschäden“ sowie die Erkenntnisse der Baumphysiologie haben inzwischen das Wissen über Ursachen, Umfang und Entwicklung von Waldschäden bedeutend erweitert. Dieser Erkenntnisgewinn bietet die Möglichkeit, die Ergebnisse der Zeitreihen der Waldschadenserhebung im Lichte der Waldökosystemforschung und erster Ergebnisse der intensiven Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen zu bewerten und daraus Schlußfolgerungen für die Zukunft zu ziehen.

Die Bundesregierung hat daher im Frühjahr 1997 eine Expertengruppe aus den verschiedensten forstwissenschaftlichen Disziplinen einberufen, um zu klären, welche optisch wahrnehmbaren Änderungen des Kronenzustandes physiologisch noch als „normal“ zu betrachten sind und ob und inwieweit die bisherigen Beurteilungskriterien verbessert und erweitert werden können. Die Experten sollten auch die Auswertungsmethoden der Waldschadenserhebung kritisch überprüfen und ggfs. Verbesserungen,

möglichst ohne die Vergleichbarkeit mit den früheren Ergebnissen zu gefährden, vorschlagen.

Ziel des Umweltmonitorings im Wald ist es, Zustand und Entwicklung der Wälder zu erfassen, Einflußfaktoren zu quantifizieren und Abläufe zu verstehen, um Schäden abzuwenden bzw. zu beheben und eine Waldentwicklung leichter steuern zu können.

Das derzeitige Umweltmonitoring im Wald ruht auf mehreren Säulen:

- Ein systematisches, ganz Deutschland überziehendes Stichprobennetz liefert flächenrepräsentative Informationen über die großräumige und zeitliche Entwicklung der Wälder
- durch die sog. **Waldschadenserhebung** als Weiser für den Vitalitätszustand der Wälder (s. Kapitel 3.1, 3.2, 3.3),
- durch die **Bodenzustandserhebung im Wald<sup>2)</sup>** (BZE) (s. Kapitel 3.4) und
- durch Erhebungen der Ernährungssituation der Bäume<sup>3)</sup> (s. Kapitel 3.5).

Je nach Netzdichte können Aussagen für unterschiedliche Bezugseinheiten gewonnen werden. Erhebungsdaten des 16 × 16 km-Netzes gehen als Level I-Monitoring in die europaweite Waldzustandserhebung ein.

Die Daten werden von den Landesforstverwaltungen erhoben und ausgewertet, auf Bundesebene zusammengestellt und in Zusammenarbeit mit den Ländern bewertet.

- Auf ausgesuchten Standorten wurden Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet, um Faktoren und Abläufe in Waldökosystemen unter spezieller Berücksichtigung des Einflusses von Luftverunreinigungen intensiver erfassen und beurteilen zu können (s. Kapitel 3.6). Dabei steht insbesondere die Aufklärung von Ursache–Wirkungsbeziehungen im Vordergrund.

Bundesweit sind 89 dieser Flächen Teil des Europäischen **Dauerbeobachtungsflächenprogramms zur Umweltkontrolle im Wald** (Level II). Neben kontinuierlichen Messungen von Depositionen, des Bodensickerwassers und von meteorologischen Kennwerten werden in unterschiedlichen zeitlichen Abständen auch Analysen des Bodenzustandes, der Ernährungssituation, des Zuwachsverhaltens, der Bodenvegetation sowie Ansprachen des Kronenzustands vorgenommen. Die Landesforstverwaltungen betreuen diese Flächen und

<sup>2)</sup> Wolff, Riek: Deutscher Waldbodenbericht 1996. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, 1997.

<sup>3)</sup> z. B. Hildebrand, Schöpfer: Ergebnisse der Belastungsinventur Baden-Württemberg 1988, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 1993.

werten die Daten aus. Der Bund koordiniert die Aktivitäten und veröffentlicht in Abstimmung mit den Ländern Ergebnisse mit überregionalem Bezug.

- Als intensivste Stufe des Umweltmonitorings im Wald erfassen Forschungsträger (Universitäten, forstliche Forschungsanstalten) auf einigen Standorten die Struktur der Wälder, darin ablaufende Prozesse und deren Dynamik (Level III, **Waldökosystemforschung**) möglichst umfassend, um dadurch noch genauere Einblicke in Ökosysteme zu gewinnen (s. Kapitel 3.7.1, 3.7.3).

Schließlich sind **integrale Auswertungen** darauf gerichtet, Daten der verschiedenen Erhebungsebenen (Level I bis III) zu verknüpfen und mit Daten aus anderen Meßnetzen (z. B. Witterungsdaten, Immissionsdaten) zu verbinden (s. Kapitel 3.7.2). Damit können zusätzliche Erkenntnisse gewonnen, die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Fallstudien auf die Fläche geprüft und die Beobachtungen von Übersichtserhebungen besser interpretiert werden.

## 2.2 Empfehlungen der Expertengruppe<sup>4)</sup>

Für die Weiterentwicklung des Umweltmonitorings im Wald und der Berichterstattung hierüber hat die von der Bundesregierung eingesetzte Expertengruppe aufgrund einer eingehenden Bewertung der bisher praktizierten Verfahren die ihr gestellten Fragen im September 1997 mit folgenden Empfehlungen beantwortet:

### Frage:

Inwieweit kann und sollte auch künftig die visuelle Erfassung der Kronenverlichtung (des sog. „Nadel- bzw. Blattverlustes“) als wesentliches Merkmal zur Beurteilung der Vitalität bzw. des Zustandes von Bäumen herangezogen werden?

*Änderungen in der Blatt- und Kronenmorphologie sind Ausdruck einer veränderten pflanzeninternen Stoffverteilung, die das Konkurrenzverhalten der Bäume und die Stabilität der Bestände beeinflussen.*

*Der Expertenkreis stellt fest, daß die Kronenverlichtung häufig rasch und empfindlich auf unterschiedliche äußere Einflüsse reagiert. Die Reaktion kann aber nicht unmittelbar auf die Wirkung einzelner oder eine Gruppe bestimmter Stressoren zurückgeführt werden. Dazu sind weitere Recherchen notwendig.*

*Das Inventurverfahren der Kronenzustandserhebung basiert auf einem regelmäßigen Raster unter Berücksichtigung des Zufallsprinzips. Das Merkmal der Kronenverlichtung kann im Rahmen der Übersichtserhebung sicher und zuverlässig angesprochen werden.*

*Der Expertenkreis stellt fest, daß das angewandte Stichprobenverfahren zu statistisch gesicherten Ergebnissen führt. Die ergänzte Kronenzustandserhebung ist ein wichtiger Indikator für den Waldzustand und für die Waldschadensforschung.*

*Die großräumige Aufnahme der Kronenverlichtung sollte deshalb auch weiterhin vorgenommen werden, ihre Auswertung und Interpretation jedoch auf eine bessere statistische und ökologisch differenziertere Basis gestellt werden.*

### Frage:

Gibt es weitere Kenngrößen, die zur Beurteilung und Beschreibung des Zustandes der Wälder in Deutschland herangezogen werden sollten?

*Der Expertenkreis befürwortet – auf der Ebene von Übersichtserhebungen – den Merkmalskatalog der visuellen Erfassung des Kronenzustandes zu erweitern durch:*

- *baumbezogene Parameter wie Verzweigungsstruktur, Fruktifikation sowie intensiver zu erfassende biotische Schadeinflüsse. An einer Unterstichprobe soll das Wachstum der Probebäume in Relation zu ihrem Kronenzustand erfaßt und Ernährungserhebungen an Assimilationsorganen durchgeführt werden.*
- *die Erhebung bestandesbezogener Kennwerte und das Konzept so zu einem starken ökosystemaren Ansatz zu entwickeln. Hierzu zählen Informationen zur Wald- bzw. Bestandesgeschichte sowie zur Bestandesstruktur. Neben den qualitativen Schätzgrößen Kronenschlußgrad, Schichtung und Pflegezustand empfiehlt der Expertenkreis insbesondere die zahlenmäßige Erfassung der Bestandesdichte aus Stichprobenaufnahmen.*
- *standörtliche Grunddaten. Dies beinhaltet sowohl langfristig unveränderliche Boniturgrößen als auch zeitlich variable Meßgrößen.*
- *Einbeziehung und Nutzung weiterer flächenbezogener Informationsquellen wie Bodenzustandserhebung, Waldernährungserhebung, Geographische Informationssysteme, meteorologische Daten, Immissions- und Depositionsdaten.*
- *eine inhaltliche und zahlenmäßige Verbindung zu den Informationen des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung.*

*Eine Integration der Ergebnisse verschiedener Meßebenen muß jedoch jeweils den raum-zeitlichen Gültigkeitsbereich der einbezogenen Daten berücksichtigen.*

### Frage:

Ist es zulässig, die Kronenverlichtung für die Bestimmung der Schadstufen zu nutzen?

*Diese Frage wurde vom Expertenkreis mehrheitlich bejaht. Einstimmig wurde festgestellt, daß man prinzipiell aus Kronenverlichtung, Blatt-/Nadelvergilbung und Zweiganomalien auf Waldschäden schließen kann. Für eine Quantifizierung, d. h. für eine zahlenmäßige Bewertung des Schadens sind jedoch weiterführende Recherchen notwendig.*

*Eine zusätzliche Kronenverlichtung schränkt waldbauliche Handlungsmöglichkeiten ein, beeinträchtigt wirtschaftliche Ziele der Holzproduktion und die ökologischen Ziele der Waldwirtschaft. Darüber hinaus kann sie die Mineralisation des Waldbodens erhöhen*

<sup>4)</sup> Der volle Wortlaut ist im Anhang 6.2 wiedergegeben.

mit Auswirkungen auf den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser.

**Frage:**

Halten Sie den Begriff „Schadstufen“ für angebracht?

*Der Expertenkreis hat die Bezeichnung „Schadstufen“ oder „Zustandsstufen“ kontrovers diskutiert. Es kam zu keiner einvernehmlichen Empfehlung.*

**Frage:**

Entspricht die derzeitige Einteilung der Schadstufen dem heutigen Erkenntnisstand der Baumphysiologie oder ist eine Änderung angebracht?

*Die Mehrheit der Experten befürwortet, die 1984 eingeführten Klassen aus Gründen der europäischen Vergleichbarkeit und der Kontinuität zunächst zu erhalten. Sie empfehlen darüber hinaus, daß die Bundesländer künftig dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die Originaldaten in 5-%-Stufen zur Verfügung stellen. Dieses soll vom frühest möglichen Zeitpunkt an erfolgen, zumindest ab 1990.*

*Eine Darstellung der Ergebnisse in Form von Mittelwerten mit Streuungsangaben bzw. als Häufigkeitsverteilungen über Klassen mit gleicher Stufenbreite (z. B. 20 %) wird angestrebt.*

**Frage:**

Derzeit wird die Öffentlichkeit über den Waldzustand im Bundesbericht mit folgenden Kennzahlen informiert: Anteil der Schadstufen 2–4 für alle Baumarten bzw. aufgegliedert nach Baumarten, Bundesgebiet, Ländergruppen oder Ländern und in Jahren einer Vollstichprobe nach Wuchsgebieten. Halten Sie dieses Vorgehen für vertretbar?

*Der Expertenkreis empfiehlt, die geprüften Originaldaten aus Level I und Level II für eine bundesweite Auswertung weiterzuleiten. Die Länderberichte stellen eine wichtige Grundlage für weiterführende Auswertungen und Interpretationen der bundesweiten Daten dar.*

*Im einzelnen wird empfohlen, auf die Darstellung von Mittelwerten über alle Baumarten zu verzichten. In Ergebnisdarstellungen sind raumbezogene Schwerpunkte der Belastungen aufzuzeigen und mit mathematisch-statistischen Methoden Daten verschiedener flächenbezogener Übersichtserhebungen zu verbinden.*

*Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten faßt die Ergebnisse der erweiterten Waldschadenserhebung unter Einbeziehung der Ergebnisse des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung integral zusammen und veröffentlicht diese jährlich. Dabei wird empfohlen, jeweils thematische Schwerpunkte zu bilden.*

**Frage:**

Auf welcher Datenbasis und mit welchen Kenngrößen und in welchem Turnus sollte künftig der Waldzustand ermittelt und beurteilt werden?

*Die Datenbasis ergibt sich aus den Ergebnissen der Waldschadenserhebung, dem Intensiven Monitoring und der Waldökosystemforschung. Die künftig erweiterte Waldschadenserhebung umfaßt dabei neben der Erhebung des Kronenzustandes, der Bestandesstruktur, biotischer Faktoren, der ökologischen Koordinate, des Bodenzustandes, der Waldernährung auf einer Unterstichprobe waldwachstumkundliche Untersuchungen. Daten anderer flächenbezogener Informationssysteme sind insbesondere im Hinblick auf Witterung, Immissionen und Depositionen zu nutzen.*

*Der Expertenkreis mißt langfristigen Zeitreihen umweltbezogener Daten große Bedeutung zu. Zeitreihen helfen, die Variation der Meßwerte zu bewerten, Trends abzuleiten und jährlich variierende Einflüsse zu beschreiben. Es wird empfohlen, Übersichtserhebungen in zweckmäßigen Abständen zu wiederholen.*

*Der Expertenkreis spricht sich prinzipiell für einen jährlich zu erstattenden Bundesbericht aus.*

### 2.3 Weiteres Vorgehen

Die Bundesregierung hat die ihr im September 1997 übergebenen Empfehlungen der Expertengruppe mit großem Interesse entgegengenommen.

Bund und Länder sehen ihr Konzept für ein Umweltmonitoring im Wald und das Verfahren der Waldschadenserhebung als Bestandteil dieses Konzeptes bestätigt. Sie fühlen sich in der bereits begonnenen integralen Auswertung der Daten der Waldschadenserhebung mit den Daten anderer Meßnetze (z. B. Bodenzustandserhebung) durch die Empfehlungen der Expertengruppe bestärkt.

Die Bundesregierung wird die Empfehlungen für eine Weiterentwicklung des Umweltmonitorings im Wald gemeinsam mit den Ländern eingehend prüfen. Dabei werden insbesondere deren bundesweite Umsetzbarkeit und die Finanzierbarkeit zu beurteilen sein.

Beispiele möglicher Auswertungen für ein umfassendes Umweltmonitoring im Wald werden in diesem Bericht dargestellt. So sind Auszüge aus dem Waldzustandsbericht Bayerns 1997 in Kapitel 3.3 wiedergegeben. Darüber hinaus zeigen die Ausführungen in Kapitel 3.7.2, welche Möglichkeiten eine integrale Auswertung von Kronenverlichtungsdaten mit Daten anderer Erhebungen auch im Hinblick auf die Ursachenanalyse eröffnet.

### 3. Waldzustand in Deutschland

Seit der Mensch in unserem Raum sesshaft geworden ist und Flächen für Siedlung und Landbau benötigte, hat er in das Gefüge des Waldes eingegriffen. Zunächst unwesentlich, mit zunehmendem Anwachsen der Bevölkerung aber immer massiver ist der Wald für ihre Bedürfnisse gerodet worden. Er diente als Lieferant für Bauholz, Grubenholz, für Holzkohle, Brennholz, Rinde und Harz, selbst für Früchte, Kräuter, Honig und andere Produkte. Jahrhundertlang waren Mast und Weide im Wald die Grundlagen der Viehwirtschaft. Übernutzungen und Waldverwüstungen waren häufig die Folge.

Mit Beginn der Industrialisierung hat sich die Entwicklung beschleunigt und gewandelt. Fossile Rohstoffe wurden als Energiequelle erschlossen. Der Druck auf den Wald als Rohstofflieferanten ließ nach. Dafür entstanden neue Gefahren: Die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe veränderten die Zusammensetzung der Atmosphäre. Damit wurden zunehmend andere und mehr Stoffe in die Wälder durch nasse und trockene Deposition eingetragen. Dies verschob die Nährstoffgleichgewichte und verstärkte die Versauerungsprozesse in den Waldökosystemen.

Der Waldzustand veränderte sich, anfangs noch unbemerkt. Seit Mitte der 70er und verstärkt Anfang der 80er Jahre werden jedoch Symptome beobachtet, die bis dahin in Art, Ausmaß und Zeitdauer nicht bekannt waren. Die Baumkronen verlichteten zunehmend, und teilweise vergilbten Nadeln und Blätter. Innerhalb weniger Jahre wurden nahezu alle Baumarten erfaßt. Die Schäden traten in geographisch großer Verbreitung auf.

Diese Phänomene lassen sich weder auf einzelne Ursachen zurückführen noch einzelnen Verursachern zuordnen. Daher wurden sie im Gegensatz zu den klassischen Waldschäden (Schäden durch Insekten, Schnee, Feuer und Wild) und zu den bekannten Rauchschiäden (Schäden im Nahbereich von stark emittierenden Industrieanlagen) bald als „Neuartige Waldschäden“ bezeichnet.

#### 3.1 Waldschadenserhebung – Methodik

Seit 1984 werden in der Bundesrepublik Deutschland von den Ländern jährlich systematische Erhebungen zeitgleich und nach einem einheitlichen Verfahren durchgeführt, um Ausmaß und Entwicklung der Waldschäden festzustellen. In den neuen Ländern werden seit 1990 Waldschäden nach dem gleichen Verfahren erhoben. Der Waldzustandsbericht der Bundesregierung faßt die Ergebnisse der Waldschadenserhebungen der Länder zusammen.

##### 3.1.1 Der Kronenzustand als Vitalitätsweiser

Die Begutachtung der Baumkrone während der Vegetationszeit ermöglicht einen Rückschluß darauf, ob der Baum vital oder in seiner Gesundheit beeinträchtigt ist.

Die Interpretation der Erhebungsergebnisse muß dabei mehrere, wichtige Aspekte berücksichtigen:

- Ausbildung und Zustand einer Krone werden von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen innere (z.B. genetische Veranlagung) und äußere Einflüsse (z.B. Wassermangel, Wind, Insektenfraß, Immissionen, waldbauliche Behandlung).
- Aufgrund der Komplexität und Vielfältigkeit der Waldökosysteme und der auf sie einwirkenden Umwelteinflüsse ist ein Rückschluß auf die Ursachen von Vitalitätseinbußen nur auf der Grundlage umfassender, wissenschaftlicher Untersuchungen möglich. Ursachen für die Ausprägung des Kronenzustands können im Rahmen der Waldschadenserhebung nur eingeschränkt und nur soweit erhoben werden, wie sie okular zum Zeitpunkt der Erhebung von Forstexperten zu erkennen sind.
- Die gezielte Erfassung der Waldschäden (im Jahr 1984) setzte ein, als bereits Schäden aufgetreten waren. Ausmaß und Entwicklung der bis dahin eingetretenen Schäden sind jedoch unbekannt. Dies muß bei der Interpretation der Zeitreihe und speziell bei Verwendung des Ergebnisses von 1984 als Bezugsgröße für die Folgejahre berücksichtigt werden.
- Auch in vom Menschen ungestörten Ökosystemen treten und traten Streßsituationen für Pflanzen auf, die zu Symptomen führen, die denen der „Neuartigen Waldschäden“ gleichen. Insofern ist eine Situation, in der alle Bäume als ungeschädigt eingestuft werden können, ein nicht erreichbarer Idealzustand.
- Die besondere Bedeutung der Waldschadenserhebung liegt deshalb in den Zeitreihen. Hierin spiegelt sich die Vitalitätsentwicklung des Ökosystems Wald wider.

Die Waldschadenserhebung zeigt somit das sich in Form eines schlechten Kronenzustandes äußernde „Fieber des Patienten Wald“ an. Sie kann aber – ebenso wie ein Fieberthermometer – keine Auskunft über die Ursachen geben. Aus der Waldschadensforschung ergibt sich allerdings, daß Luftschadstoffen bei den „Neuartigen Waldschäden“ eine maßgebliche Rolle zukommt.

Wenn jedoch der Zustand des Waldes als komplexes Ökosystem in seiner Gesamtheit erfaßt und beurteilt werden soll, so sind weitere Parameter wie Bodenzustand, Wasserversorgung, klimatische Einflüsse, en-

zymatische und genetische Anzeiger sowie – daraus resultierend – Wurzelwachstum, Holzzuwachs, Vorkommen und Häufigkeit von Pflanzenarten etc. zu berücksichtigen. Die Erfassung dieser Parameter ist Teil des Gesamtkonzeptes des Umweltmonitorings im Wald. Monitoringprogramme hierfür, wie z. B. das europaweite Dauerbeobachtungsflächen-Programm, sind angelaufen und verfolgt derartig integrale Zielsetzung.

### 3.1.2 Verfahren der Waldschadenserhebung

Bei der Waldschadenserhebung werden die Kronen von Bäumen an dauerhaft markierten Stichprobepunkten, die systematisch über ganz Deutschland verteilt sind, begutachtet.

Als wichtigstes Merkmal wird die Kronenverlichtung und daneben die Vergilbung aufgenommen.

Die Kronenverlichtung der Bäume wird in 5-%-Klassen erhoben. Die 21 möglichen 5-%-Klassen werden zu fünf unterschiedlichen großen Stufen zusammengefaßt. Die Vergilbung der Belaubung wird in fünf

Stufen eingeschätzt. Aus der Kombination beider Merkmale wird die sog. „kombinierte Schadstufe“, im folgenden wie bisher kurz „Schadstufe“ genannt, hergeleitet (s. Tabelle 1). Der Begriff „Schadstufe“ wird aufgrund der wissenschaftlichen Diskussion derzeit ebenfalls überprüft.

Die Einteilung der Stufen und der daraus resultierenden Schadstufen ist eine Vereinbarung der datenerhebenden Länder mit dem Bund. Sie erleichtert die Information über den Waldzustand und macht sie länderübergreifend vergleichbar. Die Ergebnisse lassen sich dadurch übersichtlich in Tabellen, Graphiken und Karten darstellen.

Als Kronenverlichtung wird die jeweilige Belaubungsdichte eines Baumes im Bereich der nicht konkurrenzbeeinflussten Krone im Vergleich zu einem wuchsplatzbezogenen Referenzbaum bezeichnet. Unter Verlichtung versteht man dabei sowohl den tatsächlichen materiellen Verlust von Nadeln bzw. Laub infolge vorzeitigem Abwurf als auch die Nichtausbildung von Nadeln oder Laub. Die Verlichtung wird ohne Rücksicht auf ihre Ursache eingeschätzt.

Tabelle 1:

#### Herleitung der Schadstufen in Abhängigkeit von Kronenverlichtung und Vergilbung der Belaubung

	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	Kombinierte Schadstufe
	1	11–25 %	1	1	2	2	
	2	26–60 %	2	2	3	3	
	3	61–99 %	3	3	3	3	
	4	100 %		4 (abgestorben)			

Für jede Auswertungseinheit (z. B. Land, Wuchsgebiet, Hauptbaumart, Altersgruppe) wird der prozentuale Anteil der Probestämme in den fünf Schadstufen berechnet. Der Anteil der Stichprobenbäume entspricht dabei dem Anteil der Waldfläche, auf der Bäume einer bestimmten Ausprägung des Kronenzustands stehen.

Die Schadenssituation in einer Auswertungseinheit wird durch den Anteil deutlich geschädigter Bäume (Summe der Schadstufen 2, 3 und 4) charakterisiert. In den Waldzustandsberichten von Bund und Ländern werden daher das Ausmaß dieser deutlichen Schäden und deren Veränderungen neben den Anteilen der Stufen 0 (ohne Schadmerkmale) und 1 (Warnstufe) besonders dargestellt.

Die Berechnung der Ergebnisse und deren Bewertung erfolgt dabei wie in den letzten Jahren, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die hierzu von der Expertengruppe Waldzustandserfassung gegebenen Empfehlungen werden derzeit geprüft.

Die Entwicklung des Waldzustandes läßt sich nur anhand langfristiger Zeitreihen bewerten. Ergebnisse

einzelner Jahre dürfen dagegen nur sehr zurückhaltend interpretiert werden, weil sich die natürlichen Einflußfaktoren von Jahr zu Jahr stark ändern können.

Die auf der terrestrischen Kronenzustandserfassung beruhende Waldschadenserhebung hat folgende Vorteile:

1. Sie erbringt zeitnah bei vertretbarem Aufwand zuverlässige und vergleichbare Aussagen über den Waldzustand:

- Das Verfahren ist einfach, seine Prinzipien sind leicht vermittelbar. Durch den Einsatz von geschultem Fachpersonal ist die räumliche und zeitliche Vergleichbarkeit sichergestellt.

- Es erfordert einen vergleichsweise geringen Zeitaufwand (aufwendige Analysen oder Laborarbeiten sind nicht erforderlich). Dies erlaubt eine annähernd zeitgleiche und kostengünstige Durchführung und Auswertung der bundesweiten Erhebung.

2. Die mit Hilfe der jährlichen Waldschadenserhebung gewonnenen Daten bilden Zeitreihen, die bis in das Jahr 1984 zurückreichen.

Schleichende Veränderungen in den Waldökosystemen – wie z. B. die „Neuartigen Waldschäden“ oder die Auswirkungen der Klimaänderung – können nur mit Hilfe dieser langjährigen ununterbrochenen Zeitreihen erkannt und nachgewiesen werden. Die Waldschadenserhebung ist daher ein wichtiges Instrument der Umweltbeobachtung.

3. Die flächenrepräsentativen Daten der Waldschadenserhebung ermöglichen langfristig die Übertragung von Erkenntnissen aus punktbezogenen Beobachtungen und daraus abgeleiteten Modellen auf die Fläche. Auch die Dynamik der Veränderung von beispielhaft untersuchten Ökosystemen läßt sich damit übertragen und untersuchen.

Außerdem können die langfristigen Zeitreihen mit Daten anderer Erhebungen verknüpft werden, um auf diese Weise Erkenntnisse über die Ursache „Neuartiger Waldschäden“ zu bekommen.

Eine Beurteilung der „Neuartigen Waldschäden“ anhand des Kronenzustandes muß berücksichtigen, daß diese eine Komplexkrankheit sind, an deren Entstehung und Ausprägung vielfältige Faktoren in unterschiedlicher Intensität mitwirken.

### 3.1.3 Erhebungsdichte 1997

Dem diesjährigen Bericht liegen – wie in den Jahren 1984, 1986, 1991 und 1994 – die Ergebnisse einer bundesweiten Vollstichprobe zugrunde. Dabei werden Bäume in einem Stichprobenraster von mindestens 4 × 4 km (vgl. Anhang Tabelle 12) beurteilt.

Die folgenden Angaben über den Waldzustand in Deutschland sind Werte, die auf der Basis der im Rahmen der Waldschadenserhebung 1997 gewonnenen Daten für verschiedene Bezugseinheiten (Mehrzahl der Wuchsgebiete, Länder, Ländergruppen und Deutschland) errechnet wurden. Sie stehen für den Waldzustand in diesen Bezugseinheiten, wobei die Schadstufenanteile – von wenigen Ausnahmen abgesehen – auf ganze Zahlen gerundet sind. Von Angaben für größere Bezugseinheiten auf das Schadniveau und seine Entwicklung in kleineren Einheiten wie z. B. Gemeinden zu schließen, ist methodisch unzulässig. Die für Deutschland errechneten Werte geben die notwendigen Hinweise für die Beurteilung der Gesamtsituation des Waldzustandes und für den internationalen Vergleich.

In den Jahren zwischen den Vollstichproben (mindestens 4 × 4 km) wurden bundesweite Unterstichproben (mindestens 16 × 16 km) durchgeführt. Eine Unterstichprobe läßt in der Regel keine Aussage auf Wuchsgebietesebene zu.

Die neuen Länder führen seit 1990 die Waldschadenserhebung durch. Die dort inzwischen siebenjährige Zeitreihe gibt wesentliche Aufschlüsse über die Entwicklung des Waldzustandes in diesen Ländern. Ein Vergleich der Zeitreihe nach 1990, die die alten und neuen Länder umfaßt, mit den Ergebnissen vor 1990 (nur alte Länder) ist nur innerhalb von Ländern oder Ländergruppen möglich. 1990 konnten wegen der schweren Sturmschäden einige Landesforstverwaltungen keine Waldschadenserhebung durchführen und kein Landesergebnis ausweisen. Ein Bundesergebnis sowie ein Ergebnis für die Gruppe der „süddeutschen Länder“ wurde daher damals nicht errechnet.

1996 hat sich Nordrhein-Westfalen (NW) und Baden-Württemberg auf die Aufnahme der EU-Punkte im Raster 16 × 16 km beschränkt. Von diesem Raster werden in NW weniger als 1000 Bäume erfaßt. Dieser Stichprobenumfang reicht wegen mangelnder Repräsentativität für die Berechnung eines Landesergebnisses in NW nicht aus. Die aus den Länderergebnissen hergeleiteten Bundesaussagen sollten dennoch mit denen früherer Jahre vergleichbar sein. Daher wurde für 1996 aus den Zeitreihen der letzten Jahre ein Korrekturwert für den durchschnittlichen Einfluß von NW auf das Bundesergebnis hergeleitet.

## 3.2 Waldschadenserhebung – Ergebnisse 1997

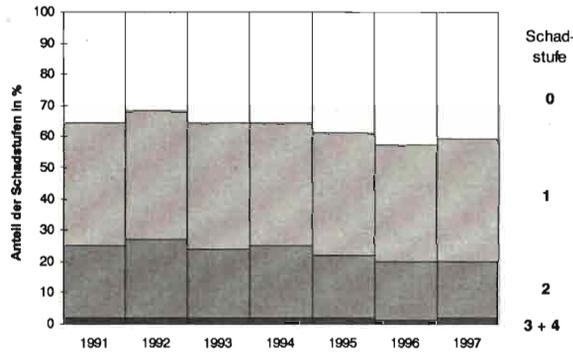
### 3.2.1 Bundesübersicht

Nach den Ergebnissen der Waldschadenserhebung 1997 werden wie im Vorjahr auf 20 % der Waldfläche im Bundesgebiet deutliche Schäden festgestellt. 39 % der Wälder sind schwach geschädigt, ohne erkennbare Schadmerkmale sind 41 % (vgl. Abbildung 1). Insgesamt gesehen stagniert damit in diesem Jahr die seit 1992 beobachtete allmähliche Verbesserung des Waldzustandes.

Bei der Beurteilung dieser Gesamtzahl ist jedoch zu berücksichtigen, daß die einzelnen Baumarten verschiedene ökologische Ansprüche aufweisen und auf Streßeinflüsse unterschiedlich reagieren. Daher werden im folgenden die vier Hauptbaumarten getrennt dargestellt.

Abbildung 1:

**Entwicklung der Waldschäden in Deutschland von 1991 bis 1997**



	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0	36	32	36	36	39	43	41
1	39	41	40	39	39	37	39
2	23,0	24,5	22,0	22,7	20,3	19,0	18,2
3	2,0	1,8	2,0	1,6	1,5	1,1	1,3
4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
2-4	25	27	24	25	22	20	20
Schadstufe	Anteil der Schadstufen (%)						

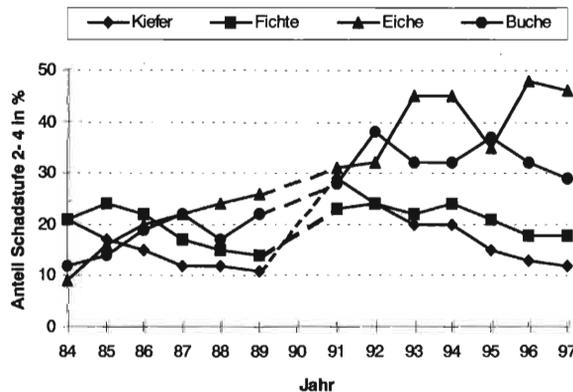
**3.2.2 Hauptbaumarten**

In Deutschland stehen auf  $\frac{2}{3}$  der Waldfläche Nadelbäume und auf  $\frac{1}{3}$  Laubbäume. Mit durchschnittlich

16 % ist der Anteil deutlicher Schäden bei den Nadelbäumen wesentlich geringer als bei den Laubbäumen, wo er 29 % beträgt.

Abbildung 2:

**Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten (vgl. auch Abbildung 7)**



Baumart	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Fichte	21	24	22	17	15	14		23	24	22	24	21	18	18
Kiefer	21	17	15	12	12	11		29	24	20	20	15	13	12
Buche	12	14	19	22	17	22		28	38	32	32	37	32	29
Eiche	9	16	20	22	24	26		31	32	45	45	35	48	46

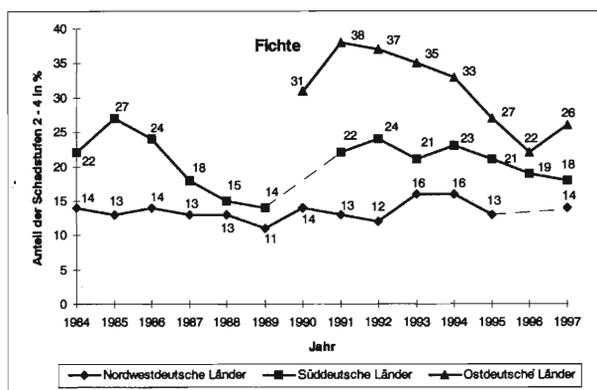
Die **Fichte** ist mit ca. 33 % Anteil an der Waldfläche die häufigste Baumart in Deutschland. Hiervon weisen 18 % deutliche Schäden auf. Der Anteil schwacher Schäden liegt bei 35 % und ohne Schadmerkmale sind 47 %. Seit 1994 zeigt sich für die Fichte ein Trend zur Verbesserung (vgl. Abbildung 3 sowie Anhang-Tabellen 2a, 3 und 4). Dieser hat sich in diesem Jahr jedoch nur in der süddeutschen Ländergruppe fortgesetzt.

Am häufigsten sind deutliche Schäden bei Fichte in Thüringen (34 %). Es folgen Sachsen (25 %) und Hessen (23 %) sowie Schleswig-Holstein (22 %) und Bremen (23 %). In Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen sind deutliche Schäden mit 19, 15 bzw. 14 % seltener. Die wenigsten Schäden werden bei Fichte in den Ländern festgestellt, die allgemein wenig Waldschäden haben (Mecklenburg-Vorpommern).

Abbildung 3:

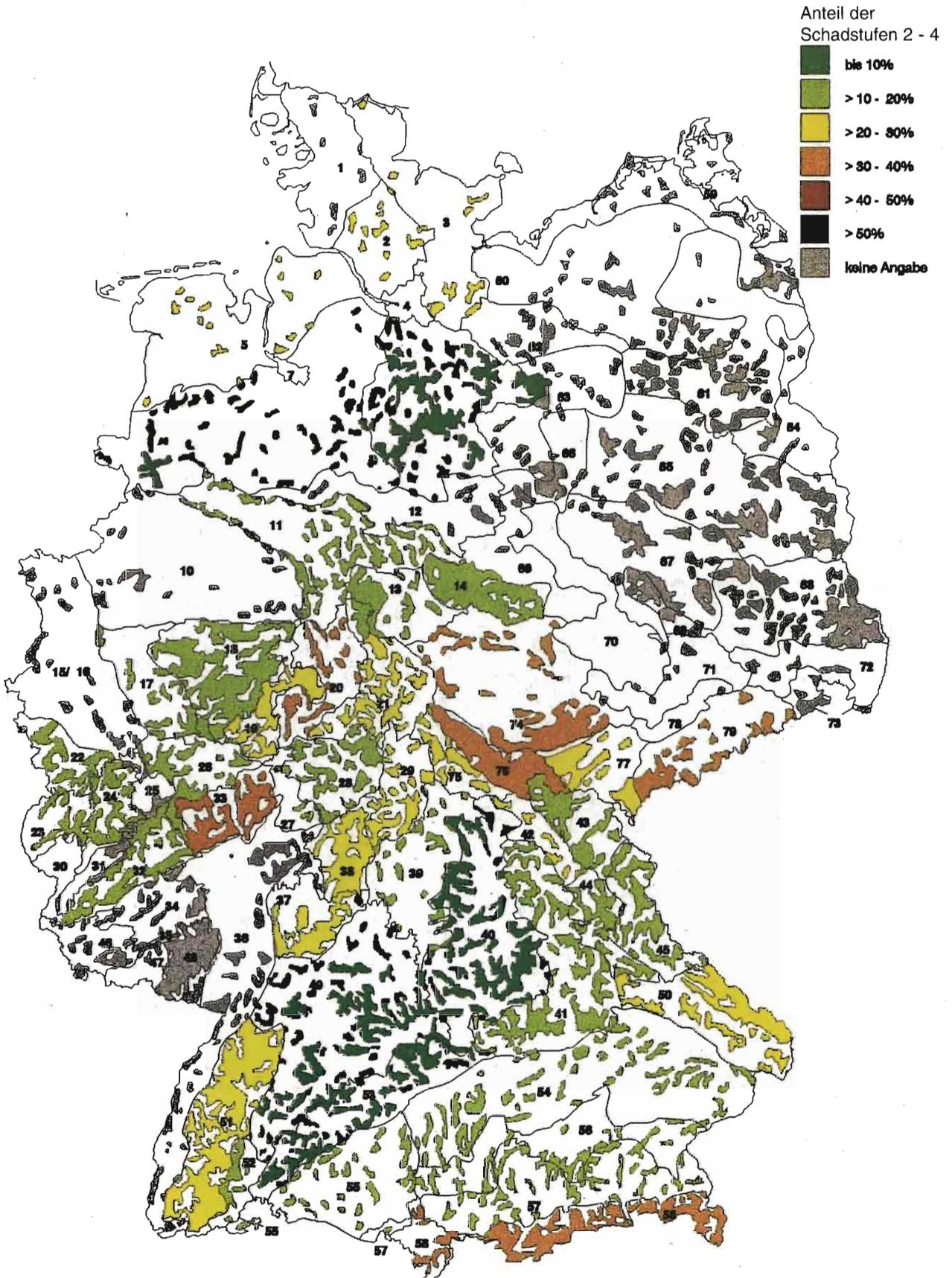
### Entwicklung der Waldschäden bei der Fichte

Gruppe der ostdeutschen Länder, 1990:  
Ergebnis aufgrund Erhebung im 16 × 16 km-Raster



Karte 1:

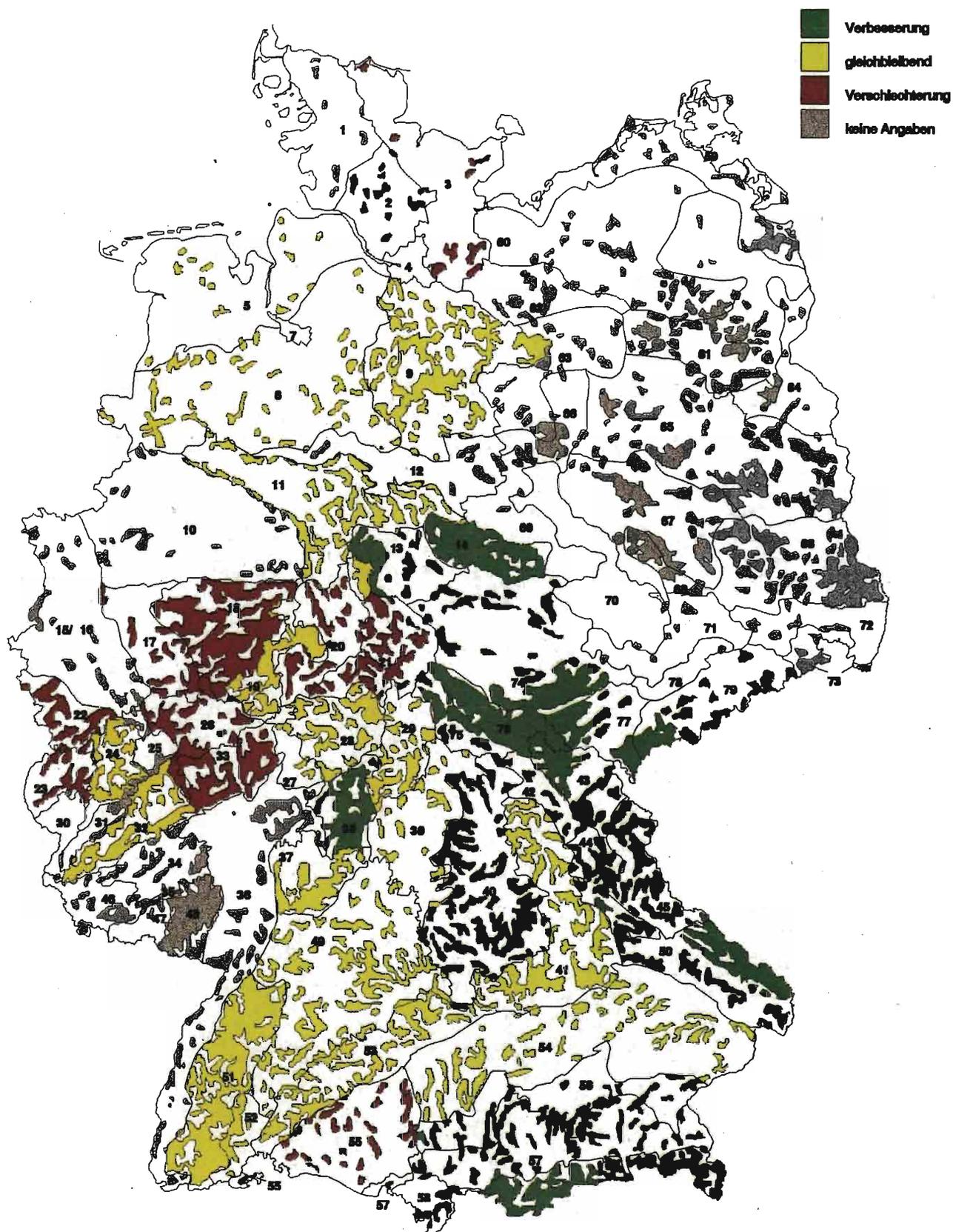
**Waldschäden an Fichte in den Wuchsgebieten**



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Karte 2:

## Änderung der Waldschäden an Fichte in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Die **Kiefer** ist mit ca. 28 % Anteil an der Waldfläche die zweithäufigste Baumart in Deutschland. Bundesweit weisen 12 % der Kiefern deutliche Schäden auf; der Anteil der schwachen Schäden liegt bei 43 %, ohne Schadmerkmale sind 45 %. Seit 1991 ging der Anteil der deutlichen Schäden erheblich zurück, und zwar von 29 % auf 12 %. Dies wurde maßgeblich

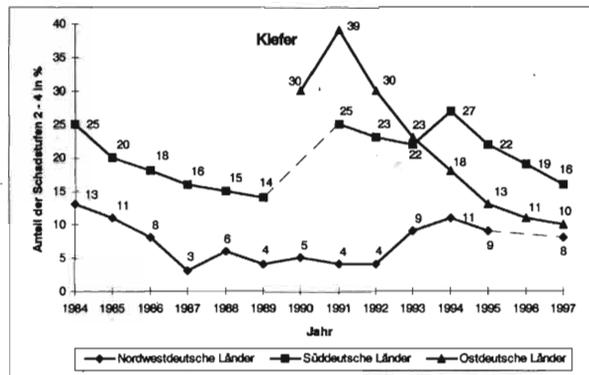
durch die Entwicklung in der kiefernreichen ostdeutschen Ländergruppe bestimmt, wo der Anteil deutlicher Schäden von 39 auf 10 % zurückgegangen ist (vgl. Abbildung 4 sowie Anhang-Tabellen 2a, 3 und 4).

Besonders stark betroffen ist die Kiefer in Thüringen und Hessen mit 38 % bzw. 32 % deutlichen Schäden.

Abbildung 4:

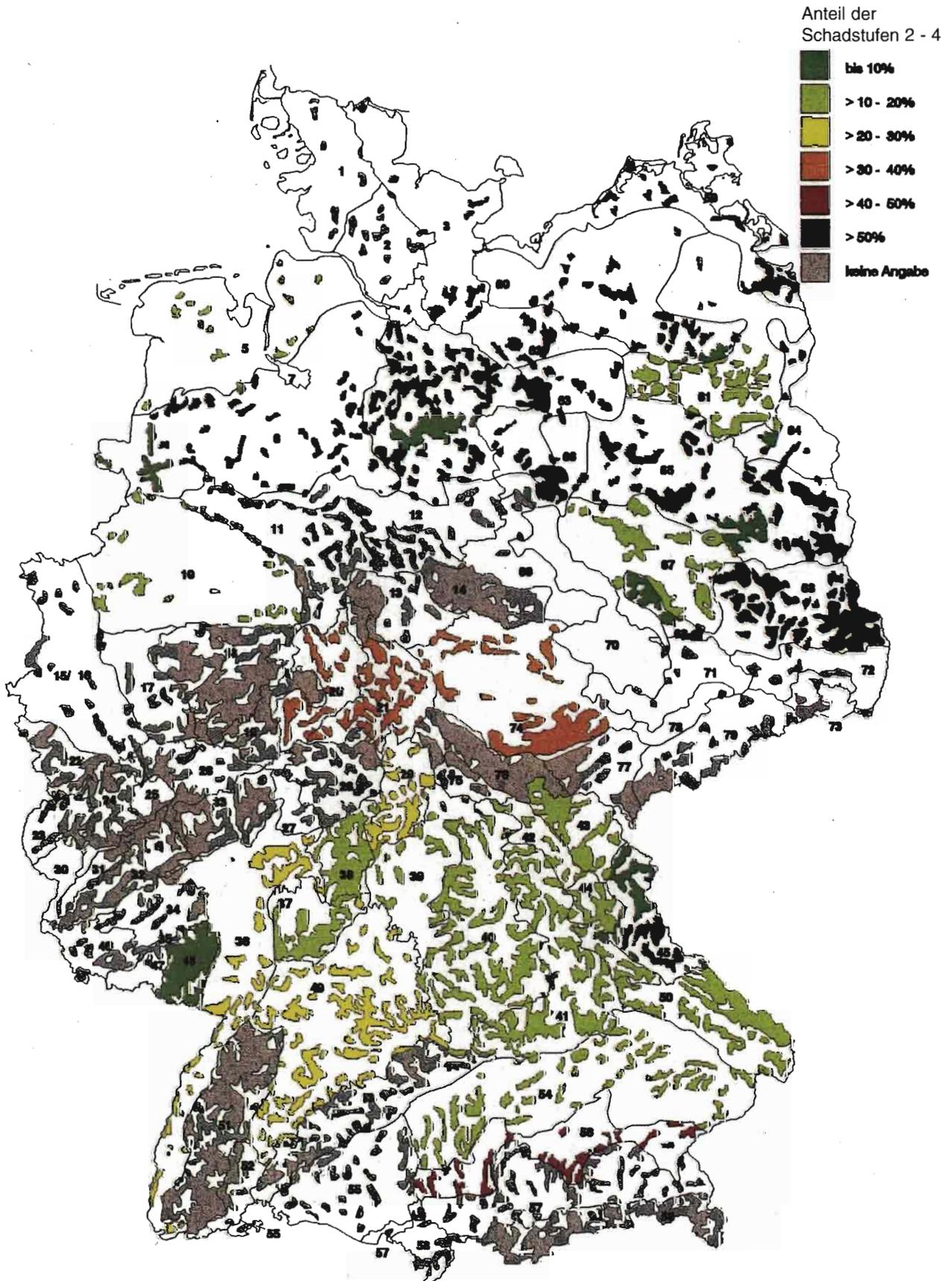
### Entwicklung der Waldschäden bei der Kiefer

Gruppe der ostdeutschen Länder, 1990:  
Ergebnis aufgrund Erhebung im 16 × 16 km-Raster



Karte 3:

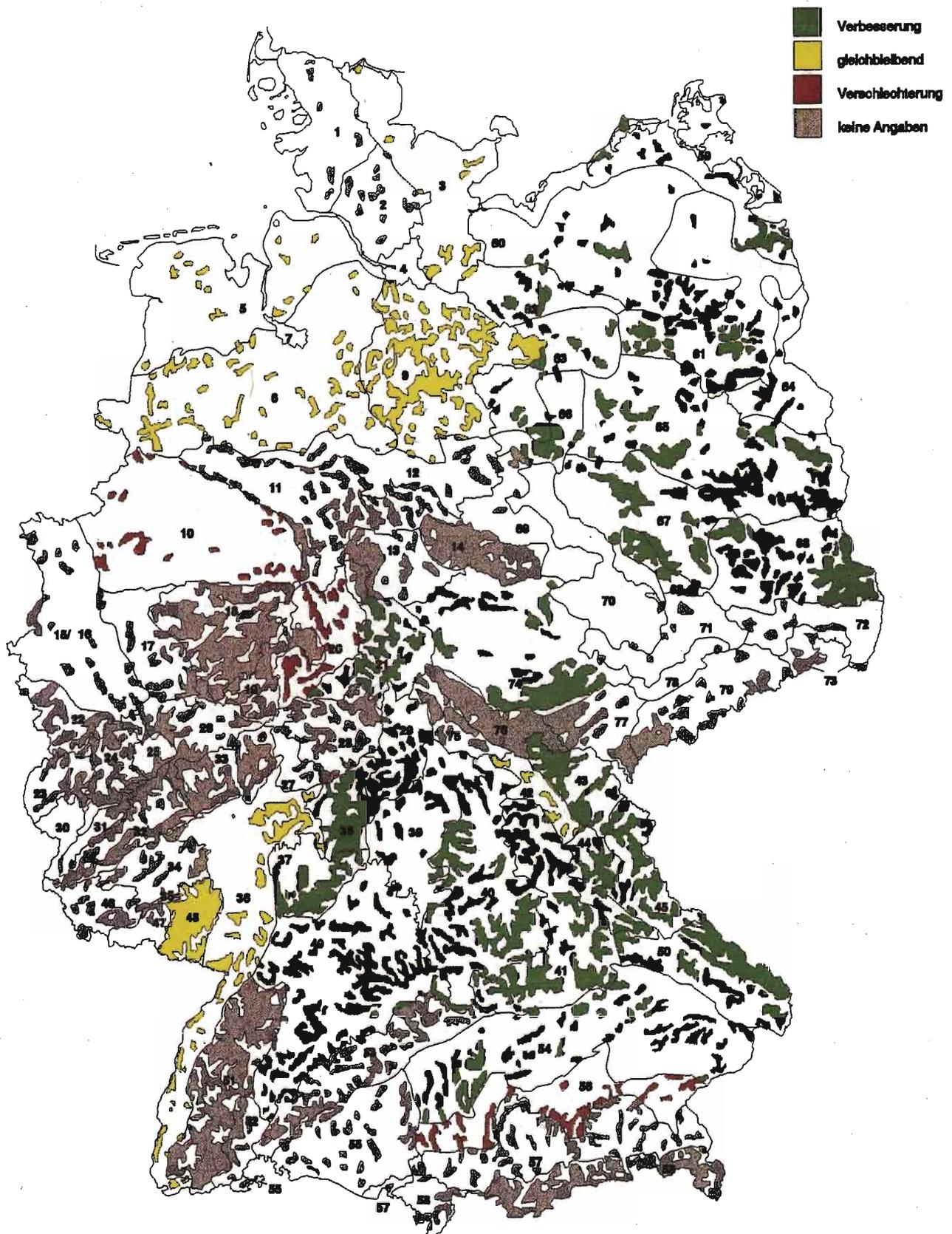
### Waldschäden an Kiefer in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Karte 4:

**Änderung der Waldschäden an Kiefer in den Wuchsgebieten**



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Die **Buche** ist mit ca. 14 % Anteil an der Waldfläche die häufigste Laubbaumart in Deutschland. Bundesweit weisen 29 % der Buchen deutliche und 45 % schwache Schäden auf; ohne Schädmerkmale sind 26 %. Das ist eine deutliche Verbesserung gegenüber der Periode von 1992 bis 1996, wo die deutlichen

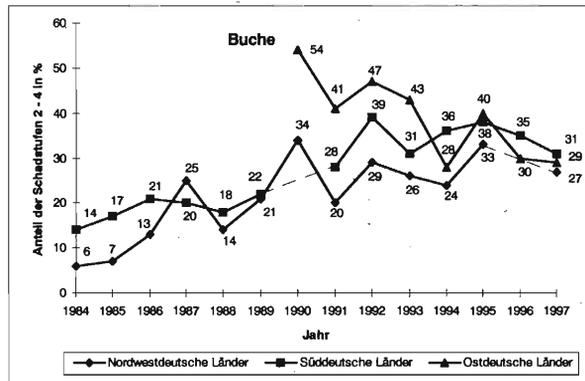
Schäden Anteile zwischen 32 % und 38 % hatten (vgl. Abbildung 5 und Anhang-Tabellen 2 b, 3 und 4).

Maßgeblichen Einfluß auf dieses Ergebnis hatte die Verbesserung der Buche in den süddeutschen Ländern.

Abbildung 5:

### Entwicklung der Waldschäden bei der Buche

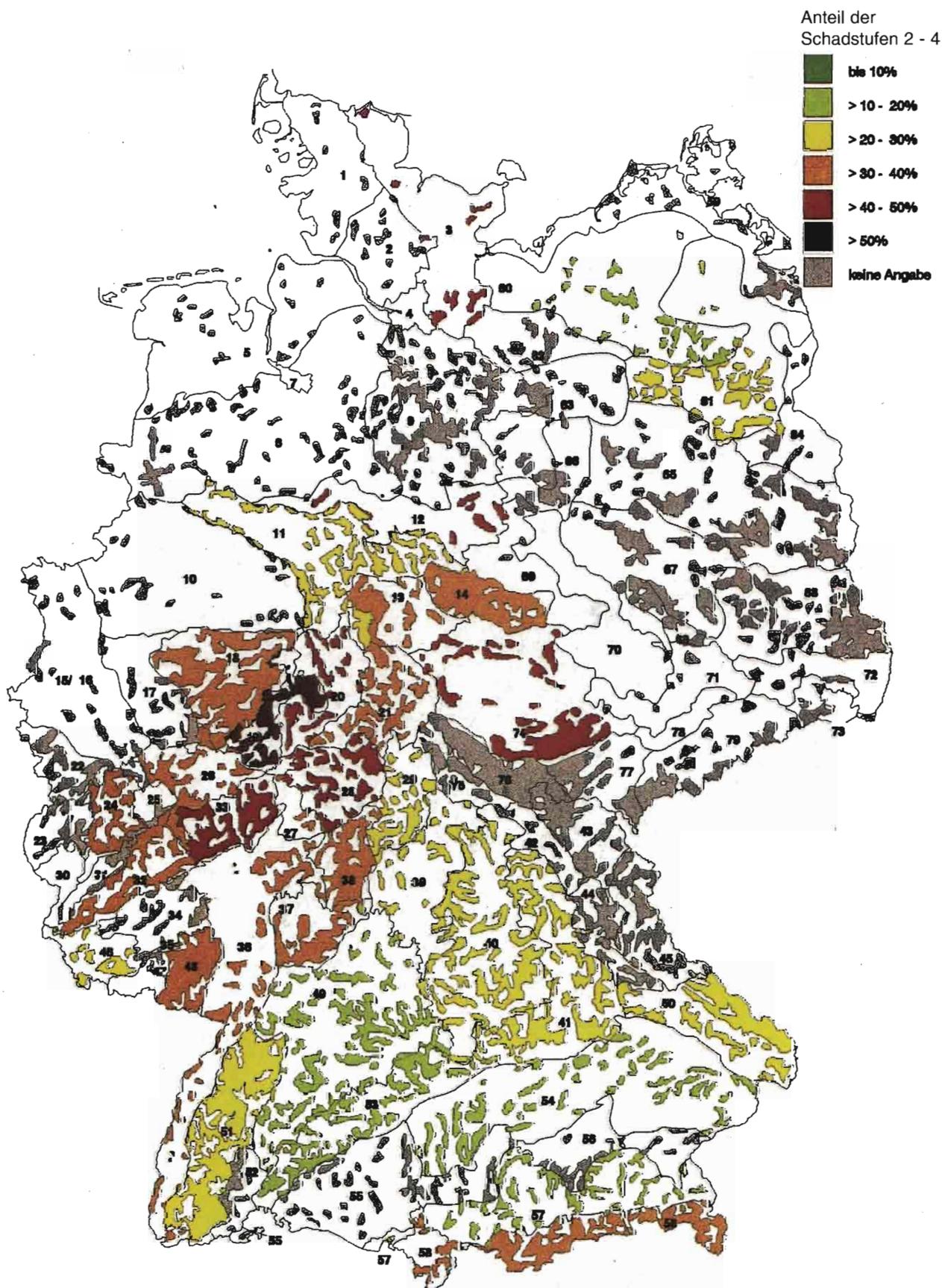
Gruppe der ostdeutschen Länder, 1990: Ergebnis aufgrund Erhebung im 16 × 16 km-Raster



Am häufigsten sind deutliche Schäden bei Buche in Thüringen (41 %), Hessen (40 %) und Schleswig-Holstein (40 %).

Karte 5:

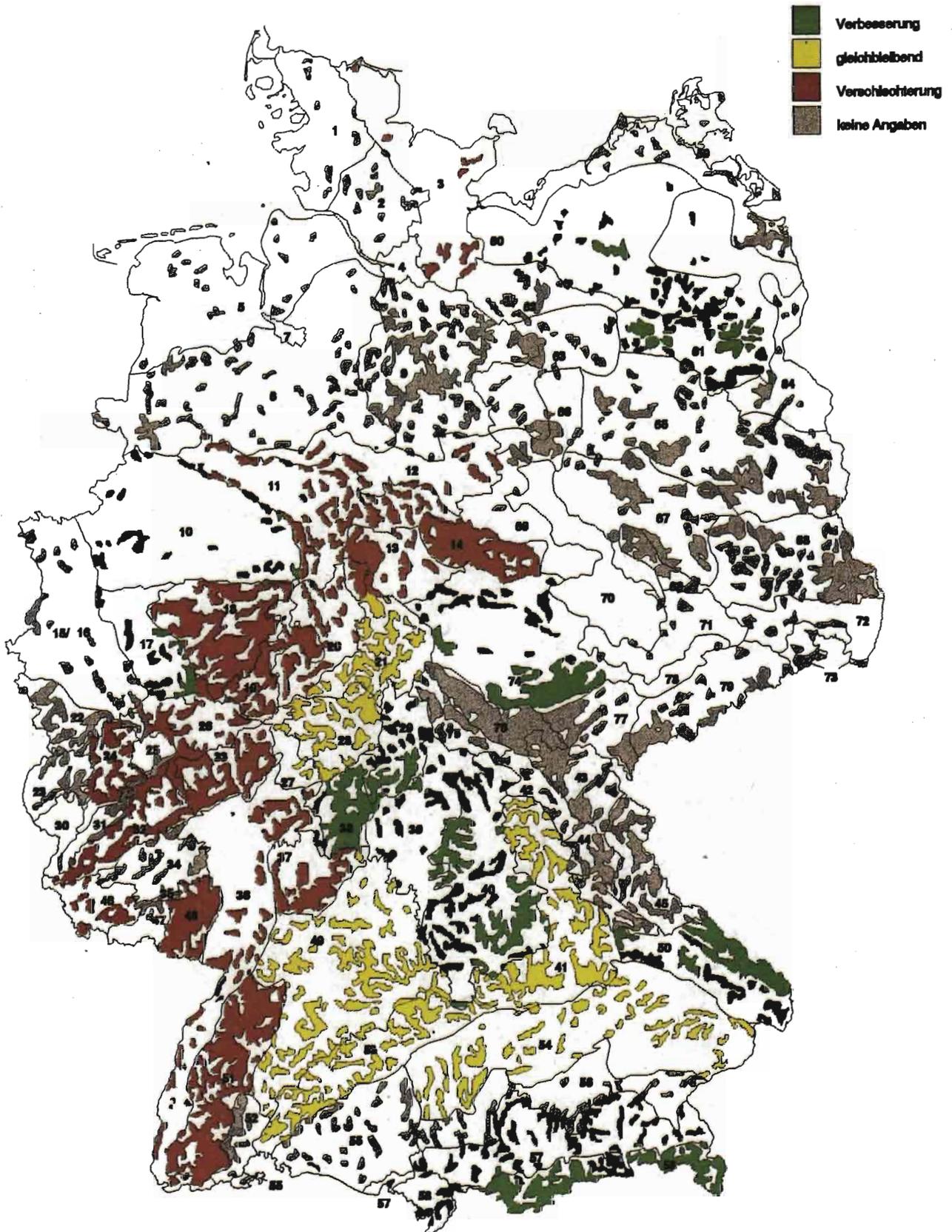
### Waldschäden an Buche in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Karte 6:

### Änderung der Waldschäden an Buche in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Die **Eiche** folgt mit ca. 9 % Anteil an der Waldfläche ihrer Häufigkeit nach an vierter Stelle der Baumarten in Deutschland. Bundesweit weist knapp die Hälfte aller Eichen deutliche Schäden auf (46 %) (vgl. Abbildung 6 sowie Anhang-Tabellen 2b, 3 und 4). Gegenüber dem Vorjahr ist eine leichte Verbesserung um 2 %-Punkte festzustellen. Der Anteil der schwachen Schäden liegt bei 36 %; ohne Schadmerkmale sind 18 %.

Damit ist die Eiche mit Abstand die am stärksten geschädigte Baumart. In der nordwestdeutschen Län-

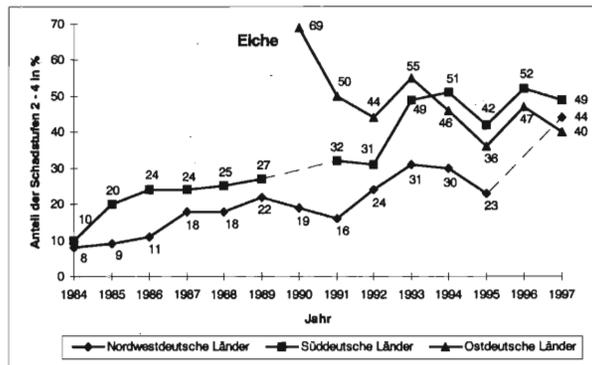
dergruppe, wo die Eiche bislang noch weniger geschädigt war, hat sich der Anteil deutlicher Schäden im Vergleich zu 1995 (1996 wurde kein Ergebnis ermittelt) fast verdoppelt. Weit unter dem Bundesdurchschnitt liegt der Anteil deutlicher Schäden bei Eiche mit 13 bis 28 % in den nord- und nordostdeutschen Ländern von Schleswig-Holstein bis Brandenburg sowie im Saarland.

Die Eiche ist die Baumart, die seit Beginn der Erhebung die stärkste Zunahme deutlicher Schäden aufweist.

Abbildung 6:

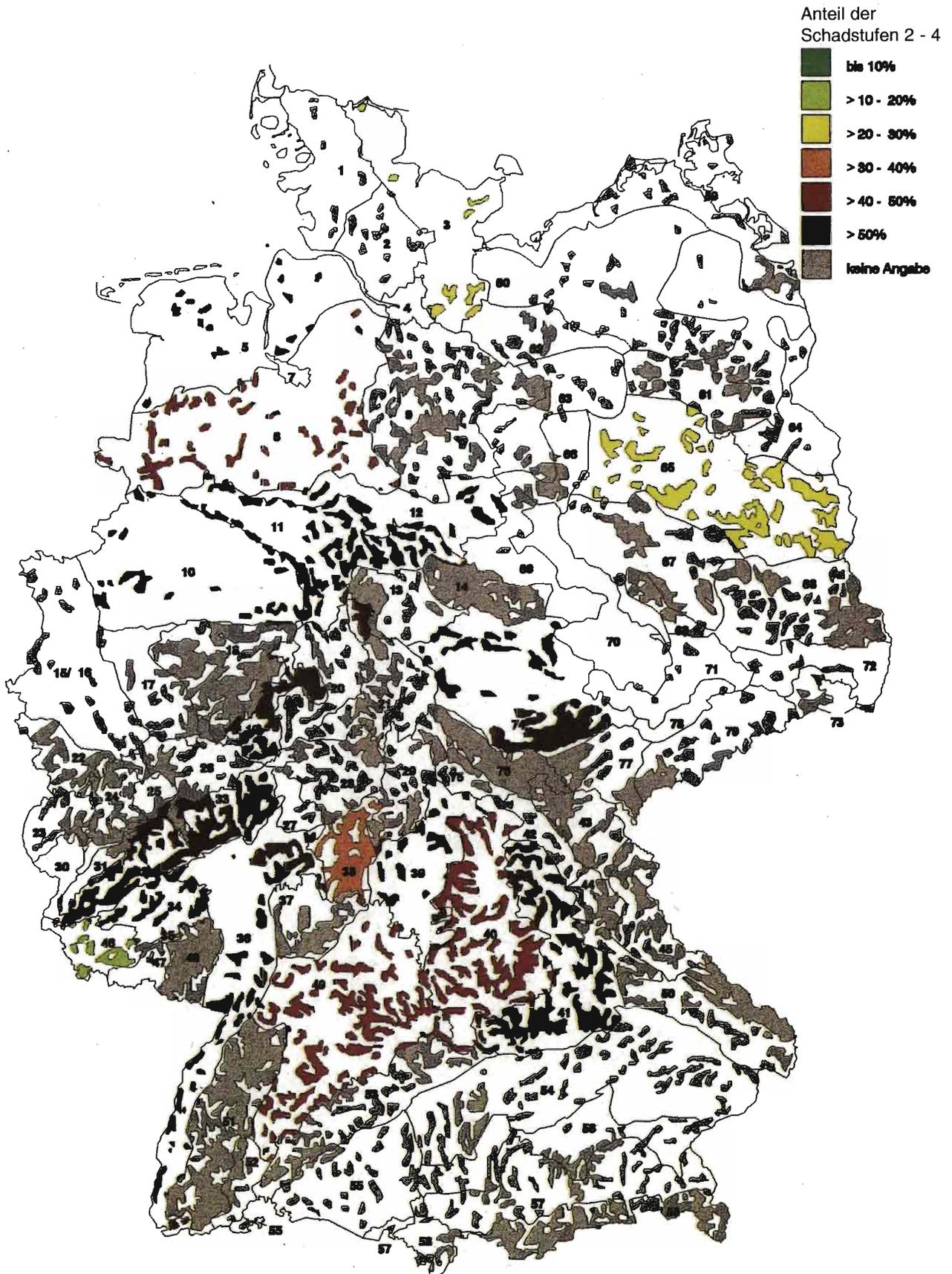
**Entwicklung der Waldschäden bei der Eiche**

Gruppe der ostdeutschen Länder, 1990:  
Ergebnis aufgrund Erhebung im 16 × 16 km-Raster



Karte 7:

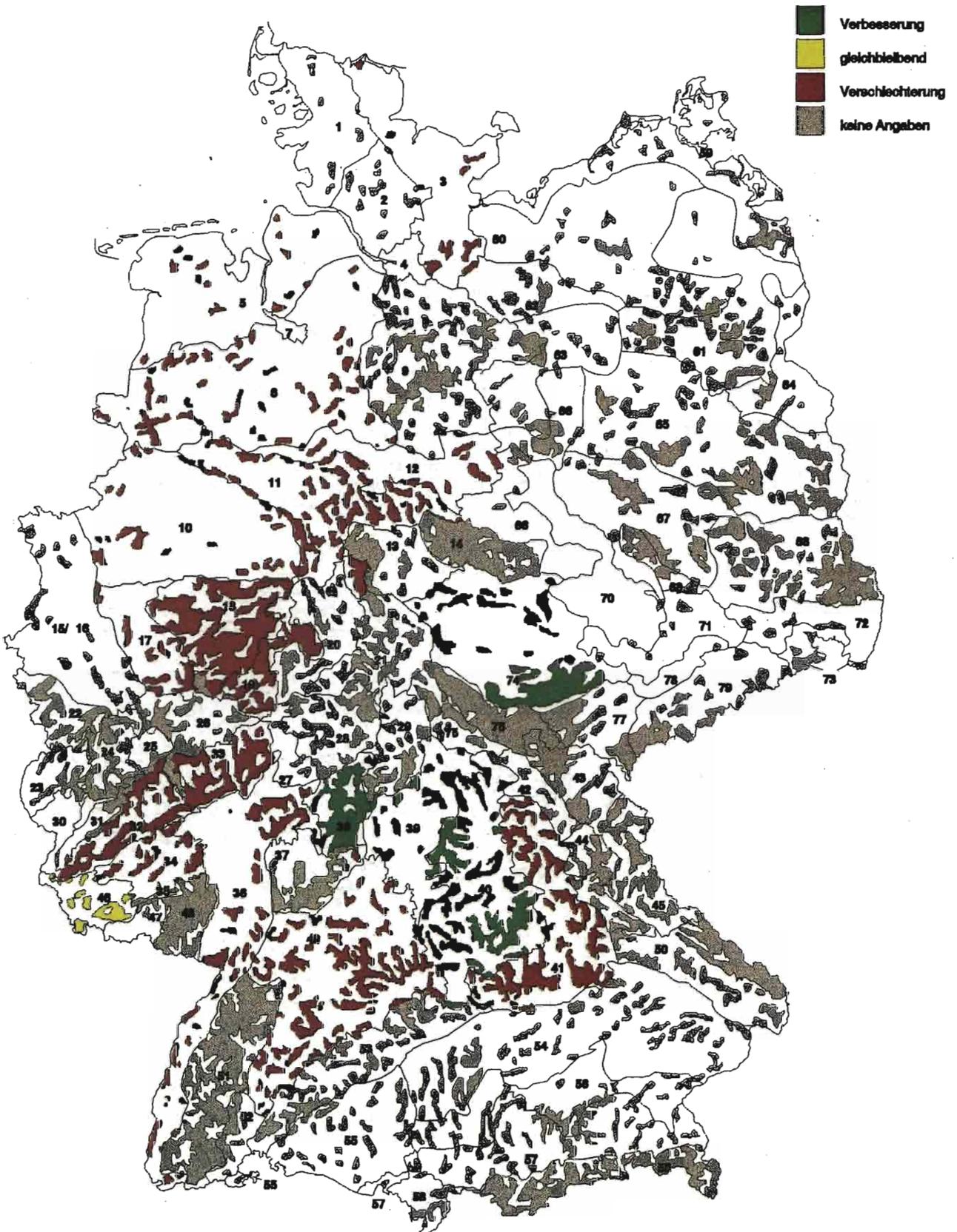
## Waldschäden an Eiche in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Karte 8:

### Änderung der Waldschäden an Eiche in den Wuchsgebieten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Die **Tanne** ist in ihrem Vorkommen im wesentlichen auf den süddeutschen Raum (vor allem Baden-Württemberg und Bayern) begrenzt und nimmt in bezug auf die gesamte Waldfläche Deutschlands lediglich einen Flächenanteil von unter 2 % ein.

Seit Beginn der systematischen Waldschadenserhebung im Jahre 1984 ist die Tanne immer die am stärksten geschädigte Baumart gewesen. In diesem Jahr weist die Waldschadenserhebung eine erhebliche

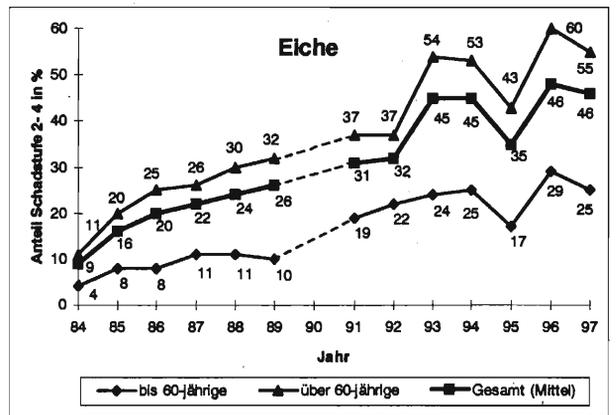
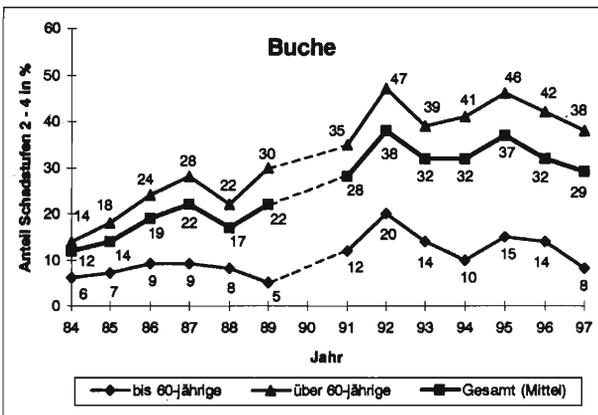
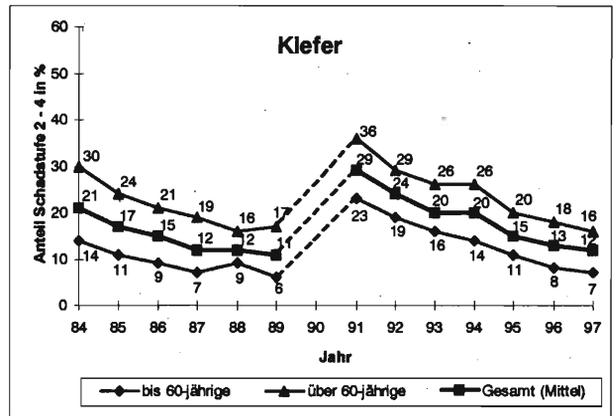
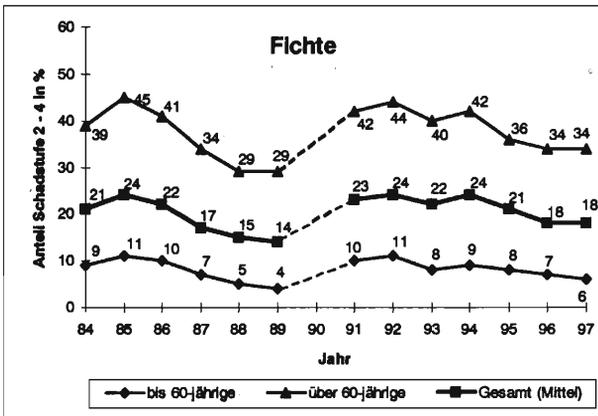
Verbesserung aus (Anhang-Tabelle 6). Der Anteil deutlicher Schäden ist bei der Tanne mit 32 % so gering wie noch nie zuvor seit Beginn der Erhebung. Ob damit eine grundlegende Verbesserung eingeleitet ist oder ob dieses Ergebnis nur auf günstige Wuchsbedingungen in diesem Jahr zurückzuführen ist, bleibt abzuwarten.

**Sonstige Baumarten** sind wegen ihres geringen Anteils nicht einzeln auswertbar.

**3.2.3 Alter**

Abbildung 7:

**Entwicklung der Waldschäden nach Baumarten und Altersgruppen in Deutschland**



Die bisherigen Ergebnisse der Waldschadenserhebung zeigen, daß ältere Bäume unter sonst gleichen Bedingungen im allgemeinen eine stärkere Kronenverlichtungen aufweisen als jüngere (s. Abbildung 7 sowie Anhang-Tabelle 4).

Der Anteil der deutlichen Schäden liegt bei den über 60jährigen Probestämmen erheblich, meist um ein mehrfaches höher als bei den unter 60jährigen.

**3.2.4 Vergilbung**

Die Waldschadenserhebung erfaßt – neben dem Nadel-/Blattverlust – die Vergilbung als zweites Merkmal für die Eingruppierung in die Schadstufen. Sie ist ein äußeres Anzeichen für die Wirkung von Ernährungsstörungen, Schadstoffen, Witterungsextremen sowie von bestimmten Schaderregern (vor allem Pilze) und kann sich von Jahr zu Jahr verändern.

Vergilbungen, die mehr als ein Viertel der Nadel-/Blattmasse erfassen, führen zur Eingruppierung des betreffenden Stichprobenbaumes in eine höhere Schadstufe als sich allein aus dem Nadel-/Blattverlust ergäbe (vgl. Tabelle 1). Auf das Ergebnis der Waldschadenserhebung hat das seit einigen Jahren jedoch praktisch keinen Einfluß, denn bei 3 % Probebäumen mit Vergilbungen seit einigen Jahren wird lediglich für 0,1 % der Probebäume eine höhere Schadstufe ermittelt.

Bislang war insbesondere die Tanne von Vergilbungen betroffen. In diesem Jahr sind Vergilbungen bei allen Baumarten mit 2 bis 3 % jedoch so selten, daß ihnen kaum eine Bedeutung als Schadsymptom zukommt.

### 3.2.5 Ersatz von Stichprobenbäumen

Das Stichprobenkollektiv, auf dem die Aussagen des Bundesberichtes beruhen, kann sich von Jahr zu Jahr durch das Ausscheiden von Probepunkten und Probebäumen ändern. Es scheiden jedoch nur so wenig Bäume aus, daß sich dies auf die Schadstufenverteilung kaum auswirkt.

- Im Rahmen der diesjährigen Waldschadenserhebung (bundesweite Vollstichprobe) wurden an 7 558 Stichprobenpunkten 211 852 Bäume erfaßt.
- Seit der jeweils letzten Erhebung sind 74 Stichprobenpunkte vollständig ausgefallen, das sind 1,0 % aller Stichprobenpunkte. Diese werden wieder in der Waldschadenserhebung erfaßt, sobald der Aufwuchs der jungen Bäume mehr als kniehoch ist (gesicherte Verjüngung).

An 32 Punkten schieden alle Stichprobenbäume aufgrund abiotischer Schäden (z.B. Sturm, Feuer oder Trocknis) und zwölf Punkte aufgrund von Insektenbefall aus. An 32 Punkten wurden alle Stichprobenbäume im Rahmen der ordnungsgemäßen Forstwirtschaft genutzt. Bei acht Punkten konnte die Ursache für das Ausscheiden der Bäume nicht festgestellt werden.

- 1997 sind seit der letzten Erhebung insgesamt (einschließlich der Bäume an komplett ausgefallenen Punkten) 5,5 % bzw. 7 186 der über 60jährigen Stichprobenbäume ausgeschieden.
  - 1 203 Bäume schieden wegen abiotischer Einflüsse (vor allem Sturmwurf, Schneebruch, Feuer) aus; diese Bäume wurden zum größten Teil im Rahmen von Durchforstungen entnommen.
  - 762 Bäume waren so schwer von Insekten und/oder Pilzen befallen, daß sie entnommen wurden (700) oder abstarben (62).
  - 550 Bäume schieden aus der Erhebung aus, weil sie im Konkurrenzkampf ihren Nachbarn unterlegen waren und jetzt nicht mehr am Kronendach beteiligt sind.
  - 232 Bäume waren durch den Wind so stark angeschoben worden oder ihre Krone war abgebrochen worden, so daß die Bäume nicht mehr bonitiert werden konnten.

- 3 178 Bäume waren im Zuge einer langfristig geplanten Nutzung entnommen worden.
- Bei 1 261 Bäumen konnten die Ursachen für eine Entnahme (1 164) bzw. für ein Absterben (97) nicht mehr ermittelt werden.
- Ausgeschiedene Einzelbäume werden nach objektiven Kriterien ersetzt. Ein Vergleich der Schadstufenverteilung der ausgefallenen Bäume und ihrer Ersatzbäume zeigt zwar Unterschiede, ein merklicher Einfluß auf die Schadstufenverteilung des gesamten Kollektivs der über 60jährigen Bäume ist jedoch wegen der geringen Anzahl ausgeschiedener Bäume nicht gegeben. Der Anteil der Schadstufen verändert sich durch den Ersatz von Stichprobenbäumen um 0,3 bis 0,4 % (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2:

### Waldschadenserhebung 1997 – Schadstufenverteilung der ausgefallenen Einzelbäume und ihrer Ersatzbäume

über 60jährige Bäume	Schadstufen			
	0	1	2	3 + 4
Schadstufenverteilung der				
– Ausfälle (5 815 Bäume)	12 %	42 %	38 %	9 %
– Ersatzbäume	26 %	48 %	30 %	2 %
Veränderung in Relation zum Kollektiv der über 60jährigen Bäume (122 443 Bäume)	+ 0,35 %	+ 0,30 %	– 0,36 %	– 0,31 %

Da bei einer Vollstichprobe, wie in diesem Jahr, die letzte Erhebung für viele Stichprobenpunkte und -bäume mehrere Jahre zurückliegt, ist die Anzahl der ausgefallenen Stichprobenbäume größer als im vergangenen Jahr. Daraus darf nicht auf eine erhöhte Mortalität der Bäume geschlossen werden. Bei der letzten Vollstichprobe (1994) waren 6,0 % der Probebäume ausgefallen.

Bestandesverlichtungen, die an örtlich begrenzten Schadensschwerpunkten z.B. durch Immissionen oder Insekten entstanden sind, können mit dem Stichprobenverfahren der terrestrischen Waldschadenserhebung nicht erfaßt werden. Die Länder führen hierzu spezielle Erhebungen durch.

### 3.2.6 Wuchsgebiete

Forstliche Wuchsgebiete sind großräumige Landschaften, deren geologische, klimatische und pflanzensoziologische Verhältnisse ähnliche Merkmale aufweisen. Die Auswertung der Waldschadenserhebung nach Wuchsgebieten zeigt die starke räumliche Differenzierung der Waldschäden (vgl. Karte 9 und Karte 10 sowie Anhang, Tabellen 9 bis 11). Sie hängen jedoch nicht nur von den natürlichen Gegebenheiten und den Luftbelastungen eines Wuchsgebietes

tes, sondern auch von der vorhandenen Baumartenzusammensetzung und der Altersstruktur ab.

Wuchsgebiete, in denen der Anteil der deutlich geschädigten Bäume 30 % übersteigt, werden als Hauptschadgebiete bezeichnet. Dies ist in diesem Jahr in zehn von insgesamt 78 Wuchsgebieten der Fall. Das sind nur noch etwa halb so viele wie in den Jahren 1991 und 1994. Dazu zählen drei der 21 ostdeutschen Wuchsgebiete und sieben der 41 süddeutschen Wuchsgebiete; die 16 Wuchsgebiete der nordwestdeutschen Länder sind keine Hauptschadgebiete.

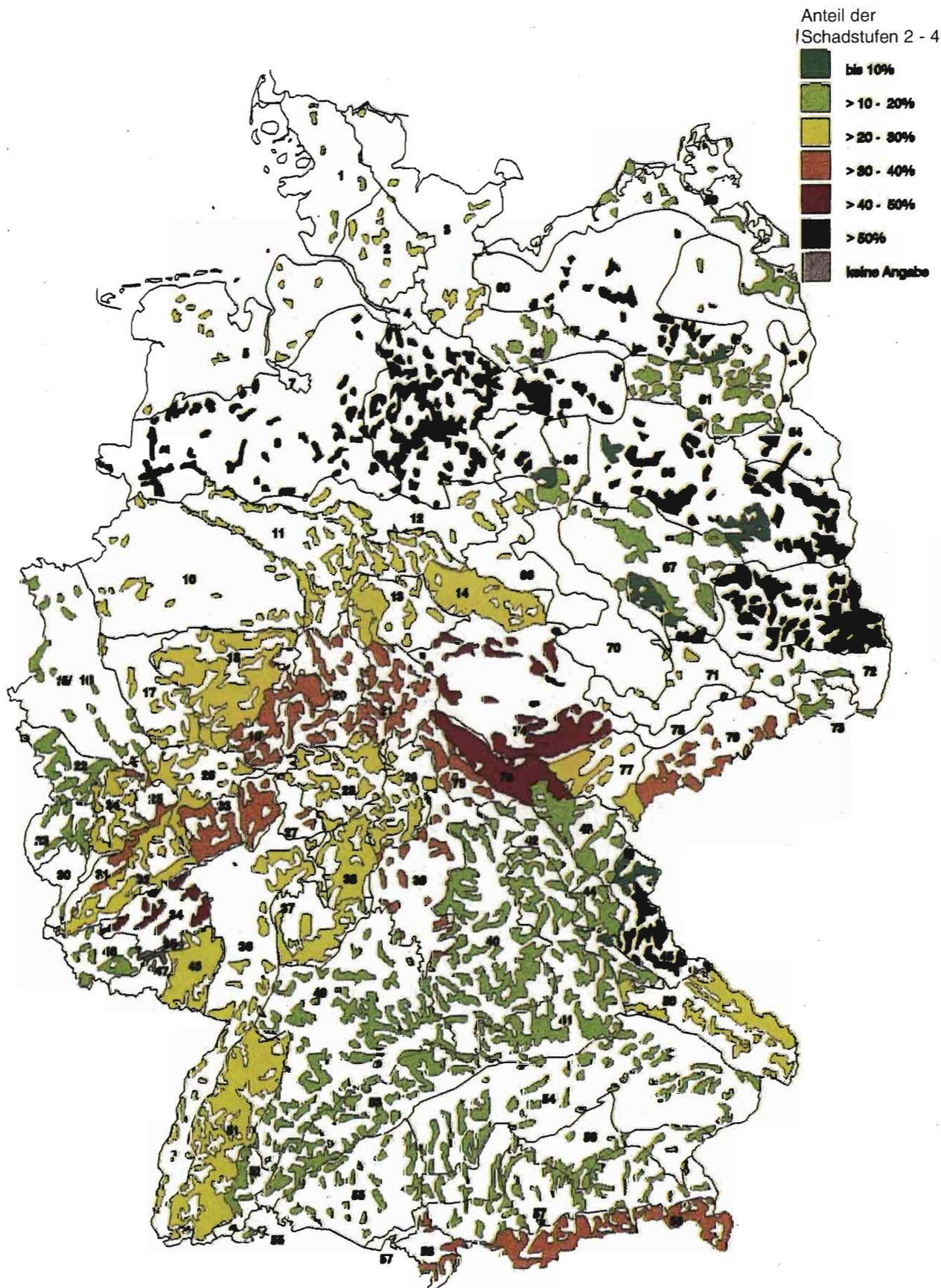
In vier diesjährigen Hauptschadgebieten haben die deutlichen Schäden im Vergleich zu 1994 abgenommen (Fränkische Platte und drei Thüringer Wuchsgebiete), in dreien sind die Schäden ungefähr gleich

geblieben (Bayerische Alpen sowie Nördliches Hessisches Schiefergebirge und Nordwesthessisches Bergland) und in zweien haben die Schäden weiter zugenommen (Taunus, Saar-Nahe-Berg- und Hügelland). Im Nordosthessischen Bergland wurde die 30-%-Schwelle nach einer stetigen Zunahme der deutlichen Schäden seit 1986 in diesem Jahr erstmals überschritten.

Im Erzgebirge wird seit 1991 ein gleichbleibend hohes Schadniveau registriert. Durch die Einwirkungen von SO<sub>2</sub> und Frost im Winter 1995/96, die auf 50000 ha akute Schädigungen verursachten, haben sich die Schäden dort auf weiterhin extrem hohem Niveau gehalten. Eine Trendwende ist nicht erkennbar. Innerhalb des Wuchsgebietes zeichnen sich nochmals Schadschwerpunkte ab.

Karte 9:

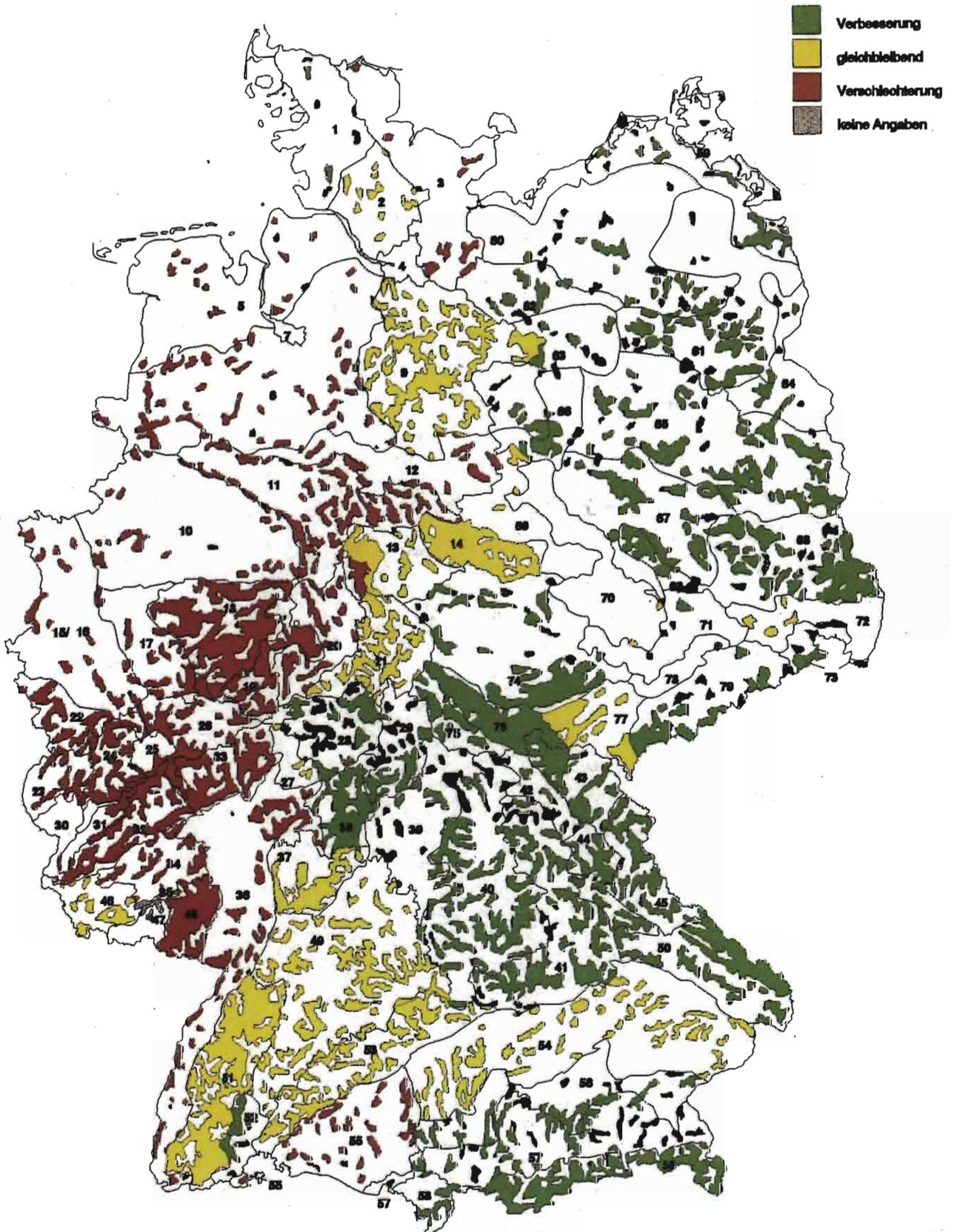
Waldschäden in den Wuchsgebieten 1997, alle Baumarten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Karte 10:

## Waldschäden in den Wuchsgebieten, Veränderung seit 1991, alle Baumarten



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMLPLIS/Umweltbundesamt 1997

**3.2.7 Länder und Ländergruppen**

Die Waldschadenssituation in den einzelnen Ländern und Ländergruppen ist in Abbildung 8 und Karte 11 und Karte 12 dargestellt. Die geringsten Schäden finden sich in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen.

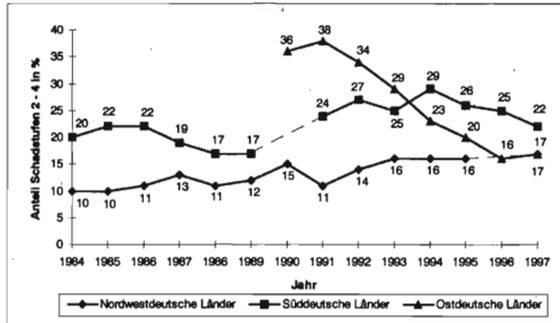
Die höchsten Anteile deutlicher Schäden wurden in Thüringen und Hessen festgestellt. Im mehrjährigen

Trend wird östlich einer Linie von Mecklenburg-Vorpommern bis Bayern eine Verbesserung des Waldzustandes festgestellt, während westlich davon eher eine leichte Verschlechterung zu beobachten ist.

Über die Entwicklung der Waldschäden in den Ländern seit 1991 informieren Karte 12 und Tabelle 1 im Anhang. Einen Überblick nach Ländergruppen geben auch Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10.

Abbildung 8:

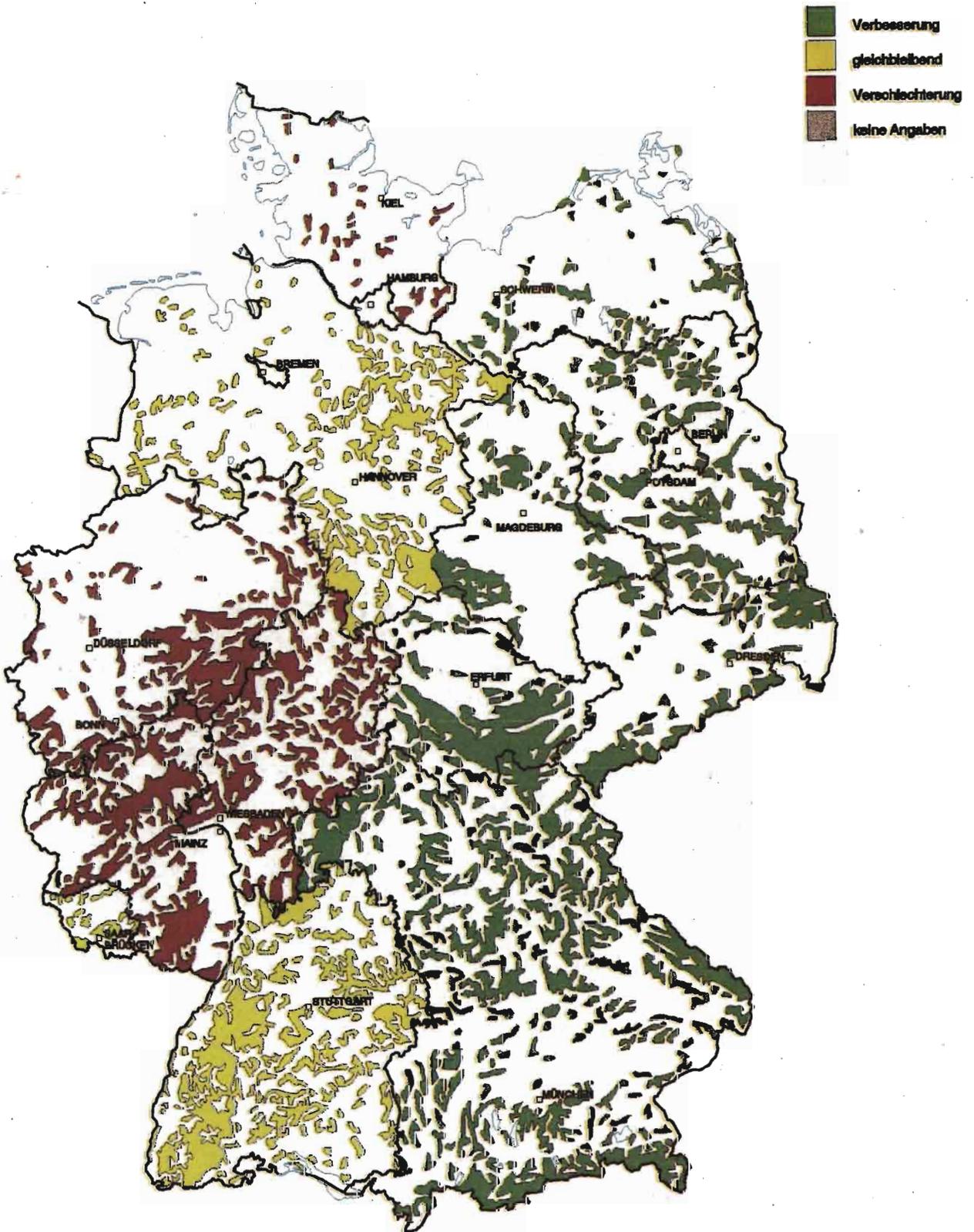
**Entwicklung der deutlichen Waldschäden in den Ländergruppen; alle Baumarten**





Karte 12:

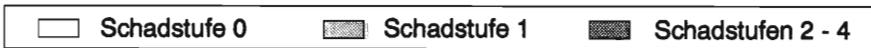
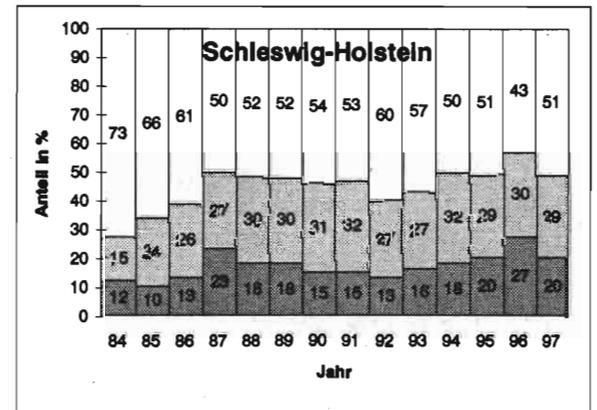
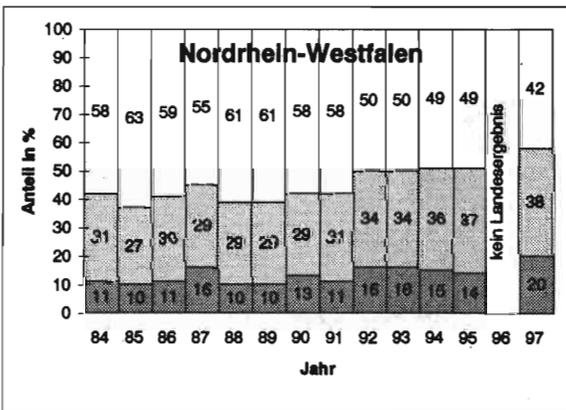
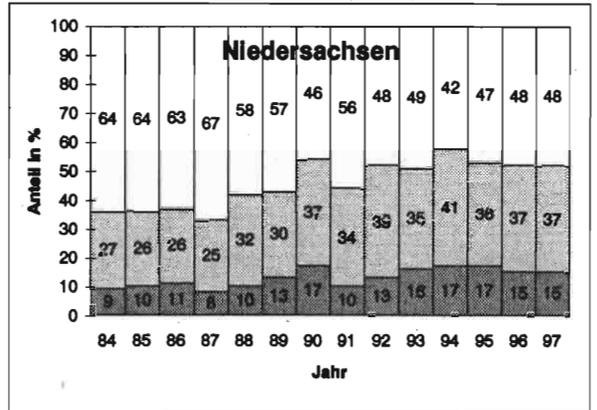
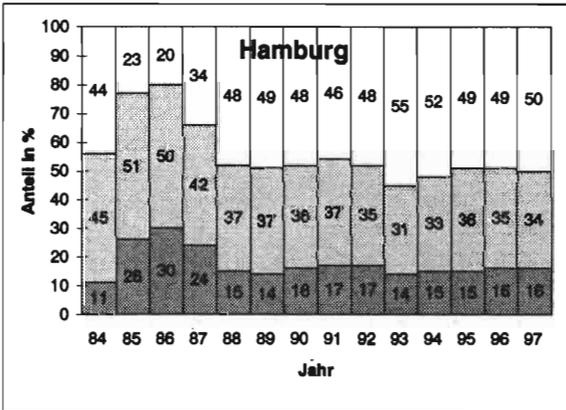
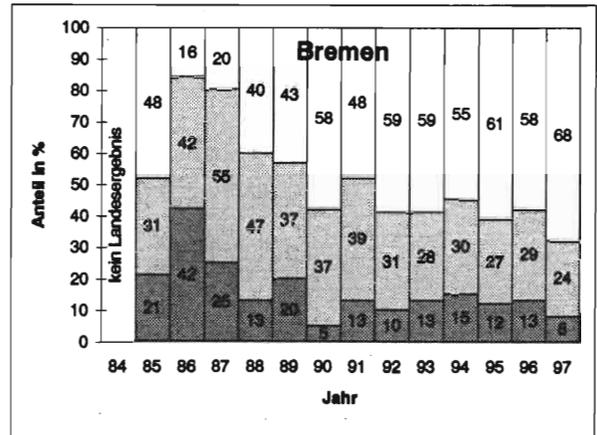
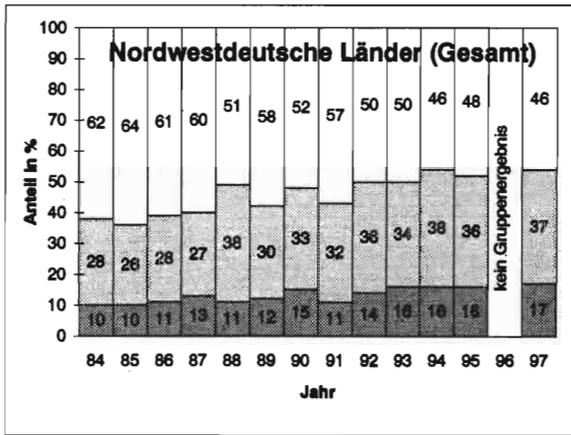
Trend der deutlichen Schäden in den Ländern seit 1991



Quelle: BML, Waldschadenserhebung 1997, UMPLIS/Umweltbundesamt 1997

Abbildung 9:

Entwicklung der Waldschäden in den nordwestdeutschen Ländern



Anteil an der Waldfläche in D:  
 HB: < 0,1 %; NI: 10 %; SH: 1 %; HH: < 0,1 %; NW: 8 %  
 Gesamtfläche 9,8 Mio. ha, Waldfläche 2,1 Mio. ha.

In der Gruppe der nordwestdeutschen Länder sind die Waldschäden in den letzten Jahren auf relativ niedrigem Niveau nahezu unverändert. Die seit Beginn der systematischen Waldschadenserhebung 1984 beobachtete allmähliche Zunahme der Waldschäden ist ab 1992 fast zum Stillstand gekommen.

In Nordrhein-Westfalen wird jedoch, nachdem im vergangenen Jahr kein Ergebnis ausgewiesen wurde, in diesem Jahr eine Zunahme der deutlichen

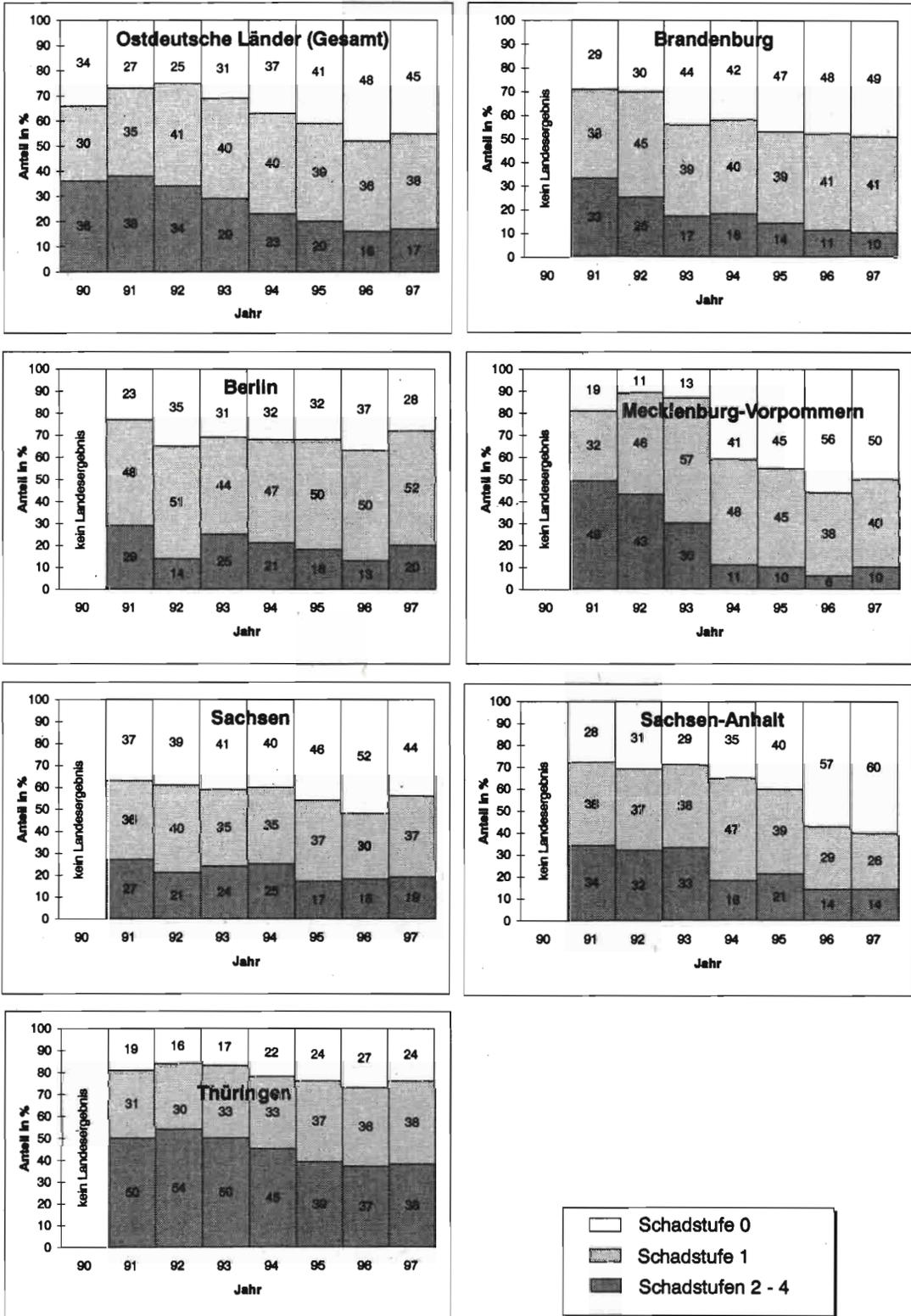
Schäden um 6 %-Punkte im Vergleich zu 1995 festgestellt.

Die geringste Verbreitung haben die deutlichen Schäden in Bremen (8 %), Niedersachsen (15 %) und Hamburg (16 %).

In Schleswig-Holstein werden in diesem Jahr nach einer deutlichen Zunahme der Waldschäden im Jahre 1996 wieder dieselben Schadstufenanteile wie 1995 festgestellt.

Abbildung 10:

Entwicklung der Waldschäden in den ostdeutschen Ländern



Anteil an der Waldfläche in D:  
 BB: 9 %; MV: 5 %; ST: 4 %; BE: 0,15 %; SN: 5 %; TH: 5 %  
 Gesamtfläche 10,9 Mio. ha, Waldfläche 3,0 Mio. ha.

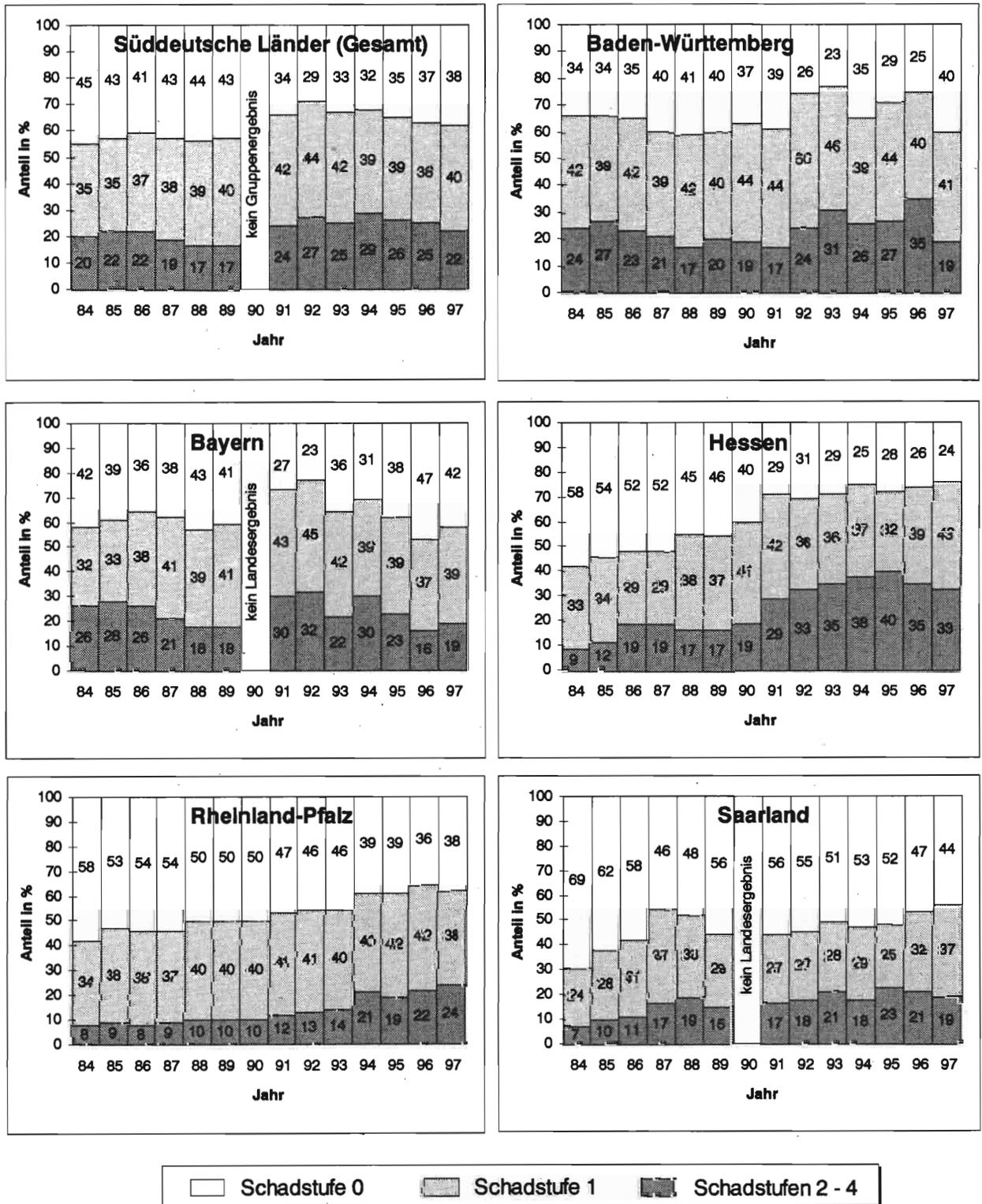
Die seit 1992 beobachtete stetige Verbesserung des Waldzustandes in der Gruppe der ostdeutschen Länder hat sich in diesem Jahr nicht fortgesetzt. Damit ist die positive Entwicklung auf demselben, relativ niedrigen Schadniveau wie in den nordwestdeutschen Ländern zunächst zum Stillstand gekommen.

In Mecklenburg-Vorpommern und Berlin haben die deutlichen Schäden im Vergleich zum Vorjahr wieder zugenommen.

In Thüringen ist der Waldzustand erheblich schlechter als in den anderen ostdeutschen Ländern. Bezüglich der Waldschadenssituation ist Thüringen eher mit dem westlich angrenzenden Hessen vergleichbar.

Abbildung 11:

Entwicklung der Waldschäden in den süddeutschen Ländern



Anteil an der Waldfläche in D:  
 BW: 13 %; HE: 8 %; SL: 1 %; BY: 23 %; RP: 8 %  
 Gesamtfläche 15,0 Mio. ha, Waldfläche 5,6 Mio. ha.

Die süddeutschen Länder sind die Gruppe mit den größten Waldschäden. Jedoch hält der seit einigen Jahren feststellbare Trend einer allmählichen Verbesserung des Waldzustandes an.

In Baden-Württemberg wird im Vergleich zur letzten Vollstichprobe 1994 eine Abnahme der deutlichen Schäden um 7 %-Punkte festgestellt.

In Rheinland-Pfalz nehmen die Waldschäden allerdings weiter zu und in Bayern wurde nach einer erheblichen Abnahme der deutlichen Schäden von 1994 bis 1996 nun wieder ein Anstieg um 3 %-Punkte festgestellt.

Die höchsten Waldschäden in der Gruppe der süddeutschen Länder hat Hessen. Zwar nimmt der Anteil der deutlichen Schäden weiter ab und hat nach einem Höhepunkt im Jahre 1995 nun wieder den Stand von 1992 erreicht, doch sind (genau wie in Thüringen) in diesem Jahr nur noch 24 % der Waldfläche ohne erkennbare Schadmerkmale.

### 3.2.8 Einflüsse auf den Kronenzustand 1997

Neben den Dauerbelastungen durch Luftschadstoffe (vgl. Abschnitt 5.1.4) wird der Kronenzustand auch von anderen, sich unter Umständen kurzfristig ändernden Faktoren beeinflusst. Dazu zählen vor allem die Witterung (Abschnitt 3.2.8.1) und das Auftreten von Schadinsekten (Abschnitt 3.2.8.2).

#### 3.2.8.1 Witterung

Für die Ausprägung der „Neuartigen Waldschäden“ spielt auch das Witterungsgeschehen der Monate vor und während einer Waldschadenserhebung sowie die Witterung der Jahre vor der jeweiligen Waldschadenserhebung eine bedeutende Rolle. Vor allem Temperaturverlauf, Niederschlagsverhältnisse und Windbewegungen beeinflussen den Kronenzustand der Waldbäume. Ausschließliche Ursache für die „Neuartigen Waldschäden“ – wie verschiedentlich behauptet – sind diese Faktoren jedoch nicht.

Die Witterung steht in engen Wechselbeziehungen mit anderen, auf die Wälder einwirkenden Strebfaktoren: Einerseits kann ein ungünstiger Witterungsverlauf (z.B. Trockenheit) die Empfindlichkeit der Bäume für andere Schadeinwirkungen, wie z.B. Luftschadstoffe und Insekten, erhöhen. Andererseits kann die Einwirkung von Luftschadstoffen die Empfindlichkeit gegenüber Witterungsereignissen (z.B. Frost oder Trockenheit) steigern.

Hohe Winter- und Frühjahrsfeuchtigkeit sowie kühl-feuchtes Sommerwetter sind für die Vitalität der Bäume und damit für deren Belaubungszustand günstig; anhaltend trocken-warme Witterung dagegen kann einen erheblichen Streß darstellen. Trocken-warme Witterung fördert darüber hinaus die Vermehrung verschiedener Schadinsekten. Sie kann außerdem in den Waldböden im Zusammenhang mit verstärktem Humusabbau zu Versauerungsschüben führen, welche die Wirkung der ebenfalls versauernd wirkenden Schadstoffeinträge zusätzlich verstärken.

Die Bewertung von Witterungseinflüssen und ihren Wirkungen auf den aktuellen Kronenzustand ist jedoch aus mehreren Gründen schwierig. Einerseits variiert die Witterung großräumig und auch kleinräumig erheblich. Andererseits kann ihre Wirkung schon durch kleinräumig unterschiedliche Standortbedingungen (z.B. Wasserversorgung) überlagert werden. Darüber hinaus wirkt sich die Witterung eines Jahres auf die Waldbäume zum Teil erst in den folgenden Vegetationsperioden sichtbar aus.

Für weite Gebiete Deutschlands sind von 1988 bis 1992 relativ hohe Jahresdurchschnittstemperaturen mit milden und niederschlagsreichen Wintern und niederschlagsarmen Sommern festzustellen. Auch die Winter 1993/94 und 1994/95 waren relativ mild und niederschlagsreich. Die Jahre 1994 und 1995 dürften den Zustand des Waldes im allgemeinen positiv beeinflusst haben. Hierbei dürften v.a. überdurchschnittliche Niederschläge zu Beginn der Vegetationsperiode eine Rolle spielen, wodurch die Wälder die heißen und trockenen Sommerperioden verkraften konnten. Auch das Jahr 1996 war insgesamt eher günstig für den Wald. Der Winter war zwar kalt und extrem trocken. Das entstandene Wasserdefizit wurde im Verlaufe des weiteren Jahres durch reichliche Niederschläge bei relativ geringen Temperaturen nach und nach ausgeglichen. Außerdem konnte sich wegen der relativ geringen Sonnenstrahlung weniger Ozon als in den Vorjahren bilden.

1997 waren das Frühjahr und der Frühsommer kühl mit reichlich Niederschlägen, der Hoch- und Spätsommer hingegen sehr warm und trocken.

Die Waldzustandsberichte einiger Länder enthalten folgende Hinweise zur Witterung 1997:

- Mecklenburg-Vorpommern: Die Witterungssituation kann in diesem Jahr bis einschließlich Juli als recht günstig für den Waldzustand des Landes bezeichnet werden. So weist der Frühling 1997 eine insgesamt positive Niederschlagsbilanz auf.
- Niedersachsen: Der Temperaturverlauf der diesjährigen Vegetationsperiode dürfte sich eher günstig auf die Situation im Wald ausgewirkt haben. Die Niederschlagswerte wichen teilweise sehr stark vom langjährigen Mittel ab. Ein mehrfacher Wechsel zwischen trockenen und feuchten Phasen kennzeichnet den Betrachtungszeitraum. Allerdings dauerten die einzelnen Phasen nicht lange an, so daß sich dies wenig auf den Kronenzustand der Waldbäume im Verlauf der diesjährigen Waldzustandserhebung ausgewirkt haben dürfte.
- Berlin: Der Witterungsverlauf 1997 war bisher für die Vegetation unproblematisch, da Extremtemperaturen oder Trockenperioden im Frühjahr oder Sommer ausgeblieben sind und der Winter 1996/1997 zwar kalt und trocken war, aber nicht an die Temperaturextreme des vorangegangenen Winters heranreichte. Frühjahr und Frühsommer waren wechselhaft mit ausreichenden Niederschlägen.
- Thüringen: 1997 lagen die Wintertemperaturen Februar und März erheblich über den Durchschnittswerten. Im weiteren Jahresverlauf waren

die Abweichungen eher gering. Der um 3 bis 4 °C zu warme August dürfte sich indes auf das Ergebnis der Waldschadensansprache kaum ausgewirkt haben, da die Außenaufnahmen dann bereits abgeschlossen waren.

- Rheinland-Pfalz: In Rheinland-Pfalz traten Mitte April Spätfrostschäden vor allem an Eichenbeständen in niedrigen Höhenlagen, in denen die Eichen zu diesem Zeitpunkt bereits ausgetrieben waren, auf. Naßschneefälle im Dezember 1996 führten besonders in Kiefernbeständen verbreitet zu Kronenschäden.
- Bayern: Die der Inventur 1997 vorausgehende Witterung war für die Bäume im Überblick eher günstig. Allerdings liegen die Niederschlagswerte für das Jahr 1996 für einzelne Waldklimastationen niedrig. Dies hat lokal sicher zu Engpässen in der Wasserversorgung, die sich auf das Kronenbild der Waldbäume auswirken können, geführt.
- Baden-Württemberg: Das Jahr 1997 begann wie das Vorjahr mit sehr tiefen Temperaturen und extrem wenig Niederschlag. Im Februar kam es zu einem Wärmeeinbruch. Die mittleren Temperaturen in den Monaten Februar und März lagen deutlich über dem langjährigen Mittelpunkt. Von Mai bis Juli war eine niederschlagsreiche Periode bei gemäßigten Temperaturen, die für den Wald sehr günstig gewertet werden muß. Sommerliche Temperaturen bei gleichzeitig geringen Niederschlägen herrschten dann erst ab der zweiten Juli-hälfte.

### 3.2.8.2 Schädlingbefall/Waldschutzumfrage

#### Schädlingbefall der Stichprobenbäume

Bei der terrestrischen Waldschadenserhebung werden, soweit eindeutig feststellbar, durch biotische Schaderreger (vor allem Insekten und Pilze) hervorgerufene Kronenschäden zum Zeitpunkt der Erhebung mit aufgenommen, um diese Ursachen für Nadel-/Blattverluste gesondert festzuhalten. Das Stichprobenverfahren der Waldschadenserhebung kann aber nur großräumige Aussagen machen; für eine eingehendere Betrachtung sind Kenntnisse des örtlichen Forstpersonals sowie Beobachtungen aus den Forstschutzmeldenetzen und Dauerbeobachtungsflächen erforderlich.

Wichtige Erkenntnisse zum Schädlingbefall aus der Waldschadenserhebung 1997 sind:

- Im Durchschnitt aller Baumarten weisen 12 % der Bäume erkennbaren, d. h. leichten, mittleren oder starken Befall durch Insekten und Pilze auf. Das ist etwa dasselbe Ergebnis wie im vergangenen Jahr. Besonders stark betroffen sind die Länder Saarland (29 %), Nordrhein-Westfalen (29 %), Rheinland-Pfalz (24 %), Berlin (23 %) und Niedersachsen (20 %). Den geringsten Befall haben Bayern (5 %), Mecklenburg-Vorpommern (4 %), Sachsen (6 %), Hessen (6 %) und Brandenburg (8 %).

- Der Anteil der Bäume mit mittlerem und starkem Befall liegt wie in den letzten Jahren bei 3 % (vgl. Anhang-Tabelle 7).
- Die mittelstark und stark geschädigten Bäume (Schadstufe 3 und 4) sind 1997 weniger von Schädlingen befallen als im vergangenen Jahr.

Insgesamt wurden die festgestellten Nadel-/Blattverluste mit Ausnahme der Eiche nur unwesentlich von Insekten- und Pilzbefall beeinflusst.

#### Waldschutzumfrage

Der Waldzustandsbericht beruht auf der Bewertung des Kronenzustandes Anfang August. Zur Interpretation der Ergebnisse ist es daher wichtig, möglichst viele Faktoren zu kennen, die sich auf den Benadelungs- und Belaubungszustand zum Erhebungszeitpunkt auswirken. Beispielsweise führt Kahlfraß von Eichenwickler- oder Frostspanner-Raupen im Frühjahr i. d. R. dazu, daß im Sommer durch den Johannistrieb erneut Blätter gebildet werden. Während der Erhebung für den Waldzustandsbericht ist vorangegangener Kahlfraß häufig nicht mehr erkennbar.

Aus diesem Grund werden zusätzliche Angaben zur Waldschutzsituation im Jahresverlauf in den Bericht aufgenommen. Im September dieses Jahres wurden von den Sachverständigen der Länder für Waldschutz nachstehende Angaben übermittelt. Weiterführende Informationen zur Waldschutzsituation in den einzelnen Bundesländern mit z. T. räumlicher Differenzierung und Aussagen zur Populationsdynamik können den Waldschutzberichten der Länder entnommen werden.

Bei der Entwicklung und Vermehrung von Insektenpopulationen spielt neben der natürlichen Dynamik die **Witterung** eine entscheidende Rolle. 1997 waren das Frühjahr und der Frühsommer kühl mit reichlich Niederschlägen, der Hoch- und Spätsommer hingegen sehr warm und trocken. Vor allem wärmeliebende Insekten wurden wegen der kühl-feuchten Witterung im Frühjahr und Frühsommer in ihrer Entwicklung gehemmt. Die Trockenheit und Hitze des Hochsommers bewirkte z. T. eine verfrühte Laubfärbung und bei Birke örtlich Laubfall bereits zum Aufnahmezeitpunkt der Waldschadenserhebung.

#### Schadinsekten an der Fichte

Bei den rindenbrütenden Borkenkäfern, vor allem **Buchdrucker** (*Ips typographus*) und **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus*) ist bundesweit keine Zunahme der Schäden aufgetreten. In einigen Bundesländern – z. B. in Rheinland-Pfalz – ist der Stehendbefall sehr stark rückläufig.

Die intensiven Überwachungs- und Bekämpfungsmaßnahmen der vergangenen Jahre haben sich in den meisten Bundesländern bewährt. Befallsschwerpunkte wurden nur noch im Hochschwarzwald und in den Nationalparks Harz und Bayerischer Wald registriert. Dort sind nach wie vor hohe Populationsdichten vorhanden. Der flächige Befall in den Hochlagen des Nationalparks Bayerischer Wald führte zu

einer konsequenten Bekämpfung der Borkenkäfer im Erweiterungsgebiet und in der Waldschutzzone des bisherigen Nationalparks, um ein Übergreifen des Borkenkäfers auf Wälder außerhalb des Nationalparks und auf bisher nicht befallene Wälder im Erweiterungsgebiet zu vermeiden. Auch im Nationalpark Harz sind mechanische Bekämpfungsmaßnahmen zulässig.

1997 trat ein Schwarmflug der **Fichtengespinntblattwespe** (*Cephalcia abietis*) auf ca. 2000 Hektar in Sachsen und auf ca. 10500 Hektar in Thüringen auf. Aufgrund der hohen Dichten wurde ein starker Fraß der Afterraupen in diesen Bundesländern und in Bayern prognostiziert. Deshalb erfolgte eine Bekämpfung auf ca. 600 Hektar in Bayern, v. a. im Bereich der nordostbayerischen Mittelgebirge, auf ca. 1000 Hektar in Sachsen und auf ca. 5300 Hektar in Thüringen.

Die **Kleine Fichtenblattwespe** (*Pristiphora abietina*) hat sich in Teilen Bayerns nicht nur in Kulturen und Dickungen, sondern in den letzten Jahren zunehmend auch in Fichtenaltholzbeständen zu einem chronischen Schädling entwickelt. In diesem Jahr sind trotz feuchter Witterung starke Fraßschäden an Maitrieben vor allem im Südosten Bayerns aufgetreten.

#### Schadinsekten an Kiefer

Die Raupen des **Kiefernspinners** (*Dendrolimus pini*) können durch Fraß im Herbst und Kahlfraß im Frühjahr des Folgejahres das Absterben ganzer Waldbestände verursachen. Das Auftreten dieses Insektes konzentrierte sich in den vergangenen Jahren in Kiefernbeständen der Länder Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Sachsen. Trotz abnehmender Populationsdichte wurde 1997 in Brandenburg immer noch eine Befallsfläche von ca. 40000 Hektar registriert. Zur Abwehr von Bestandesschäden erfolgten Gegenmaßnahmen durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Brandenburg auf ca. 10000 Hektar und in Sachsen auf ca. 500 Hektar.

Steigende Dichten des **Kiefernspanners** (*Bupalus piniarius*), der ebenfalls durch Raupenfraß die Kiefernbestände bedroht, wurden bereits 1996 in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Sachsen beobachtet. In Ostdeutschland und in Niedersachsen wurde 1997 auf insgesamt ca. 155000 Hektar Flug des Insektes festgestellt. Die prognostizierte Massenvermehrung bzw. Fraßschäden blieben bislang jedoch u. a. auch wegen reduzierter Eiablage und hoher Parasitierung aus. Eine weitere sorgfältige Überwachung des Kiefernspanners ist erforderlich, da die Fraßschäden erst im Spätherbst deutlich erkennbar werden. Auch die **Forl- oder Kieferneule** (*Panolis flammea*), die durch ihr Auftreten 1996 und 1997 eine Massenvermehrung in Bayern und Brandenburg befürchten ließ, verursachte keine nennenswerten Fraßschäden.

Beim **Blauen Kiefernprachtkäfer** (*Phaenops cyanea*), dessen Larvenfraß in der Bastsschicht die Bäume meist zum Absterben bringt, ist bislang keine Zunahme der Schäden registriert worden. Der weitere Schadholzanfall ist jedoch abzuwarten, da aufgrund

der Lebensweise dieses Insektes die Schäden erst im Herbst deutlich sichtbar werden. Weiterhin traten in Süddeutschland auch Borkenkäfer schädigend an Kiefer auf. Besonders die **Waldgärtner-Arten** (*Tomiscus piniperda* und *minor*) können durch den sogenannten Kronenschnitt der Käfer den Benadelungszustand der Bäume beeinflussen.

#### Schadinsekten an sonstigem Nadelholz

Die Lärchenbestände wurden örtlich in Sachsen-Anhalt auf ca. 350 Hektar und in Thüringen auf ca. 250 Hektar von der **Lärchenminiermotte** (*Coleophora laricella*) befallen und durch Fraß geschädigt. Der Fall durch den **Lärchenborkenkäfer** (*Ips cembrae*) weist in Sachsen-Anhalt einen deutlichen Rückgang auf, in Brandenburg hingegen eine leichte Zunahme.

#### Schadinsekten an Eiche

**Eichenwickler** (*Tortrix viridana*) und **Frostspanner-Arten** (*Operophtera brumata* u. a.) haben wie in den Vorjahren auch 1997 bundesweit vor allem die Eichen befallen, jedoch in unterschiedlich starkem Maße. Während beispielsweise in Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen der Befall rückläufig war, verzeichneten andere Bundesländer eine Zunahme. Aufgrund der Verschädigung in den Vorjahren durch diese und weitere Streßfaktoren sind viele Eichenbestände in ihrer Vitalität gemindert. Häufig treten weitere Krankheiten (z. B. Eichenmehltau) oder auch Sekundärschädlinge (z. B. **Eichenprachtkäfer** [*Agrilus biguttatus*]) auf und führen u. a. zu Trockenastigkeit, Wipfeldürre und zum Absterben von Bäumen, Baumgruppen und Beständen. Vereinzelt wurden Gegenmaßnahmen z. B. in Bayern, Sachsen und Sachsen-Anhalt bei stark vorgeschädigten oder besonders schützenswerten Beständen, z. B. Saatgutbeständen, ergriffen.

Nach dem Zusammenbruch der Gradation des **Schwammspinners** (*Lymantria dispar*) treten Folgeschäden der Kalamität der vergangenen Jahre auf, z. B. im Bienwald, in manchen Befallsgebieten Baden-Württembergs oder auf unbehandelten Versuchsflächen in Bayern.

Der **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea*), dessen Raupenhaare bei Menschen Allergien und schwere Hautreizungen hervorrufen können, hatte sich in den vergangenen Jahren stark vermehrt. Anfangs wurden vorwiegend Solitäre, Randbäume oder Baumgruppen befallen. In Sachsen-Anhalt kam es im Vorjahr zu flächigem Schadfraß, der im Zusammenhang mit Frost im Winter 1996/97 örtlich bis zur Bestandesauflösung geführt hat. In Baden-Württemberg und Sachsen-Anhalt wurde der Eichenprozessionsspinner bekämpft, um einer Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit, aber auch um Ausfällen bis hin zu möglichen flächigen Ausfällen entgegenzuwirken.

**Waldmaikäfer** (*Melolontha hippocastani*) und **Feldmaikäfer** (*Melolontha melolontha*) befinden sich im gesamten Oberrheintal in einer Massenvermehrung. In Baden-Württemberg und Hessen trat 1997 ein Nebenflugjahr des Waldmaikäfers und in Hessen ein

Hauptflugjahr des Feldmaikäfers auf, der örtlich zu Fraßschäden führte. Bedeutungsvoller ist jedoch der Larvenfraß der Engerlinge an den Wurzeln der Bäume. Durch den Engerlingsfraß ist es örtlich unmöglich, Laubbaumkulturen zu begründen oder Nadelbaumbestände in Mischbestände umzuwandeln. Der Engerlingsfraß führte in Südhessen auch zum Verlust ökologisch wertvoller älterer Laubbaumunterbauten in ehemaligen Kiefern-Reinbeständen und begünstigt dadurch auch die Ausbreitung der nordamerikanischen Traubenkirsche.

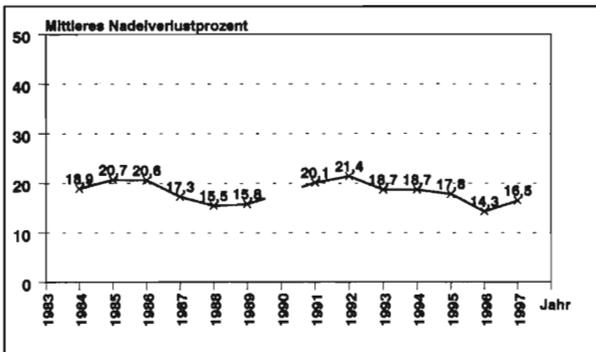
### 3.3 Mittlerer Nadelverlust als beispielhafte Auswertung von Daten der Waldschadenserhebung – Beispiel aus Bayern

Für die Beschreibung des Waldzustandes in Kapitel 3.2 wurden Landesergebnisse der Waldzustandserhebung zusammenfassend ausgewertet. Dabei gehen nur die Schadstufenanteile eines Landes bzw. eines Wuchsgebietes flächengewichtet in das Bundesergebnis ein.

Ein Land hat darüber hinaus weitere Auswertungsmöglichkeiten. Es kann aus den 5 %-Verlichtungsstufen der Urdaten eine mittlere Kronenverlichtung berechnen und die zeitliche Entwicklung darstellen. Bund und Länder bereiten vergleichbare bundesweite Auswertungen vor. Außerdem kann ein Land aus den Einzelpunktangaben räumlich differenzierter Schadensschwerpunkte lokalisieren. Die im folgenden aus dem bayerischen Waldzustandsbericht entnommenen Auswertungen belegen das beispielhaft:

Abbildung 12:

#### Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozent 1984 bis 1997 bei der Baumart Fichte

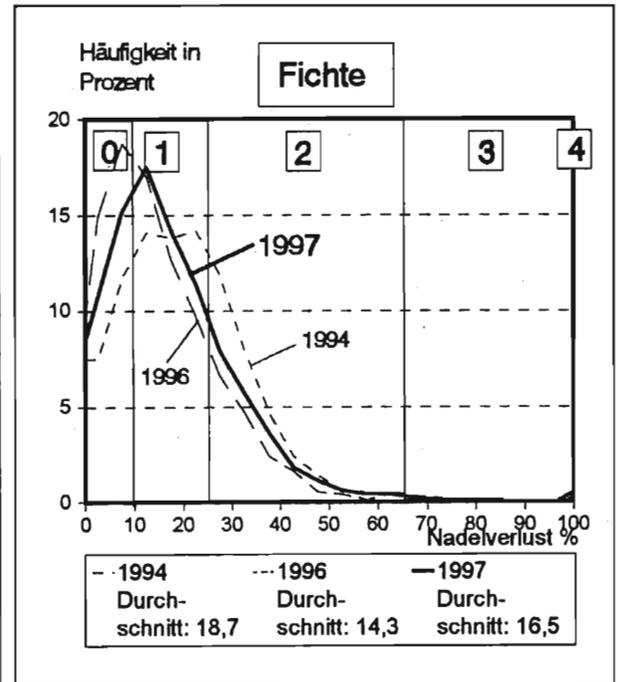


Das mittlere Nadelverlustprozent der Fichte hatte seit einem Maximalwert von 21,4 % im Jahr 1992 über vier Jahre hinweg auf 14,3 % abgenommen; in diesem Jahr ist es um 2,2 Prozentpunkte auf 16,5 % gestiegen (Abbildung 12).

Gegenüber dem Vorjahr war der diesjährige Jahrestrieb vielfach nicht so kräftig, trotz günstiger Witterung zur Austriebszeit. In weiten Teilen Bayerns sind vor allem ältere Nadeln von Pilzen befallen bzw. ausgeht worden. Vereinzelt hat auch Spätfrost die Neutriebe jüngerer Fichten geschädigt.

Abbildung 13:

#### Häufigkeitsverteilung der Nadelverluste bei der Fichte

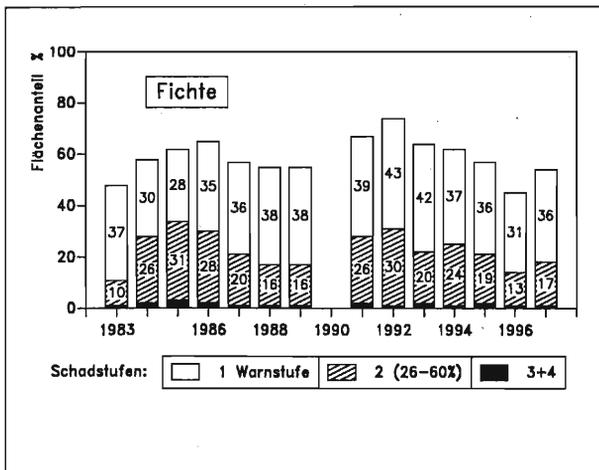


Im Vergleich zur letzten Inventur im 4 x 4 km-Raster (1994) zeigt sich eine ausgeprägte Abnahme der Bäume mit Nadelverlusten über 25 %. Der Anteil an Bäumen mit Benadelungsdichten von weniger als 50 % ist in allen drei Inventurjahren gering (Abbildung 13).

In der Verteilung nach Schadstufen (Abbildung 14) zeigt sich die Zunahme geschädigter Bäume in gleicher Weise. Nach einem beinahe kontinuierlichen Rückgang deutlicher Schäden seit 1992 sind diese gegenüber 1996 wieder um 5 Prozentpunkte auf 19 % angestiegen (1994 noch 26 %).

Abbildung 14:

## Zeitreihe für Fichte



Regionale Unterschiede der deutlichen Schäden bei Fichte zeigt Karte 1. Vor allem die Fichten im Wuchsgebiet Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald zeigen gegenüber der Erhebung 1994 eine weitaus dichtere Benadelung. In den nordostbayerischen Mittelgebirgen, den Bayerischen Alpen und dem Alpenvorland hat sich dagegen der Kronenzustand der Fichten nur unwesentlich verändert.

### 3.4 Waldbodenzustand

In Ergänzung zur Waldschadenserhebung will die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) relevante und bundesweit vergleichbare Informationen liefern

- über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderungen im Laufe der Zeit in Verbindung mit dem aktuellen Kronenzustand der Waldbäume,
- für eine bessere Übertragbarkeit der Ergebnisse der Waldbodenforschung auf größere Waldflächen,
- als Beitrag zur Identifizierung von Ursachen der Veränderungen des Bodenzustandes sowie des Einflusses von Depositionen,
- zur Einschätzung von Gefahren, die sich für den derzeitigen Waldbestand und für die nächste Waldgeneration aus dem Bodenzustand ergeben,
- zur Einschätzung von Risiken für die Qualität von Grund- und Quellwasser,
- zur Planung und Durchführung von notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustandes sowie des Nährstoffangebotes im Boden und der Nährstoffaufnahme durch die Baumwurzeln.

#### 3.4.1 Durchführung der Bodenzustandserhebung

Die Geländearbeiten zur Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) wurden im Zeitraum von 1987 (Bayern) bis 1993 (neue Länder) durch die jeweiligen Landesforstverwaltungen und deren Forschungsinstitutionen durchgeführt. Die Ergebnisse liegen größtenteils in Form von Länderberichten vor. Der Bundesbericht, der Erhebungsergebnisse zusammenfaßt und auf Bundesebene auswertet, wurde in diesem Jahr veröffentlicht<sup>5)</sup>.

Die Bodenzustandserhebung ist eine systematische Stichprobenerhebung mit einer Mindestnetzdicke von  $8 \times 8$  km. Sie wurde in der Regel als eine Unterstichprobe in das Gitternetz der Waldschadenserhebung ( $4 \times 4$  km) eingehängt, um eine integrale Auswertung von Bodendaten, Nadel-/Blattanalysen und Kronenzustandsansprachen zu ermöglichen. Außerdem ist die Bodenzustandserhebung an das Raster der europaweiten Waldschadenserhebung gekoppelt, so daß sich zusätzliche Auswertungsmöglichkeiten der Daten im europäischen Vergleich ergeben.

#### 3.4.2 Ergebnisse

Mit der Bodenzustandserhebung liegen erstmalig nach einheitlichen Kriterien erfaßte und nach vergleichbaren Methoden analysierte Bodenkennwerte für die gesamte Waldfläche Deutschlands vor. Die Bodenzustandserhebung dokumentiert den aktuellen Waldbodenzustand und liefert – vor allem im Zusammenhang mit Wiederholungsinventuren – repräsentative Informationen über Ausmaß, Dynamik und Verbreitung möglicher Bodenveränderungen.

Anhand der ausgewerteten bodenchemischen Kennwerte können regional differenzierte Aussagen zu den folgenden Problembereichen getroffen werden:

- Ausmaß der Bodenversauerung und Basenverarmung,
- Risiken für Grund- und Quellwasser,
- Nährstoffungleichgewichte infolge erhöhter Stickstoffeinträge.

Die wesentlichen Schlußfolgerungen lauten:

- Es besteht eine großflächige, weitgehend substratabhängige Versauerung und Basenverarmung der Oberböden sowie eine Tendenz zur Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes auf niedrigem Niveau. Noch nicht merklich betroffen sind lediglich Böden mit oberflächlich anstehenden Carbonaten (Kalkstein, Mergel).
- Aus den zu beobachtenden Disharmonien zwischen pH-Wert, C/N-Verhältnis und Humusform ist zu schließen, daß die Transformationsprozesse der Böden durch atmogene Einträge sowohl von Säure als auch von Stickstoff überlagert werden.
- Durch die Deposition starker Mineralsäuren, für deren Neutralisation insbesondere in den podso-

<sup>5)</sup> WOLFF & RIEK: Deutscher Waldbodenbericht 1996. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Bonn, 1997

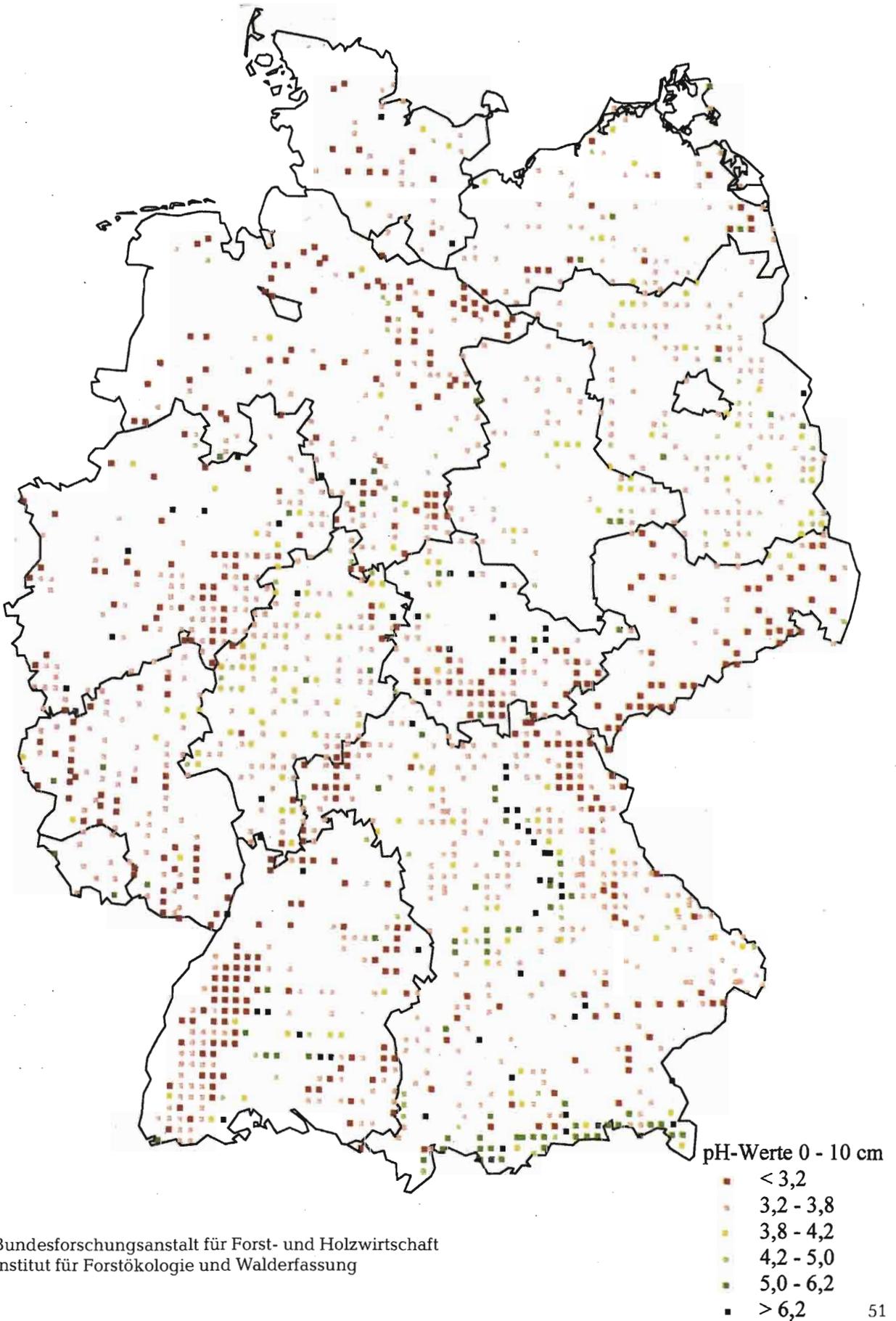
lierten Böden quarzreicher Substrate häufig nur noch geringe Pufferreserven zur Verfügung stehen, kann eine Gefährdung des Grund- und Quellwassers bei entsprechenden hydrogeologischen Verhältnissen im Untergrund nicht mehr ausgeschlossen werden.

- Die großräumige Immissionsbelastung der Waldböden zeigt sich auch bei der Betrachtung der Schwermetallgehalte im Auflagehumus. Die im Humus akkumulierten Blei- und Kupfergehalte erreichen für die Bodenorganismen potentiell toxische Konzentrationen auf 25 % bzw. 38 % der Bodenzustandserhebungs-Punkte. Bei den mobileren Schwermetallen Zink und Cadmium ist davon auszugehen, daß auf den versauerten Standorten größere Mengen bereits in den Mineralboden verlagert worden sind.
- Insbesondere bei denjenigen Standorten, die sich durch Nährstoffarmut und ungünstige Humusformen auszeichnen, befindet sich der überwiegende Anteil des kurz- bis mittelfristig verfügbaren Nährelementvorrates derzeit in der Humusaufgabe und stellt hier einen besonders labilen und gefährdeten Nährstoffpool dar. Durch die gleichzeitig zu beobachtende Basenauswaschung aus dem Mineralboden geraten die betroffenen Waldbestände in eine zunehmend instabile Versorgungssituation.

Diese Schlußfolgerungen beruhen auf den Auswertungsergebnissen der bundesweiten Bodenzustandserhebung, die im folgenden ausführlich beschrieben werden:

- Die Bodenzustandserhebungs-Stichprobe zeigt eine **großflächige, weitgehend substratunabhängige Versauerung und Nährstoffverarmung der Oberböden**. Die geringen Streubreiten bodenchemischer Kennwerte – trotz der Vielfalt der Ausgangssubstrate für die Bodenbildung – verweisen auf eine Tendenz der **Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes** auf niedrigem Niveau. Von der aktuellen Versauerung noch nicht merklich betroffen sind lediglich die **gut gepufferten Standorte** auf Carbonatgestein (Schwäbisch-Fränkische Alb, Bayerische Alpen) sowie Standorte mit oberflächlich anstehendem Geschiebemergel. Der Anteil dieser Standorte am Bodenzustandserhebungs-Gesamtkollektiv beträgt 8,6 %. Außerdem zeichnen sich die Bodenzustandserhebungs-Punkte in Nordostdeutschland – trotz der hier unter Wald vorherrschenden armen Ausgangssubstrate – durch höhere Basensättigungen und pH-Werte im Oberboden aus. Hier ist anzunehmen, daß **basische Staubeinträge** (Flugasche) zu einer Pufferung der Säureimmission und regional zu einer Aufbasung der Böden geführt haben.

pH-Werte in 0–10 cm Tiefe



- Die Abschätzung des **Säurebelastungsrisikos für anspruchsvollere Pflanzengesellschaften** hinsichtlich der von diesen tolerierten pH-Werte ergibt für eine Bodentiefe bis 60 cm bei 68 % der beprobten Bodenzustandserhebungs-Punkte ein *starkes* Säurerisiko. Auf diesen Standorten kann es zeitweilig zu Schäden an den Wurzelspitzen und dadurch zu gehemmtem Längenwachstum der Feinwurzeln kommen. Die Folgen können Beeinträchtigungen des Nährstoff- und Wasserhaushaltes der betroffenen Pflanzen sein.
- Die Bodenzustandserhebungs-Daten bestätigen die Erkenntnis, daß die **Versauerung** im allgemeinen mit **zunehmender Bodentiefe abnimmt**. In 60–90 cm Tiefe befinden sich trotzdem noch ca. 50 % aller Bodenzustandserhebungs-Punkte im Aluminium- oder Eisen-Aluminium-Pufferbereich ( $\text{pH} < 4,2$ ). Die bodeninterne Säurepufferung führt auf diesen Standorten zur Mobilisierung von Aluminium bzw. Eisen und erhöhten Konzentrationen dieser Elemente im Sickerwasser. Unter entsprechenden klimatischen und hydrogeologischen Verhältnissen kann dies eine Gefahr für die Grundwasserqualität bedeuten.

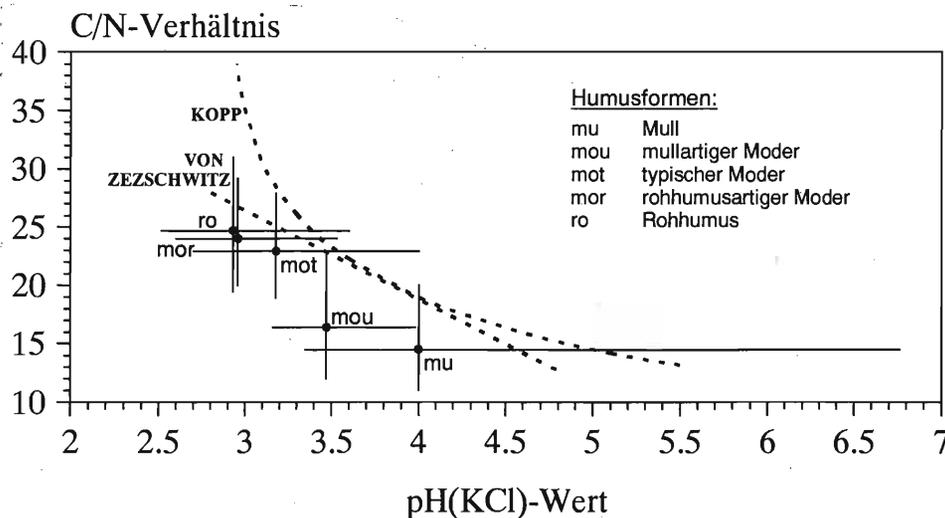
Die **Tiefenversauerung** vieler Bodenzustandserhebungs-Standorte zeigt sich auch an der Basensättigung der Unterböden. Die Basensättigung ist der Anteil der Neutralkationen Ca, Mg, K und Na an der gesamten Menge pflanzenverfügbarer Kationen im Boden. Durch die Zunahme sogenannter

Kationsäuren (Fe, Al, Mn) kommt es zur **Verdrängung der Nährstoffe** Ca, Mg, K. Ein Drittel aller Untersuchungspunkte weist noch in 60–90 cm Tiefe *sehr geringe* oder *geringe* Basensättigungen ( $\text{BS} < 15\%$ ) auf.

- Insbesondere bei denjenigen Standorten, die sich durch **Nährstoffarmut und ungünstige Humusformen** auszeichnen, befindet sich der überwiegende Anteil des kurz- bis mittelfristig verfügbaren Nährelementvorrates derzeit in der Humusauflage. Durch den Verlust von Kationen im Mineralboden verschiebt sich das Schwergewicht des Nährstoffvorrats in die Humusauflage. Die **hohen Vorräte an Neutralkationen in der Humusauflage** stellen jedoch einen besonders labilen und **gefährdeten Nährstoffpool** dar.
- Viele Humusaufgaben weisen trotz sehr niedriger pH-Werte relativ enge C/N-Verhältnisse auf. So liegen die mittleren C/N-Verhältnisse der Humusformen rohhumusartiger Moder und Rohhumus mit ca. 24 deutlich unter den Referenzwerten aus der Literatur, die zwischen 25 und 38 variieren. Eine Differenzierung der einzelnen Auflage-Humusformen anhand der pH-Werte und C/N-Verhältnisse ist nicht (mehr) möglich. Diese Befunde müssen als Indizien für die **Überlagerung der natürlichen Umsetzungsprozesse durch atmogene Einträge von Säure bzw. von Stickstoff** interpretiert werden (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 15:

**Aktuelle C/N-Verhältnisse und pH-Werte der Humusformen (Median, 10-, 90-Perzentil) sowie Beziehungen zwischen C/N und pH aus den 60er bzw. 70er Jahren nach Literaturangaben<sup>6)</sup>**



Von ZEZSCHWITZ, E. (1980): Analytische Kennwerte typischer Humusformen westfälischer Bergwälder. Z. Pflanzenemähr. Bodenk. 143.692–700

KOPP, D. & SCHWANECKE, W. (1995): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologischer Forstwirtschaft. DLV, Berlin.

- Die in den Humusaufgaben der Bodenzustandserhebungs-Punkte **akkumulierten Schwermetallgehalte** weisen auf ein erhebliches Ausmaß jahrzehntelanger anthropogener Schwermetalleinträge hin. Kritische Konzentrationen, bei deren Überschreitung mit einer Beeinträchtigung der Bodenorganismen zu rechnen ist, werden für **Kupfer** (Orientierungswert: 20 mg/kg Boden) an 38 % der Bodenzustandserhebungs-Punkte und **Blei** (150 mg/kg) an 25 % der Punkte überschritten. Bei den – unter sauren Bedingungen – mobileren Schwermetallen **Zink** und **Cadmium** ist davon auszugehen, daß auf den versauerten Standorten größere Mengen dieser Elemente bereits in den Mineralboden und möglicherweise in das Grundwasser verlagert worden sind.

### 3.5 Elementgehalte in Nadeln und Blättern der Waldbäume

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung wurden auf einem Teil der Erhebungspunkte auch Nadel-/Blattproben gewonnen. Dabei wurden 606 mit Fichten-, 349 mit Kiefern-, 75 mit Buchen sowie 68 anderweitig bestockte Flächen erfaßt. Besonders bei der Interpretation der Ergebnisse für die Baumarten Kiefer und Buche müssen deren vergleichsweise geringer Stichprobenumfang und die räumlich konzentrierte Probenahme berücksichtigt werden.

Die Nährelementgehalte der Assimilationsorgane von Waldbäumen lassen Rückschlüsse auf ihre Ernährungssituation zu. Während aufgrund der im Humus- oder Mineralboden gespeicherten Nährelementvorräte v. a. die mittel- bis langfristige Nährstoffversorgung von Waldbeständen eingeschätzt werden kann, zeigen die Nadel-/Blattgehalte die **aktuelle Ernährungssituation** zum Inventurzeitpunkt an. Darüber hinaus eignen sie sich als Indikator zur Abschätzung der standörtlichen Belastungssituation durch Immissionen und atmogene Schadstoffeinträge. Gut ernährte Waldbäume sind gegen Stressoren widerstandsfähiger als schlechter ernährte Bäume. Ein guter Ernährungszustand ist somit eine Voraussetzung für einen optimalen Gesundheitszustand.

Die Bewertung der Analysedaten erfolgte im wesentlichen auf der Grundlage der **Bewertungsschlüssel der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „BZE“**. Die Befunde „Elementmangel“ bzw. „Elementüberschuß/Belastung“ entsprechen dabei den Bewertungsstufen *sehr gering* bzw. *sehr hoch*. Die Diagnose von Mangel- oder Überschusssituationen ist mithin eng an die überregionale Gültigkeit der hier verwendeten Bewertungsrahmen gebunden. Ein **wichtiges Maß zur Beurteilung des Ernährungszustandes** der Bäume stellen neben den absoluten Elementgehalten in Nadeln und Blättern die daraus errechneten **Relationen zwischen den Nährelementen** dar. Ein guter Ernährungszustand ist dann gegeben, wenn die Elementgehalte ausreichend sind und in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Abweichungen von den Referenzwerten „harmonischer“ Elementquotienten geben Hinweise auf mögliche – z.B. durch Einträge oder Auswaschungsprozesse be-

dingte – Disharmonien des Nährstoffangebots im Wurzelraum.

**Nachdem einige Befunde noch weiterer Untersuchungen bedürfen, können die nachfolgenden Kernaussagen nur als ein erster Versuch einer überregionalen Bewertung der Elementversorgung von Fichten, Kiefern und Buchen gelten.** Danach ergeben die auf den Bodenzustandserhebungs-Standorten ermittelten Gehalte an Nähr- und Schadstoffen in den Assimilationsorganen von Fichten, Kiefern und Buchen folgendes Gesamtbild:

- Bei der Bewertung der Ernährungssituation von Fichte, Kiefer und Buche anhand von Nadel-/Blattanalsedaten deuten sich vor allem im nördlichen Teil Deutschlands eine Stickstoffüberernährung und dadurch bedingte disharmonische Nährelementverhältnisse (N/P, N/K, N/Mg) an. Geringe und sehr geringe Phosphorgehalte sind in allen Gebieten verbreitet. Anzeichen für Magnesiumunterversorgung treten schwerpunktmäßig in den Mittelgebirgslagen insbesondere auf Sandstein auf.
- Die Schwefelgehalte in den Assimilationsorganen der Kiefern und Buchen weisen für alle untersuchten Punkte einen deutlichen Immissionseinfluß nach. Auch 59 % der Fichtenbestände überschreiten die natürlichen Schwefelgehalte, so daß auch bei diesen von einer Schwefel-Immissionseinwirkung auszugehen ist.

Die Ergebnisse im einzelnen lauten:

- Bei der Mehrheit der Bodenzustandserhebungspunkte muß von *sehr geringen* und *geringen Phosphorgehalten* in den Assimilationsorganen ausgegangen werden. Besonders niedrig sind die P-Gehalte zum einen auf Carbonatstandorten, zum anderen auf stark versauerten Böden. In beiden Fällen ist die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenphosphates infolge Bildung schwer löslicher Ca- bzw. Al- und Fe-Phosphate eingeschränkt.
- *Sehr geringe Magnesiumgehalte* sind weit verbreitet. Bei 15 % der Buchen-, 43 % der Kiefern- und 57 % der Fichtenprobepunkte deutet sich eine Magnesiumunterversorgung an. 2,5 % der Fichtenprobepunkte unterschreiten die Vergilbungsschwelle. Schwerpunkte von möglichem Mg-Mangel bilden vor allem die Standorte der Mittelgebirgslagen insbesondere auf Sandstein.
- Die **Stickstoffversorgung** stellt sich differenziert dar. Bis auf die Regionen Baden-Württemberg, Bayerische Alpen und Thüringer Wald ist die Stickstoffernährung reichlich bis überreichlich. 55 % der Kiefernprobepunkte (vorwiegend auf armen Sandstandorten) zeigen Anzeichen für Stickstoffüberernährung. Dagegen ist die N-Ernährung der Fichten im Durchschnitt gering, obgleich in den Regionen Schleswig-Holstein, Harz, Erz- und Fichtelgebirge die Nadelgehalte auch für diese Baumart häufig sehr hoch sind. Das bestehende räumliche Verteilungsmuster der N-Ernährung aller Baumarten läßt sich nicht mit geogenen Faktoren erklären und dürfte vor allem durch regionale

Unterschiede der atmosphärischen Stickstoffeinträge bedingt sein.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 sind für die Baumarten Fichte und Kiefer die Stickstoffquotienten (N/P, N/K, N/Mg) den Elementgehalten einjähriger Nadeln gegenübergestellt. Die in den einzelnen Diagrammen dargestellte horizontale Linie grenzt den Bereich ab, für den anhand des jeweiligen Elementgehaltes auf eine Mangelsituation geschlossen werden muß (Grenzwert für die Einordnung in die Bewertungsstufe *sehr gering*). Die vertikale Linie entspricht dem Schwellenwert, unterhalb dessen ein ausgewogenes Elementverhältnis besteht. Die Werte rechts dieser Linie deuten eine Stickstoffüberernährung an.

Die Abbildungen veranschaulichen folgende Ergebnisse: Disharmonische Quotienten durch N-Überernährung treten vor allem bei Phosphor und Kalium (Fichte und Kiefer) sowie Magnesium (nur Kiefer) auf. Die N/P-, N/K- und N/Mg-Quotienten verdeutlichen disharmonische Nährelementverhältnisse für 76 % (P), 93 % (K) bzw. 52 % (Mg) der untersuchten

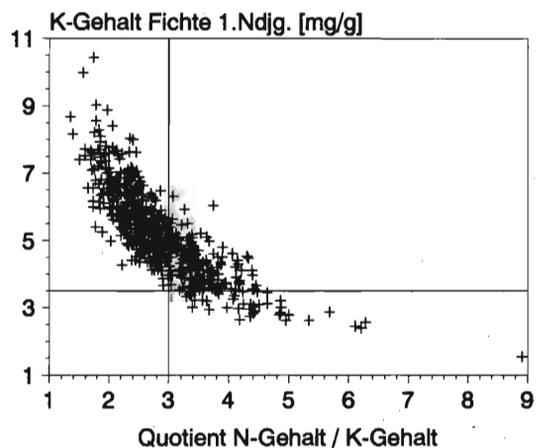
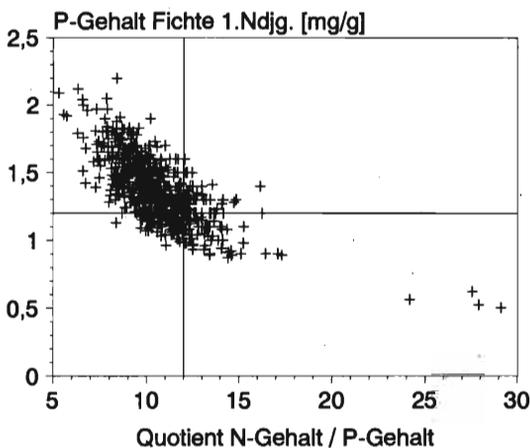
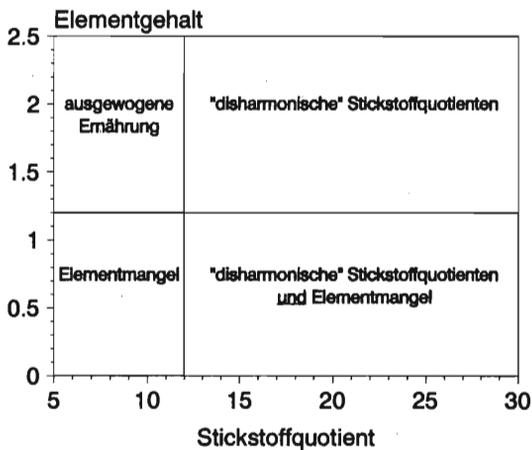
Kiefernbestände. Die Calciumernährung hingegen erscheint bei beiden Baumarten ausgeglichen. Ein wichtiges Ergebnis dieser Übersicht ist, daß ungünstige N/P-, N/K-, N/Mg-Quotienten für deutlich mehr Bestände konstatiert werden, als eine Einstufung der Elementgehalte in die Bewertungsstufe *sehr gering* erfolgt. Dies bedeutet, daß insgesamt von einem hohen N-Angebot ausgegangen werden muß, welches bereits auf vielen Untersuchungspunkten zu ungünstigen Relationen der Nährelemente geführt hat. Dadurch induzierte Mangelsituationen sind hingegen bislang noch nicht auf einer entsprechenden Anzahl von Punkten zu finden. Die Quotienten stellen mithin einen sensibleren Indikator für mögliche Belastungen und Nährstoffengpässe als die absoluten Elementgehalte dar.

Am deutlichsten wird dies bei Betrachtung der Kaliumgehalte von Kiefernadeln. Hier zeigen die Quotienten eine N-Überernährung ( $N/K > 2,3$ ) für 93 % der Bestände an, während aufgrund der Kaliumgehalte bei nur ca. 1 % der Bestände Hinweise auf Kaliummangel bestehen (Kaliumgehalt  $< 3,5$  mg/g).

Abbildung 16:

### Stickstoffquotienten und Elementgehalte von Fichtennadeln

(Werte unterhalb der horizontalen Linie: P-, K-, Ca-, Mg-Mangel;  
Werte rechts der vertikalen Linie: „disharmonische“ Stickstoffquotienten)



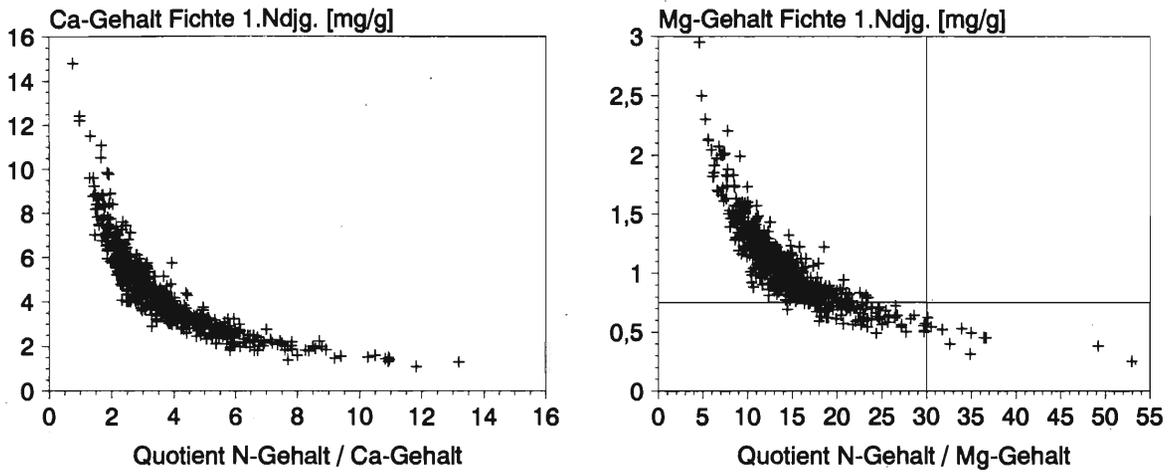
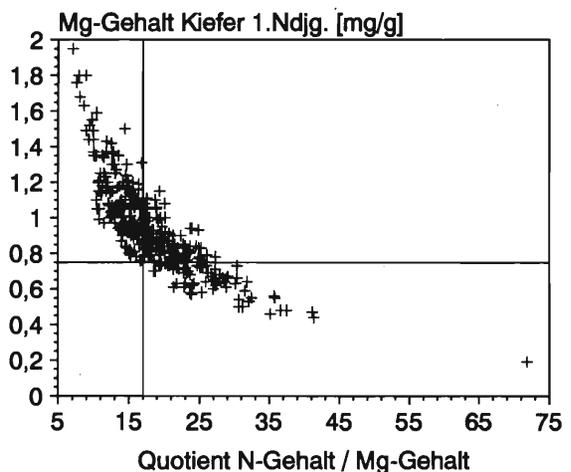
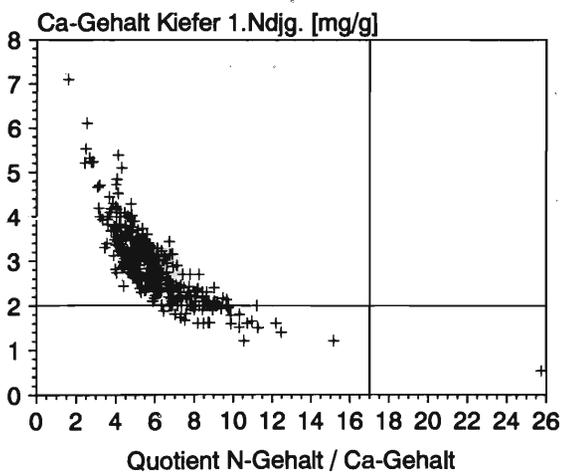
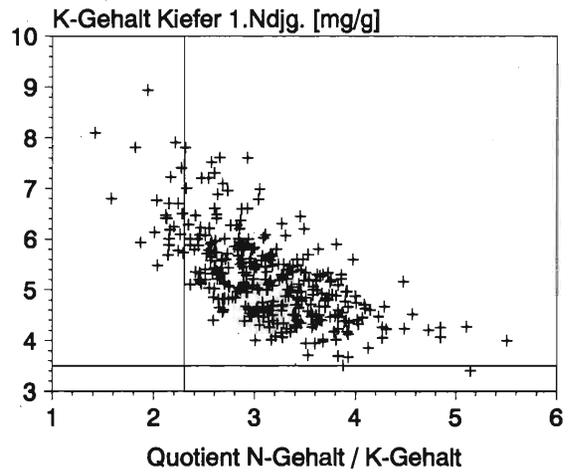
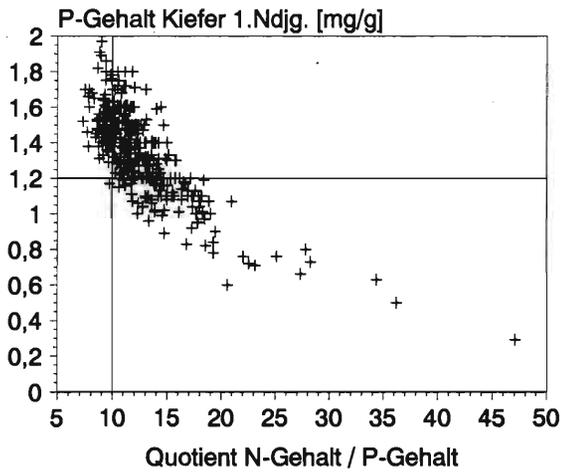


Abbildung 17:

**Stickstoffquotienten und Elementgehalte von Kiefernadeln an ausgewählten Bodenzustandserhebungs-Probenpunkten**

(Werte unterhalb der horizontalen Linie: P-, K-, Ca-, Mg-Mangel;  
Werte rechts der vertikalen Linie: „disharmonische“ Stickstoffquotienten)



- Das verstärkte Auftreten *hoher* und *sehr hoher* **Kalium**versorgungsgrade der Kiefern in Nordostdeutschland ist angesichts der überwiegend silikatarmen Sande unerwartet und kann auf K-haltige atmosphärische Einträge (Stäube, Flugaschen) hinweisen.
- *Geringe* Kaliumgehalte treten darüber hinaus häufig auf Carbonatstandorten (K/Ca-Antagonismus) und Lösslehmböden auf, bei denen die K-Verfügbarkeit infolge einer Verarmung der Austausch im Makroporenbereich reduziert ist.
- Die **Schwefel**gehalte in den Assimilationsorganen der Kiefern und Buchen weisen für alle untersuchten Punkte einen deutlichen Immissionseinfluß nach (Abbildung 18). Auch 59 % der Fichtenbestände überschreiten die natürlichen Schwefelgehalte, so daß hier gleichfalls von einer Schwefel-Immissionseinwirkung auszugehen ist (Abbildung 19). Eine deutliche räumliche Verteilung der S-Gehalte weist Belastungsschwerpunkte vor allem in den Mittelgebirgen, aber auch im Norddeutschen Tiefland aus. In den Alpen, im Alpenvorland und in weiten Teilen von Rheinland-Pfalz stellt sich die Belastungssituation deutlich geringer dar.

Abbildung 18:

**Gegenüberstellung der S-Gehalte des 1. und 3. Nadeljahrgangs von Fichten (n = 600) und Bereich natürlicher S-Gehalte**

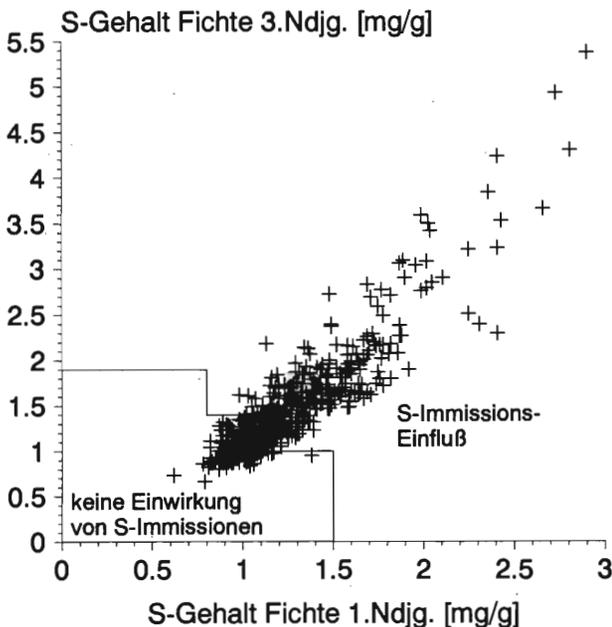
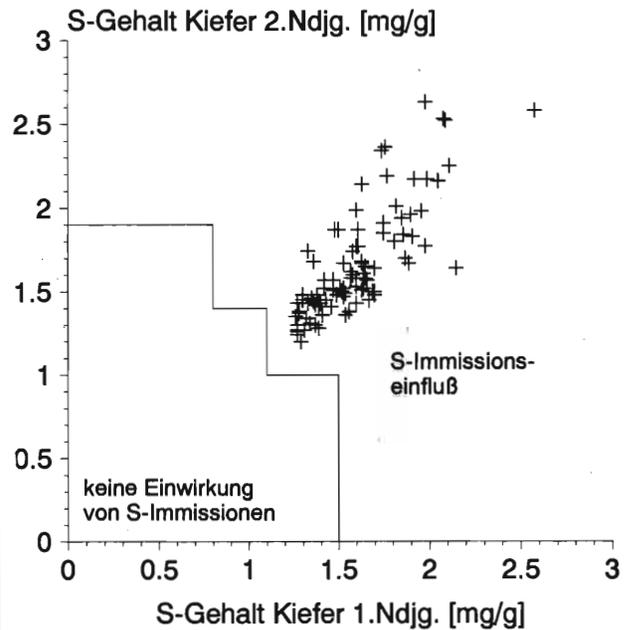


Abbildung 19:

**Gegenüberstellung der S-Gehalte des 1. und 2. Nadeljahrgangs von Kiefern (n = 93) und Bereich natürlicher S-Gehalte**



- Die Nadel-/Blattgehalte der Elemente Zink, Cadmium und Blei geben Hinweise auf regional auftretende Belastungen durch **Schwermetall**depositionen. Die Cadmiumkonzentrationen von jeweils 10 % aller Fichten- bzw. Kiefernbestände liegen in einem Bereich, in dem Beeinträchtigungen physiologischer Prozesse<sup>7)</sup> möglich sind. Die häufig geringen und sehr geringen Zn-Gehalte in Fichtennadeln weisen indes auf eine **angespannte Zinkversorgungslage** vornehmlich in Süddeutschland hin.

**3.6 Waldschadensmonitoring auf Dauerbeobachtungsflächen (sog. Level II-Programm)**

**3.6.1 Ziele des Level II-Programms**

In den letzten Jahren wurde ein weiterführendes und vertiefendes Dauerbeobachtungsflächenprogramm (Level II) eingerichtet, um die Ursache-Wirkungsbeziehung zwischen den Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren besser untersuchen zu können. Dieses Programm läßt wertvolle Erkenntnisse über die Entwicklung und Gefährdung von in Deutschland weit verbreiteten Waldökosystemen erwarten. Es leistet somit einen wesentlichen Beitrag

<sup>7)</sup> Nach BURSE & SCHRAMM sind Cadmiumgehalte in Nadeln um 3 mg/kg als Schwelle für phytotoxische Reaktionen anzusehen.  
BURSE, K. D., SCHRAMM, H. J. (1996): Waldbodenzustandsbericht für Thüringen. Mitteilungen der Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. Heft 10/1996.

zur Klärung der Ursachen der „Neuartigen Waldschäden“.

Das Hauptziel der Untersuchungen im Level II-Programm ist die Darstellung aktueller Entwicklungstendenzen der Ökosysteme sowie deren kausale Erklärung. Dazu dienen zeitlich hoch auflösende Messungen von Kronenzustand, Wachstum und Ernährungssituation der Bäume sowie von Einflußfaktoren (Witterung, Bodenzustand, Stoffein- und -austräge). In dieser Hinsicht handelt es sich um punktorientierte Fallstudien mit hoher Meßintensität, deren Ergebnisse anhand von Meßdaten aus Rasterinventuren (z.B. Waldschadenserhebung, bodenchemische und ernährungskundliche Informationen aus der Bodenzustandserhebung) und Leitinformationen aus flächigen Kartierungen (z.B. Standortkartierung, geologische Karten, Bodenkarten) schrittweise und mit der gebotenen Vorsicht auf forstliche Einheiten (z.B. Wuchsbezirke) übertragen werden sollen.

Die bei den Untersuchungen im Level II-Programm gewählten Methoden sind anerkannt und werden seit längerem erprobt, auf nationaler und internationaler Ebene weiter harmonisiert und entsprechend den Zielen des Programms weiterentwickelt.

Das Level II-Programm schafft außerdem eine Datengrundlage, die für spezielle und tieferegreifende Fragestellungen der angewandten, aber auch der Grundlagenforschung zur Verfügung stehen und möglichst umfassend genutzt werden sollte.

### 3.6.2 Umfang des Meßprogramms

Das Meßprogramm auf Level II-Flächen umfaßt derzeit:

#### A) Komponenten des Energie- und Stoffhaushalts

- Deposition  
Erfassung der Einträge von Luftverunreinigungen in Waldökosysteme zur Ableitung von Beziehungen zwischen den Einträgen und Veränderungen im System sowie zur Prüfung der Wirksamkeit von Luftreinhaltmaßnahmen.
- Meteorologische Parameter  
Erfassung der Witterungsverläufe und -extreme zur Ableitung von Trends und Beziehungen zwischen Klima und Elastizität des Ökosystems.
- Bodenzustand  
Erfassung von mittel- und langfristigen Veränderungen des chemischen Zustandes der Waldböden, verbunden mit der Erweiterung der Kenntnisse über Versauerungsvorgänge, Nährstoffverluste, Eutrophierung und einer Abschätzung des Risikopotentials für das Grund- und Quellwasser durch Stoffauswaschung.
- Sickerwasser  
Chemische Analyse zur Beobachtung kurz- und

mittelfristiger Veränderungen der Bodenlösung und zur Ermittlung von Austragsraten mit dem Sickerwasser.

#### B) Biologische Systemreaktionen

- Kronenzustand  
Beobachtung der Reaktion der Baumkronen auf natürliche und anthropogen bedingte Einflüsse; Gewinnung von Erkenntnissen über die zeitliche Schwankungsbreite verschiedener Schadmerkmale und über die Fähigkeit der Bäume, sich nach Störungen wieder zu regenerieren.
- Blatt-/Nadelgehalte  
Überwachung des Ernährungszustandes der Waldbäume zur Abschätzung der zeitlichen Schwankungsbreite der Elementgehalte in Nadeln und Blättern in Abhängigkeit von den Nährstoffreserven des Bodens, der Schadstoffbelastung und anderen Einflußfaktoren.
- Zuwachs  
Untersuchungen zur Reaktion des Durchmesser- und Höhenzuwachses und der Bestandesstruktur auf natürliche und anthropogene Einflüsse sowie über Zusammenhänge zwischen Kronenzustand und Zuwachs.
- Bodenvegetation  
Aufnahme der Bodenvegetation; Beobachtung der Veränderungen in Artenzusammensetzung, Individuendichte und Vitalität als Indikatoren für Oberbodenzustand und Struktur der Vegetation unter der Einwirkung sich ändernder Umweltbedingungen wie Witterungsverlauf und Stoffeinträgen.

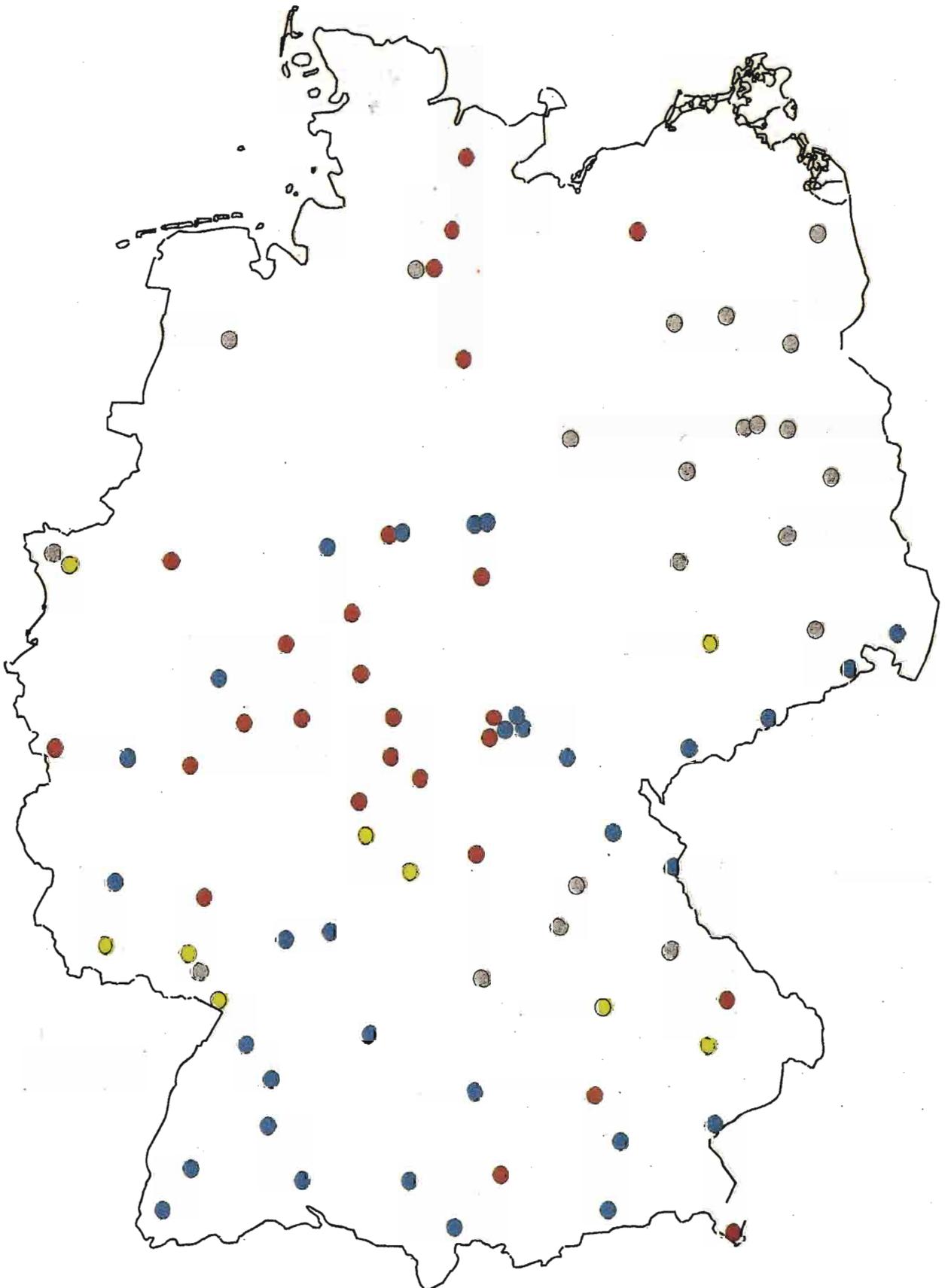
Während die Messung des Sickerwassers, der Deposition und der meteorologischen Parameter kontinuierlich erfolgt, werden alle anderen Messungen in zeitlichen Abständen von einem bis max. zehn Jahren durchgeführt.

Das Level II-Untersuchungsprogramm stellt hohe Anforderungen an die Länder in bezug auf die Sicherung der finanziellen und personellen Voraussetzungen sowie die exakte Einhaltung der vereinbarten Methodik für Erhebung bzw. Auswertung der Daten. Dabei ist es von besonderer Bedeutung, dieses Programm über einen längeren Zeitraum (mindestens 20 Jahre) kontinuierlich durchzuführen. Nur so ist eine länderübergreifende und integrale Auswertung möglich.

Die Auswahl der 89 Level II-Flächen ist nicht an ein systematisches Gitternetz gebunden, sondern will die wichtigsten Waldökosysteme, die Hauptbaumarten und die häufigsten Wachstumsbedingungen in Deutschland erfassen (siehe Karte 14). Nach Möglichkeit wurden Untersuchungsflächen in das Programm aufgenommen, von denen bereits mehrjährige Meßreihen zu Parametern des Programms vorliegen.

Karte 14:

Level II-Flächen in Deutschland



- Eiche
- Buche
- Kiefer
- Fichte
- Lärche

### 3.6.3 Erste Ergebnisse

Die Level II-Flächen wurden auf den hinsichtlich Standorteigenschaften und Baumarten wichtigsten Waldökosystemen Deutschlands eingerichtet.

Bereits die inzwischen ausgewerteten Meßdaten von 1995 zeigen eine weite Spanne von Belastungssituationen und die unterschiedlichen Versauerungsgrade der Böden (stark versauert bis nicht versauert) und damit zusammenhängend die Nährstoffreserven (sehr gering bis gut) für die Bäume auf. Die durchgeführten Nadel-/Blattanalysen lassen erkennen, daß die Laubbäume bis auf einige Ausnahmen gut mit Magnesium versorgt sind, während bei den meisten Nadelbäumen Magnesiummangel ersichtlich ist. Während die untersuchten Kiefernstandorte allgemein geringe Nadelverluste zeigen, wurden bei einigen Fichtenbeständen und vor allem Buchen- und Eichenbeständen 1995 hohe bis sehr hohe mittlere Nadel- bzw. Blattverluste festgestellt.

Von Depositionsmessungen des Umweltbundesamtes in ganz Deutschland außerhalb des Waldes ist bekannt, daß die **Schwefeldeposition** in den letzten Jahren in vielen Bereichen Deutschlands gegenüber der zuvor sehr hohen Belastung deutlich zurückging. Aus dem Level II-Programm können wichtige Hinweise zur Deposition in Waldbeständen gewonnen werden. Karte 15 zeigt, daß der überwiegende Teil der Level II-Flächen 1995 sehr geringen bis geringen Einträgen unterlag. Die mittleren bis hohen Einträge der anderen Flächen sind wahrscheinlich auf Nahe-missionen benachbarter Industriekomplexe oder auf eine besonders exponierte Lage zurückzuführen. Die Flächen mit extremen Belastungen liegen ausnahmslos auf dem Erzgebirgskamm im Süden Ostdeutschlands.

Bei der Bewertung der relativ geringen Schwefeleinträge z. B. für den Bodenzustand muß bedacht werden, daß selbst eine niedrige Säurebelastung noch das Puffervermögen der Böden mit niedriger Austauschkapazität bei gleichzeitig niedriger Basensättigung übersteigt.

Waldbestände benötigen durchschnittlich ca. 10 kg/ha **Stickstoff** für ihren jährlichen Holzzuwachs. 8 der 56 Flächen, von denen Depositionsdaten für 1995 vorliegen, erhielten N-Depositionen in dieser Größenordnung (8–12 kg). Es sind Bestände, bei denen sowohl die Ammonium-N- als auch die Nitrat-N-Einträge als gering einzustufen sind (vgl. Karte 15). Der größte Teil der Dauerbeobachtungsflächen war 1995 einem Eintrag von 15–30 kg Stickstoff ausgesetzt. Die höchsten Werte von etwa 40 bzw. 37 kg finden sich im Thüringer Gebirge, wobei der Anteil des Ammonium-N in beiden Fällen höher ist als der des Nitrat-N, beide jedoch als sehr hoch einzustufen sind.

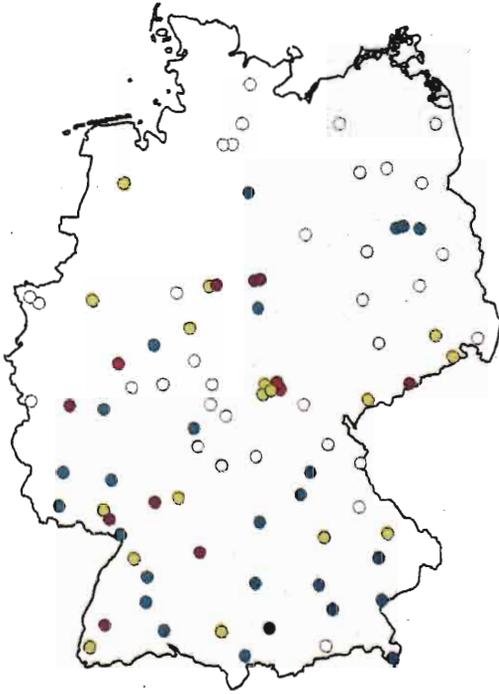
Die Verteilung der **Nitrat-N-Einträge** stellt sich differenzierter dar als die der Schwefeleinträge. Zwar wird auf der Hälfte aller Dauerbeobachtungsflächen eine als gering zu bewertende Depositionsmenge gemessen, aber auf einem Viertel von ihnen liegen die Nitratreinträge im Bereich hoch bzw. sehr hoch.

Bei **Ammonium-N** überwiegen Dauerbeobachtungsflächen mit mittelhohen Einträgen, die mit Ausnahme des Südwestens über ganz Deutschland verteilt sind. Die Bedeutung dieser Einträge übertrifft offensichtlich die der Nitrat-N-Einträge, was durch das überwiegend positive Ammonium/Nitrat-Verhältnis gezeigt wird (s. auch Karte 15). Besonders augenfällig ist dieser Einfluß im Nordwesten, wo Ammonium-N-Einträge von über 20 kg gemessen wurden.

Karte 15:

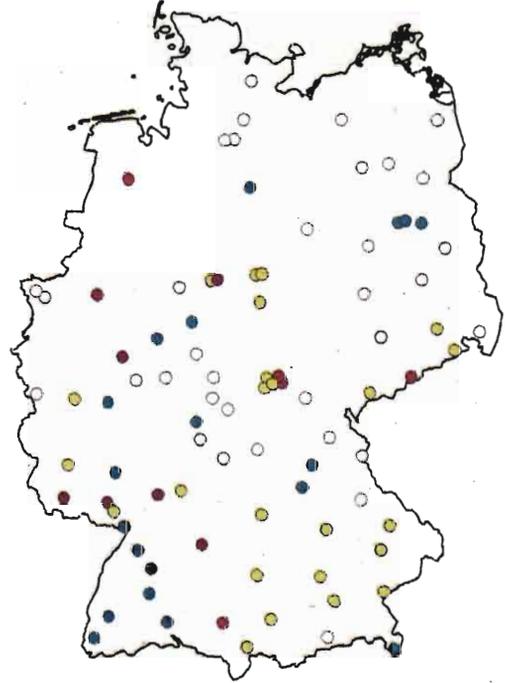
Deposition auf Level II-Flächen

Nitrat-N [kg/ha]



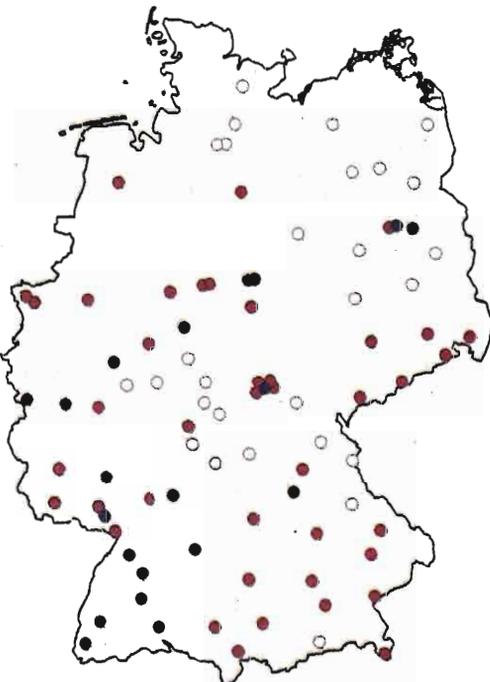
- <4 (sehr gering)
- 4-8 (gering)
- 8,1-12 (mittel)
- 12,1-16 (hoch)
- >16 (sehr hoch)

Ammonium-N [kg/ha]



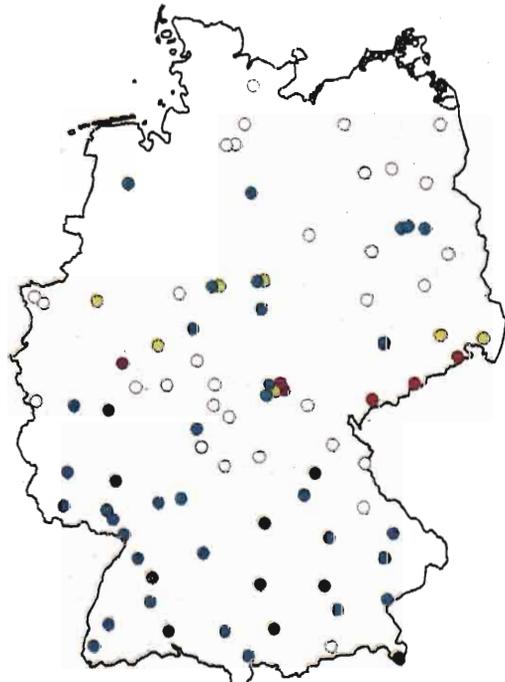
- <4 (sehr gering)
- 4-8 (gering)
- 8,1-12 (mittel)
- 12,1-16 (hoch)
- >16 (sehr hoch)

NH4-N / NO3-N - Verhältnis



- NH4/NO3 <1
- NH4/NO3 >=1

Sulfat-S [kg/ha]



- <10 (sehr gering)
- 10-20 (gering)
- 21-30 (mittel)
- 31-40 (hoch)
- >40 (sehr hoch)

### 3.6.4 Intensive Auswertung einer Dauerbeobachtungsfläche – Solling

Welche Auswertungsmöglichkeiten langfristig das Level II-Programm bietet, soll am Beispiel eines Fichtenwaldökosystems im Solling (Niedersachsen) dargestellt werden. Auf dieser Fläche, einem Fichtenaltbestand, wurde im Rahmen von Forschungsprogrammen vor etwa dreißig Jahren ein Waldmonitoring begonnen, das weitgehend dem heutigen Level II-Programm entspricht. Heute ist die Fläche Bestandteil des deutschen Level II-Programms.

Anfang der 70er Jahre war das Ökosystem hohen atmosphärischen Einträgen von Säure, Sulfat und Stickstoff ausgesetzt. Entsprechend der hohen Sulfatfracht waren die Sickerwasserausträge von Aluminium und Nährstoffkationen hoch. Die Vorräte an austauschbaren Nährstoffkationen waren bei einer Basensättigung von 9 % der effektiven Austauschkapazität niedrig. In diesem Zustand handelte es sich um ein System mit sehr hoher stofflicher Belastung und geringer Elastizität bezüglich des Risikos von Säuretoxizität und der Nährstoffversorgung der Bäume. Bereits zu diesem Zeitpunkt war die Magnesiumversorgung der Bäume angespannt.

Im Laufe der 28jährigen Beobachtung sind die atmosphärischen Stickstoffeinträge bis Ende der 70er Jahre angestiegen und dann auf einem hohen Niveau geblieben (Abbildung 20). Da der Stickstoffeintrag seit langem mit etwa  $40 \text{ kg/ha} \times a$  weit über dem Bedarf der Bäume ( $\text{ca. } 10 \text{ kg N/ha} \times a$ ) liegt, muß sich der überschüssige Stickstoff im System zunehmend anreichern. Daß eine Stickstoffsättigung schon erreicht wurde, drückt sich unter anderem in den relativ hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser aus (Abbildung 21). Säure- und Sulfateintrag haben sich seit Anfang der 70er Jahre mehr als halbiert (Abbildung 20). Der Sickerwasseraustrag von Aluminium hat wegen der verringerten Sulfatfracht abgenommen (Abbildung 21). Auch der atmosphärische Eintrag von Calcium hat sich verringert (Abbildung 20). In der Bodenlösung war zunächst aufgrund der hohen Sulfatflüsse ein Anstieg der Calciumgehalte festzustellen (Abbildung 21). Der Bedarf dafür wurde aus dem austauschbaren Calcium gedeckt. Nachdem der Vorrat an austauschbarem Calcium bis auf einen „eisernen Bestand“ reduziert wurde, sanken auch in der Bodenlösung die Calciumgehalte. Heute hat sich ein Fließgleichgewicht zwischen den Calciumeinträgen aus der Atmosphäre sowie der Verwitterung und den Calciumausträgen mit dem Sickerwasser eingestellt. Im Laufe der Zeit hat der Vorrat an austauschbaren Nährstoffkationen deutlich abgenommen (Abbildung 22). Die Basensättigung lag 1995 bei nur noch 3 %. Ein zeitlicher Trend des Ca/Al-Verhältnis-

ses der Bodenlösung im Hauptwurzelraum, das bei Werten zwischen 0,2 und 0,4 ein hohes Risiko von Toxizität für die Baumwurzeln anzeigt, ist nicht feststellbar.

Trotz des Rückgangs des atmosphärischen Säureeintrags seit Mitte der 90er Jahre übersteigt die Belastung immer noch das Puffervermögen des Bodens. Die Elastizität des Bodens gegenüber der Säurebelastung ist im Vergleich zum Ende der 60er Jahre noch geringer geworden; sie ist heute als sehr gering einzustufen. Obgleich bei der Luftreinhaltung in den letzten 15 Jahren große Erfolge erzielt worden sind, die sich in den Ergebnissen der Depositionsmessungen niederschlagen, ist damit dieses Waldökosystem noch nicht zwangsläufig auf dem Weg der Regeneration.

Der Vitalitätszustand des Bestandes hat sich in der Beobachtungszeit wenig geändert. Seit Mitte der 80er Jahre liegt der Anteil der Bäume mit über 25 % Kronenverlichtung gleichbleibend bei etwa 30 %. Der Vergilbungsgrad der Nadeln ist mit witterungsbedingt starken Schwankungen in den 90er Jahren gegenüber den 80er Jahren angestiegen. Die starke Vergilbung kann auf einen Magnesiummangel der Nadeln zurückgeführt werden, der über den gesamten Beobachtungszeitraum ausgeprägt war. Für andere Nährstoffe läßt sich kein Mangel nachweisen. Sporadisch durchgeführte Wurzeluntersuchungen weisen auf ein flaches Wurzelsystem hin.

Die Elastizität des Bodens gegenüber Einträgen wird noch über lange Zeit sehr gering bleiben. Aufgrund der geringen Verwitterungsraten erfolgt eine Verbesserung des Base-/Säurezustandes des Bodens sehr langsam. Selbst bei den inzwischen verringerten atmosphärischen Säureeinträgen wird sich die Basensättigung des Bodens in den nächsten 100 Jahren kaum erhöhen.

Waldökosysteme sind sehr vielfältig und ebenso vielfältig sind ihre Reaktionsmöglichkeiten auf Umweltbelastungen. Der Fichtenwald im Solling stellt ein Beispiel für ein System und seine Reaktionsmöglichkeiten auf vergleichsweise hohe Belastungen dar. Es sind viele Kombinationen von Belastungstypen (z. B. säuredominierter Belastungstyp, stickstoffdominierter Belastungstyp), Belastungsstärken und Reaktionsmuster in Abhängigkeit des Standortes und des aufstockenden Bestandes denkbar. Wenn für alle Level II-Flächen längere Meßreihen vorliegen, wird es möglich sein, die gesamte Bandbreite der Reaktionen auf Luftverunreinigungen besser zu verstehen und daraus eine fundierte Grundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder abzuleiten.

Abbildung 20:

**Entwicklung der atmosphärischen Einträge (Gesamtdeposition)  
von Sulfat-Schwefel (SO<sub>4</sub>-S), Calcium (Ca) und Gesamt-Stickstoff (N<sub>ges</sub>)  
in einem Fichtenbestand im Solling**

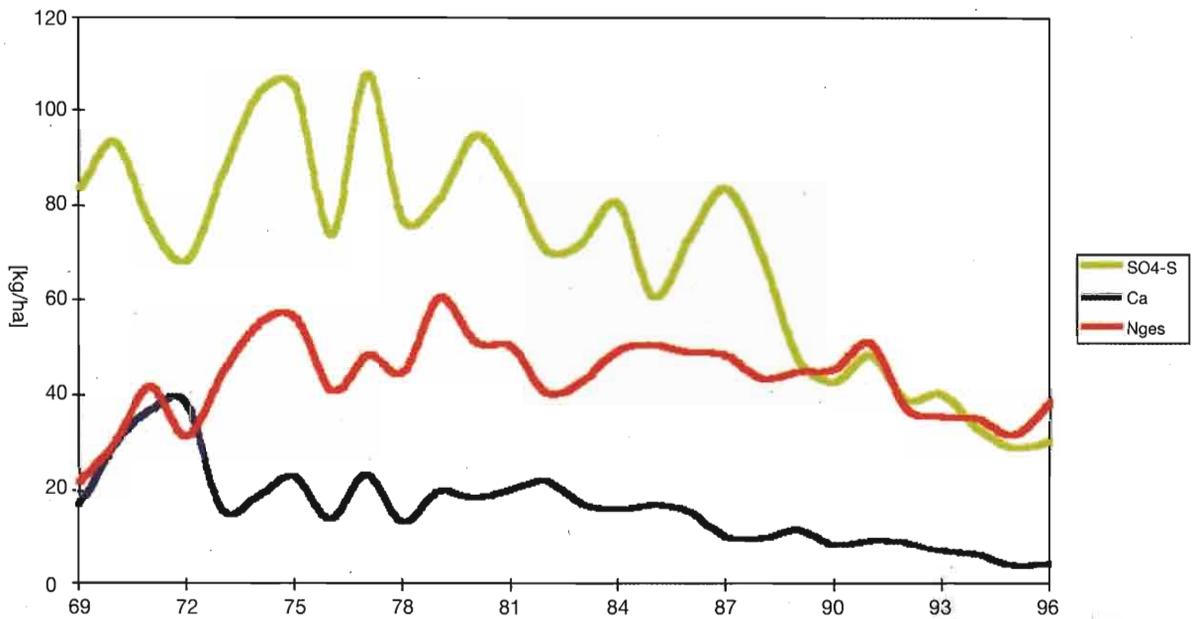


Abbildung 21:

**Entwicklung der Konzentrationen von Aluminium (Al), Calcium (Ca),  
Nitrat-Stickstoff (NO<sub>3</sub>-N) und Sulfat-Schwefel (SO<sub>4</sub>-S) in der Bodenlösung (bei 90 cm)  
in einem Fichtenbestand im Solling**

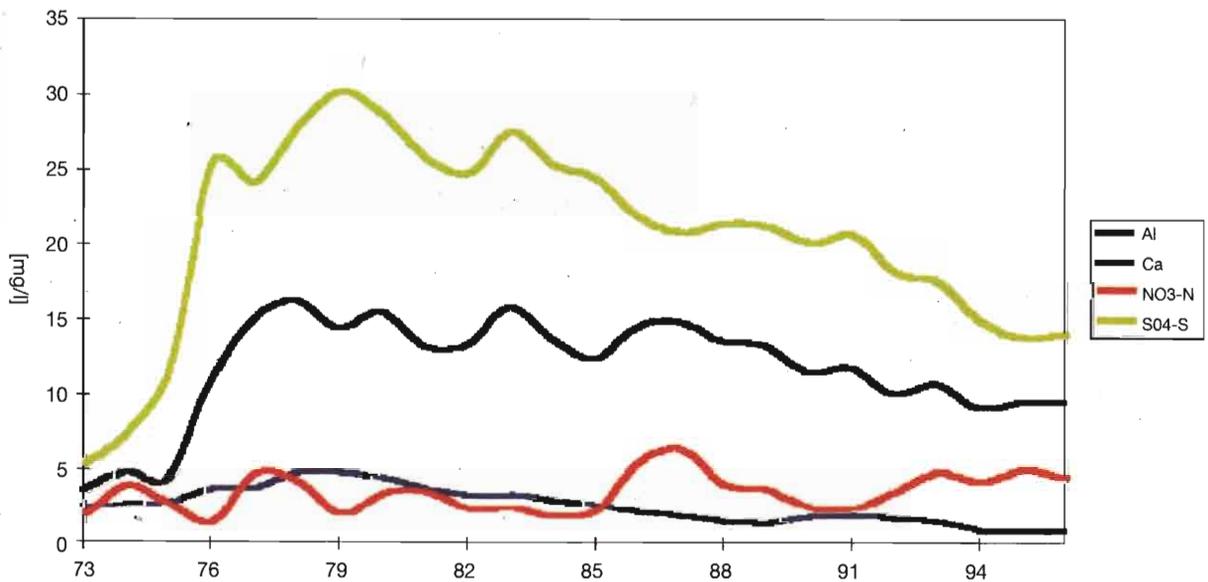


Abbildung 22:

**Entwicklung der Vorräte austauschbarer Neutralkationen (Ca, Mg, K, Na) im Mineralboden (0–50 cm) eines Fichtenbestandes im Solling**

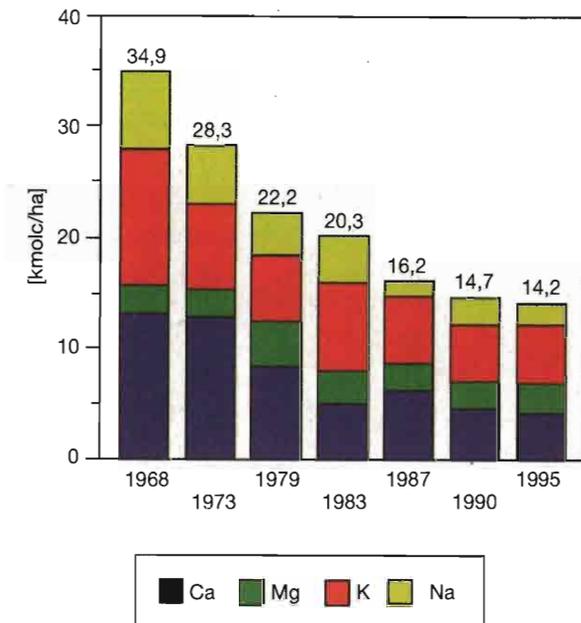
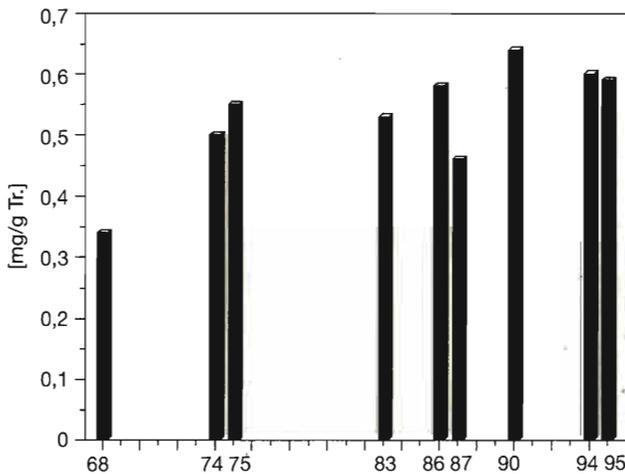


Abbildung 23:

**Entwicklung der Magnesiumgehalte in diesjährigen Nadeln eines Fichtenbestandes im Solling**



### 3.6.5 Ausblick

Die Level II-Flächen dienen der Klärung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Umweltfaktoren. Die Ergebnisse dieses Programms lassen sich vielfältig nutzen. Für die Forstwirtschaft lassen sich Hinweise für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder geben. Dem Umwelt- und Naturschutz steht umfangreiches Material über den Zustand von Waldbeständen zur Verfügung. Der Umweltpolitik wird eine wertvolle Hilfe zur Beurteilung der Wirksamkeit umweltpolitischer Maßnahmen an die Hand gegeben.

Die Level II-Flächen stellen eine Auswahl der wichtigsten Stoffflusstypen und natürlichen Altersstufen (z.B. Dickung, Altbestand) von Waldökosystemen dar.

Stoffflusstypen definieren sich einerseits durch die Standorteigenschaften (z.B. Basenausstattung des Ausgangssubstrates, Entwicklungstiefe des Bodens) und den Versauerungszustand des Bodens, andererseits durch Höhe und Zusammensetzung der atmosphärischen Depositionsbelastung. Wesentliche Einflußfaktoren, die den Stoffflusstyp bestimmen, sind außerdem die Hauptbaumart und die Bestandesstruktur sowie geschichtliche Vorbelastungen wie z.B. Streunutzung. Das Level II-Programm untersucht die dynamische Entwicklung dieser Einflußfaktoren im Sinn von Ökosystemfallstudien.

Ziel der im Rahmen des Level II-Programms durchgeführten Messungen ist, Datenmaterial für die Berechnung und Validierung von Modellen über die Entwicklung des Ökosystemzustandes zu liefern. Je nach Instrumentierungsintensität ist die Zielgröße der Untersuchungen die Entwicklung des Kronenzustandes vor dem Hintergrund der aktuellen Rahmenbedingungen oder die Entwicklung der austauschbaren Stoffvorräte im Boden. Die Typisierung der untersuchten Ökosystemzustände ermöglicht die vorsichtige Übertragung der Untersuchungsergebnisse auf forstliche Einheiten. Voraussetzung für eine solche räumliche Extrapolation ist das Vorhandensein von Leitinformationen aus flächendeckenden Kartierungen wie Bodenkarten, geologischen Karten oder forstlichen Standortkarten.

Informationen zur Übertragung der Modellergebnisse aus dem Level II-Programm auf die gesamte Waldfläche müssen aus allen verfügbaren Quellen abgeleitet werden. Geeignete Ansatzpunkte hierfür ergeben sich aus den Rasterinventuren des Level I-Programms wie der Bodenzustandserhebung, der Waldschadenserhebung und in einigen Ländern aus den Waldernährungserhebungen. Aus diesen Rasterinventuren werden räumliche Muster der untersuchten Größen abgeleitet. Die zeitliche Auflösung der Messungen und damit die Erkennbarkeit von Entwicklungstendenzen ist im Level I-Programm begrenzt. Deshalb soll in Zusammenhang mit den zeitlich hochauflösenden Untersuchungen im Level II-Programm eine Abschätzung der Entwicklungsdynamik von Ökosystemzuständen versucht werden.

## 3.7 Ergebnisse der Waldforschung

### 3.7.1 Waldökosystemforschung

In den Jahren 1986–1988 erreichte die Waldschadensforschung in Deutschland ihren Höhepunkt. Die Vielzahl der in den Einzelprojekten verfolgten Fragestellungen, die zunehmend erkennbare gegenseitige Abhängigkeit bis dahin individuell untersuchter Phänomene, verbunden mit dem Fortschritt in der Modellierung (Berechnung und Simulation) komplexer Wirkungszusammenhänge, führten zu einem neuen Forschungsansatz: der Waldökosystemforschung.

Durch die ineinandergreifende Zusammenarbeit der verschiedenen Teildisziplinen der Waldforschung, durch einen systemorientierten Ansatz anstelle der monokausalen Ansätze, durch die Bereitstellung modernster Analysemethoden und durch eine langfristige Perspektive für diese Arbeiten wurde eine neue Qualität der Forschung erreicht. Sie ist besser in der Lage, die hochkomplizierten Abläufe in Waldökosystemen zu verstehen und in Zusammenarbeit mit flächigen Aussagen von Übersichtserhebungen und dem intensiven Monitoring auf Dauerbeobachtungsflächen Maßnahmen für Schutz, Pflege und verstärkt naturnahe Waldbewirtschaftung zu empfehlen.

Seit 1989 wird die Waldökosystemforschung des BMBF mit bisher 167 Mio. DM in zwei Großprojekten

- Forschungszentrum Waldökosysteme, Göttingen,
- Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK),

sowie in drei weiteren Verbundprojekten

- Technische Universität Dresden/Tharandt: Waldökosysteme/Waldumbau Erzgebirge,
- BFH Institut VII Eberswalde (mit Fraunhofer-Gesellschaft – Institut für atmosphärische Umweltforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Technische Universität Cottbus): Waldökosystemforschung Eberswalde,
- Universität München (mit Universität Freiburg, Fraunhofer-Gesellschaft – Institut für atmosphärische Umweltforschung): Höglwald-Projekt

gefördert.

In den folgenden zwei Kapiteln werden in konzentrierter Darstellung die aktuellen Ergebnisse der Göttinger und der Bayreuther Arbeiten vorgestellt. In diesen Aussagen finden teilweise auch Erkenntnisse anderer Forschungsgruppen Erwähnung, die hier nicht besonders gekennzeichnet wurden.

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse sind allerdings nur Fallbeispiele, die nicht ohne Beachtung der Begleitumstände auf andere Waldorte übertragbar sind.

### 3.7.1.1 Ausgewählte Ergebnisse des Forschungszentrums Waldökosysteme Göttingen zum Zustand und zur weiteren Entwicklung der Wälder

#### Systemarer Ansatz, Entwicklung und Erkenntnisstand

Die Waldökosystemforschung legt besonderes Gewicht auf interdisziplinäre, systemorientierte und langfristige Ansätze; sie ist problemorientiert.

Sie beinhaltet – wo dies zur wissenschaftlichen Fundierung erforderlich ist – auch Grundlagenforschung. Das Schwergewicht liegt jedoch stets auf der Erarbeitung von Handlungswissen für eine nachhaltige, zukunftsorientierte Waldwirtschaft, die ihrem Wesen nach wissenschaftlich begründetes Ökosystemmanagement sein sollte.

Waldökosystemforschung hat wesentlich zum Verständnis der vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Standort des Waldes einerseits sowie der anthropogenen Beeinflussung dieses Beziehungsgefüges andererseits beigetragen. Bezüglich der Gefährdung des Waldes durch menschliche Einflüsse konnte insbesondere die Bedeutung der sauren Deposition unter unterschiedlichen Standorts- und Bestockungsbedingungen bewertet werden. Eine Veränderung der Wurzelsysteme infolge der Veränderung des chemischen Milieus im Boden wurde in einer Vielzahl von Fallstudien belegt. Gleichzeitig weisen die langfristig angelegten Meßreihen den Rückgang der Schwefel- und Säureinträge seit Ende der achtziger Jahre aus. Ursache hierfür waren sowohl Luftreinhaltemaßnahmen als auch die Umstrukturierung der Industriebetriebe in den neuen Ländern. Grundsätzlich ist mit einem Rückgang der in die Wälder eingetragenen Säurefrachten die Möglichkeit einer Stabilisierung ökosystemarer Stoffkreisläufe gegeben. Der Boden ist jedoch ein träge reagierendes Medium, das oft erhebliche Speicherfähigkeit aufweisen kann. Die Wirkung der über Jahrzehnte akkumulierten Einträge kann daher auch dann noch anhalten, wenn keine weiteren Depositionen mehr erfolgen. Darüber hinaus sind die atmosphärischen Stickstoffeinträge in den Wald noch immer so hoch, daß Störungen der Nährstoffverhältnisse zu weiteren Streßwirkungen führen. Ein bei Überschreitung der ökosysteminternen Stickstoff-Speicherkapazität bedeutsameres ökologisches Gefährdungspotential ist allerdings wahrscheinlich die Belastung der Hydrosphäre mit Nitraten und evtl. die Emission stickstoffhaltiger klimarelevanter Spurengase aus den Waldböden.

#### Neue Ergebnisse aus aktuellen Forschungsvorhaben

##### Wurzeluntersuchungen

Im Solling wird die Anpassungsfähigkeit des Wurzelsystems der Fichte auf Bodenversauerung untersucht. Hierzu werden in vier Fichtenreinbeständen (ca. 40jährig), die sich hinsichtlich des Versauerungsgrades des Bodens stark unterscheiden, Wurzel- und Mykorrhizauntersuchungen durchgeführt.

Die Unterschiede in der Querschnittssumme der Senkerwurzeln werden erst unterhalb 60 cm Bodentiefe deutlich. Die Feinwurzelbiomasse im oberen Mineralboden (bis 40 cm) zeigt daher unabhängig vom Versauerungsgrad nur geringe Unterschiede zwischen den untersuchten Beständen. Deutliche Unterschiede zeigten sich hingegen in der Menge der Feinwurzeln im Auflagehumus. Mit zunehmendem Versauerungsgrad steigt die Menge an Feinwurzeln in der organischen Auflage an. Es besteht offenbar ein direkter positiver Zusammenhang mit der Mächtigkeit der organischen Auflage.

Nach neuesten, allerdings nur vorläufigen Ergebnissen von Hydro- und Sandkulturexperimenten erscheint eine direkte Wirkung von Aluminium (Al) auf das Wurzellängenwachstum der Fichte als Ursache der beobachteten vertikalen Durchwurzelungsmuster eher unwahrscheinlich. Indirekte Al-Wirkungen z. B. über eine Hemmung der Kalzium (Ca)- und Magnesium (Mg)-Aufnahme hingegen dürften eine wichtige Rolle spielen (s. Kapitel 3.7.3.2).

Die Al-Gehalte der Feinwurzeln nehmen auf den stark versauerten Flächen im Harz und im Fichtelgebirge mit zunehmender Bodentiefe zu. Ob die reduzierte Tiefendurchwurzelung in ursächlichem Zusammenhang mit diesem ausgeprägten vertikalen Gradienten der Al-Belastung steht, ist bisher ungeklärt. Nach neuesten, allerdings nur vorläufigen Ergebnissen von Hydro- und Sandkulturexperimenten wird das Längenwachstum von Fichtenlangwurzeln selbst bei einem Ca/Al-Verhältnis in der Nährlösung von <0,1 praktisch nicht gehemmt, wenn die Testlösung zuvor mit gereinigtem Quarzsand in Kontakt war. Sollte dieser „Quarzeffekt“ auch unter Freilandbedingungen relevant sein, bedeutete dies, daß eine direkte Wirkung von Al auf das Wurzellängenwachstum der Fichte als Ursache der beobachteten vertikalen Durchwurzelungsmuster unwahrscheinlich ist.

Damit wären die schädlichen Wirkungen des durch erhöhte Säurewerte aus den Mineralböden freigesetzten Aluminiums, die seit Beginn der Waldschadensforschung diskutiert werden, in diesem Punkt (Auswirkung auf das Wurzelwachstum) geringer als bisher angenommen. Allerdings bleibt weiterhin die Frage einer durch Aluminium eingeschränkten Nährstoffaufnahmekapazität der Wurzeln offen.

##### Untersuchungen zu den ökologischen Auswirkungen von Verjüngungsverfahren

Ergebnisse eines Verjüngungsversuches unter Verwendung von Lochhieben (sog. Femel-Lücken) im Solling liegen jetzt annähernd vollständig vor. Diese Methode der Baumernte, die auf kleine Ernteflächen setzt, stellt eine interessante Methode für den Waldbau dar. Unklar waren aber bisher die Vorgänge auf frisch gekalkten Femel-Lücken.

Folgendes stellte sich heraus: Auf den gekalkten Lücken erreicht der Deckungsgrad der Krautschicht in der Lückenmitte seit der zweiten Vegetationsperiode nach der Aufflichtung (1991) Werte über 80 %. Die ungekalkten Lücken werden mit großer zeitlicher Verzögerung besiedelt. Im siebten Jahr (1996)

sind die Deckungsgrade der gekalkten noch doppelt so hoch wie die der ungekalkten Lücken.

Die oberirdische Biomasse der Krautschicht ist nach Kalkung um den Faktor acht bis zehn erhöht. Bei der unterirdischen Biomasse sind die Unterschiede noch größer. Von der Lückenmitte zu den Traufbereichen nehmen die Biomassen um mehr als die Hälfte ab.

In den ersten vier Jahren nach der Auflichtung wurden auf den ungekalkten Lücken hohe Austragsraten von Nitrat, Ca und Mg – d.h. Auswaschverluste dieser Nährelemente in das Sickerwasser – gemessen. Sie lagen im Mittel pro Jahr für Nitrat-N bei 90 kg/ha im ungekalkten und 35 kg im gekalkten Lochhieb. Im Bestand fand sich kein Nitrat im Sickerwasseraustrag, 15 kg/ha Ca wurden im ungekalkten, 8 kg im gekalkten Lochhieb und 2 kg im geschlossenen Bestand ausgetragen, bei Mg waren es 8,7 und 1 kg/ha.

Diese Ergebnisse belegen die positiven Wirkungen der Kalkung auf den Stoffhaushalt bei einer femelartigen Verjüngung.

#### *Bedeutung und Dynamik der Lebensgemeinschaften des Bodens*

Je saurer der Boden ist, desto weniger Kohlenstoff aus der organischen Substanz wird in mikrobieller Biomasse festgelegt, da unter sauren Bedingungen mehr Kohlenstoff für den Erhaltungsstoffwechsel der Mikroorganismen benötigt wird. Diese Zusammenhänge gelten sowohl für Buchen- als auch für Fichtenbestände. Eine ungestörte Tätigkeit dieser Bodenlebewesen ist jedoch für das Ökosystem Wald von ausschlaggebender Bedeutung.

Bakterien aus sauren Waldböden besitzen eine wesentlich geringere Abbauleistung bezüglich eines breiten Spektrums von Substraten als Bakterien aus basenreicheren Waldböden. In sauren Buchenwaldböden scheint es eine räumliche Trennung von Bakterienpopulationen unterschiedlicher Abbaupotenz zu geben.

Das Artenspektrum von Ektomykorrhizen – einer besonderen Form der Pilz-Wurzel-Symbiose – ist auf basenreichen Standorten ungefähr doppelt so hoch wie auf basenarmen Standorten. Die relative Mykorrhizahäufigkeit (Anzahl von Mykorrhizen pro Gewichtseinheit Wurzeln) zeigt auf basenreichen Standorten nur einen geringen Tiefengradienten, auf sauren Standorten ist dagegen ein sehr ausgeprägter Tiefengradient vorhanden. Diese Untersuchungen vertiefen das Verständnis dafür, inwiefern die Lebensgemeinschaften im Waldboden – speziell die Bodenbakterien und die Pilze – von Stoffeinträgen beeinflusst werden.

#### *Umkehrbarkeit der Bodenversauerung und ihrer Auswirkungen*

In dem sog. „Dachprojekt“, ca. 50 km nordwestlich von Göttingen, werden die Menge und Zusammensetzung des Niederschlagswassers experimentell verändert.

Der Bestandesniederschlag wird seit 1991 mit Hilfe von drei transparenten, je 300 m<sup>2</sup> großen Dächern unter dem Kronenraum eines 60jährigen Fichtenbestandes gesammelt. Die aufgefangenen Niederschläge können mit Hilfe einer Entsalzungsanlage aufbereitet oder ohne Veränderung gelagert werden. Eine Sprinkleranlage unter den Dächern ermöglicht die sofortige oder spätere Wiederverregnung.

Zunächst wurden zwei Experimente durchgeführt:

1. Ein Entsauerungsexperiment (Simulation vorindustrieller Eintragsbedingungen),
2. ein Austrocknungs-/Wiederbefeuchtungsexperiment (Simulation extremer Sommertrockenheit).

Nachdem eindeutige Reaktionen auf die Versuchsbedingungen in der Bodenchemie und im Wurzelbereich nachgewiesen werden konnten, ist nun mit der erwarteten zeitlichen Verzögerung auch eine Reaktion der oberirdischen Organe eingetreten. 1995 ergab sich für die Entsauerungsbäume erstmals ein signifikanter Rückgang der Stickstoffkonzentrationen bei gleichzeitiger Zunahme der Magnesiumgehalte in den Nadeln. Die einjährigen Nadeln der Austrocknungsbäume weisen wie im Vorjahr signifikant verminderte Kalziumkonzentrationen gegenüber den Entsauerungsbäumen sowie verringerte Mangan- und erhöhte Aluminiumkonzentrationen im Vergleich zu allen anderen Bäumen auf. Im Gegensatz zu 1994 gelten diese Befunde allerdings nicht mehr für die diesjährigen Nadeln (rascher Erholungseffekt nach Ende der experimentellen Austrocknungsbehandlung).

Die relative Zunahme der Feinwurzelveorräte auf der Entsauerungsparzelle bestätigt sich auch bei der Probenahme im Jahr 1996. Die Differenz gegenüber der Kontrollfläche mit Dach ist sogar noch größer geworden. Die Zunahme der Feinwurzelveorräte im Vergleich zum Vorjahr ist vor allem auf ihre Erhöhung im Humus und dem obersten Mineralboden zurückzuführen.

#### *Schlußfolgerung hinsichtlich der Waldzustandsentwicklung*

Die Rahmenbedingungen für eine Verbesserung des Waldzustandes erscheinen zur Zeit relativ günstig, bedingt durch die Erfolge in der Luftreinhaltung und die damit verminderte Säurebelastung sowie die großflächige Kalkung.

Die hohe Stickstoffbelastung der naturnahen terrestrischen Ökosysteme bleibt aber ein Problem mit einem beträchtlichen ökologischen Risikopotential. Hier besteht weiterhin ein Bedarf zur umfassenden Klärung der systemaren Auswirkungen dieses massiven Eingriffs in den Stoffhaushalt. Außerdem sollte die immer mehr betriebene naturnahe Waldwirtschaft wissenschaftlich begleitet werden, um fundierte Kenntnisse zu Stoffhaushalt, Struktur- und Anpassungsfähigkeit dieser Wälder zu erlangen.

### 3.7.1.2 Ausgewählte Ergebnisse des Bayreuther Instituts für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) zum Zustand und zur weiteren Entwicklung der Wälder

Die Forschungsarbeiten des BITÖK haben sich in der Vergangenheit auf Fichtenwälder und bewaldete Wassereinzugsgebiete im Fichtelgebirge konzentriert. In Zukunft werden die Arbeiten auf Eichen-Buchen-Mischbestände im Steigerwald ausgedehnt. Darüber hinaus bearbeitet BITÖK auch Datensätze aus vielen anderen Fallstudien, um zu extrapolationsfähigen, allgemeingültigen Aussagen zu kommen.

Hier wird zusammenfassend über Ergebnisse, die für den Zustand und die Entwicklung von Waldökosystemen v.a. in Nordostbayern von Bedeutung sind, berichtet.

#### *Entwicklung der Belastungssituation durch atmogene Stoffeinträge*

- Die bis Ende der 80er Jahre zurückreichenden Meßreihen zum Stoffeintrag im Fichtelgebirge zeigen bis heute eine etwa 50%ige Abnahme der Schwefel (S)-Einträge. Diese Abnahme deckt sich mit der Entwicklung in weiten Teilen Mittel- und Nordeuropas und ist durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung bedingt. Damit einhergehend nahmen die Spitzenbelastungen an Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) ab, wenngleich im Fichtelgebirge bei Ostwind immer noch hohe SO<sub>2</sub>-Konzentrationen gemessen werden können. Die Abnahme der S-Einträge und der SO<sub>2</sub>-Belastungen stellt generell eine positive Entwicklung dar.
- Die Stickstoff (N)-Einträge mit der Kronentraufe zeigen keine zeitliche Entwicklung und bewegen sich um etwa 20 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr (N/ha × a) – sowohl als Ammoniakstickstoff als auch in Form von Nitratstickstoff.
- Der N-Eintrag in die Ökosysteme wird durch die Messung der Kronentraufe unterschätzt. Vor allem in Gebieten mit hohen NH<sub>3</sub>-Belastungen muß mit massiver Aufnahme von Stickstoff im Kronenraum gerechnet werden. Die Schätzungen der Raten der oberirdischen N-Aufnahme sind sehr unterschiedlich und bewegen sich für deutsche Wälder zwischen ca. 10 und 30 kg N/ha × a. Für die Wälder im Fichtelgebirge ist daher mit Gesamt-N-Einträgen in Höhe von mehr als 30 kg N/ha × a zu rechnen.
- Der Eintrag an basischen Kationen, v.a. Ca, der aus Staubemissionen stammt, war ebenfalls konstant. Der letzte Befund deckt sich nicht mit den Entwicklungen in anderen Regionen, wo ein deutlicher Rückgang der Ca-Einträge zu verzeichnen war.

#### *Auswirkungen der Stoffeinträge auf Bodenzustand und Gewässerqualität bewaldeter Gebiete*

- Der positive Effekt der nachlassenden Sulfat- und Säureeinträge auf den Bodenzustand macht sich unmittelbar nur im Oberboden, der der Hauptwur-

zelhorizont ist, bemerkbar. Hier sind zurückgehende Al-Konzentrationen nachweisbar. In den tieferen Bodenschichten werden die oftmals im Boden aufgespeicherten Sulfatvorräte bei nachlassenden Sulfateinträgen teilweise freigesetzt (chemisches Gedächtnis der Böden). Die gespeicherten Sulfatvorräte sind v.a. in den untersuchten tiefgründig verwitterten Böden sehr hoch, so daß eine Verbesserung der Bodenlösungs-, Grundwasser- und Abflußchemie in versauerten Systemen nur mit Verzögerung um Jahrzehnte zu erwarten ist. Die Zeitreihen über ca. zehn Jahre zeigen bisher keine abnehmenden Sulfatkonzentrationen oder zunehmende Alkalinität – also keine Veränderung vom sauren zum basischen Zustand, was eine Erholungstendenz bedeuten würde – in tieferen Bodenschichten, im Grundwasser und im Abfluß als Folge der Abnahme der S-Einträge.

- Die nachlassenden S- und Säureeinträge werden auch über Veränderungen der Ionenstärke der Bodenlösung auf den Bodenchemismus einwirken. Bei Abnahme der Ionenstärke werden sich die Ca/Al-Verhältnisse der Bodenlösung v.a. in den Oberböden relativ rasch verbessern, während pH-Werte und Basensättigung der Austauschker kaum Veränderungen zeigen.
- Der Bodenhumus konnte als Hauptsenke (Verbleib) für in Waldökosysteme eingetragenen Stickstoff identifiziert werden. Aktuelle Akkumulationsraten von 5–20 kg N/ha × a im Humus sind wahrscheinlich. Darüber hinaus kommt es zu Rückkopplungen zwischen dem N-Angebot in der Streu und der Kohlenstoffakkumulation: Mit steigendem N-Angebot nimmt die Zersetzbarkeit von Humus ab (im Gegensatz zu frischer Streu, bei der N die Zersetzung fördert) mit der Folge einer Zunahme der Humusvorräte in Waldböden. Die Speicherung von eingetragenen N im Humus wurde bisher unterschätzt. Dies hat große Auswirkungen für die Ableitung „kritischer N-Belastungsraten“, die vermutlich ebenfalls zu niedrig angesetzt wurden.
- Das Kohlenstoff-Stickstoff (C/N)-Verhältnis im Auflagehumus hat großflächig in den letzten Jahrzehnten abgenommen. Bei Abnahme des C/N-Verhältnisses und weiter anhaltenden N-Einträgen ist daher grundsätzlich mit einer Zunahme der Nitratverfügbarkeit und -auswaschung unter Wald zu rechnen. Dies bedeutet eine Zunahme des Nitratgehaltes im Grundwasser und im oberflächlichen Wasserabfluß. Für die Standorte im Fichtelgebirge ergab sich über einen 10jährigen Meßzeitraum allerdings keine weitere Zunahme der Nitratauswaschung, da sie bereits hohe N-Verluste mit dem Sickerwasser und dem Abfluß aufweisen.
- Die Stoffumsätze im Grundwasserleiter sowie in den vermoorten Zonen von Quellbereichen können (in Abhängigkeit vom Flächenanteil) eine große Bedeutung für die Chemie des abfließenden Wassers und die Stoffbilanz von bewaldeten Wassereinzugsgebieten haben.

### *Funktion unterschiedlicher Fichtenwälder: Wasserhaushalt*

- Der Blattflächenindex (d. h. die einseitige Gesamtblattfläche im Verhältnis zur überschirmten Bodenfläche) von Fichtenbeständen hat im Bereich von 5 (das entspricht einer deutlichen Verlichtung) bis 8 (das entspricht vollbenadelten Fichten) keinen Einfluß auf die Transpiration der Fichten. Fichten mit moderaten Nadelverlusten transpirieren (produzieren) somit gleich viel wie „ungeschädigte“ Fichten.
- Das Alter der Bestände hat einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die Transpiration als der Blattflächenindex. Die Transpirationsleistung der Fichte nimmt mit dem Alter ab. Auf der Bestandesebene wird die Abnahme der Transpiration der Bäume aber durch eine Zunahme der Transpiration der Bodenvegetation ausgeglichen.
- Modellrechnungen zum Einfluß von erhöhtem CO<sub>2</sub> auf den Wasserhaushalt zeigen, daß, bei sonst gleichen Randbedingungen hinsichtlich Struktur und Klima, das Wasserstrebrisiko für Waldbestände abnehmen wird.

### *Änderungen der Bodenvegetation*

Im Fichtelgebirge ist eine starke Ausbreitung des wolligen Reitgrases (*Calamagrostis villosa*) festzustellen. Diese Art profitiert von der gestiegenen N-Verfügbarkeit und dem durch Kronenverlichtungen bedingten Lichtangebot. Die Ausbreitung behindert die Naturverjüngung von Bäumen und stellt in Altbeständen über die beträchtliche Transpiration dieser starken Grasschicht eine Ursache für erhöhten Wasserverbrauch dar – mit negativen Konsequenzen für die Grundwasserneubildung unter dem Bestand. Eine Bekämpfung der Ausbreitung des wolligen Reitgrases scheint sinnvoll nur durch den Anbau stark abdunkelnder Laubbäume (v. a. Buche) möglich.

### *Bewertung der Entwicklungen, Schlußfolgerungen*

In Waldökosystemen sind vielfältige Veränderungsprozesse wirksam, die optisch nicht erkennbar sind. Die Bewertung dieser Veränderungen muß von der Fragestellung abhängig gemacht werden (z. B. Gewässerqualität in ihrer Abhängigkeit vom Kronenzustand, von der Atmosphäre, vom Wachstum, vom Bodenzustand etc.) Einige Bewertungen sind oben vorgenommen.

Es bestehen noch erhebliche Schwierigkeiten, wenn es um Verallgemeinerungen geht. Diese Schwierigkeiten ergeben sich u. a. aus der Vielzahl der Baumarten, aus den räumlichen und zeitlichen Mustern der Belastungen und Veränderungen, aus den räumlich variierenden Standortbedingungen sowie aus den Wissensdefiziten im Bereich der Baumphysiologie.

### *Forschungsbedarf*

Die Waldökosystemforschung hat in Deutschland im letzten Jahrzehnt erhebliche Fortschritte gemacht, insbesondere in der Erforschung der Auswirkungen menschlicher Eingriffe (Immissionen, Düngung/Kal-

kung, Waldbau) auf das Ökosystem Wald und angrenzende Systeme (Atmosphäre, Hydrosphäre). Die Nutzungsansprüche an die Wälder werden sich in der Zukunft weiter verändern. Die Grundlagen für eine zukunftsorientierte Nutzung der Wälder unter dem Anspruch der nachhaltigen Entwicklung zu erarbeiten und zu verbessern ist das aktuelle Forschungsziel des BITÖK. In den kommenden Jahren werden dabei die folgenden Schwerpunkte behandelt:

- Regulation von Stoffflüssen und Prozessen auf der Ökosystemebene,
- Wechselwirkungen zwischen Populationsdynamiken (zeitlichen Veränderungen des Artenbestandes) und Stoffflüssen,
- Skalierung von biogeochemischen Prozessen in Raum und Zeit,
- Grenzen des Verständnisses von Ökosystemen und Vorhersagbarkeit ihrer Entwicklung.

### **3.7.2 Integrale Auswertung von Bodenzustand, Kronenzustand und anderen Parametern**

#### **3.7.2.1 Stratifizierung nach Alter und Boden**

Die Daten aus Bodenzustandserhebung und Kronenzustandsansprache an Bodenzustandserhebungspunkten erlauben eine stratifizierte Auswertung nach Altersklassen und geogenen Kriterien (Substratgruppe, Bodentyp, Humusform).

An jedem Bodenzustandserhebungs-Aufnahmepunkt erfolgte – sofern nicht bereits im Rahmen der Waldschadenserhebung durchgeführt – eine Kronenzustandsansprache an bis zu 30 Probestämmen nach dem bei der Waldschadenserhebung üblichen Verfahren. Zur bundesweiten Auswertung stehen je Stichprobeneinheit die prozentualen Anteile der Waldschadenserhebungs-Probestämme mit Nadel-/Blattverlusten über 25 % und Vergilbungen über 25 % der jeweiligen Aufnahmeperiode (3jährige Mittelwerte) getrennt nach Nadel- und Laubbäumen sowie nach den Altersklassen <60 bzw. ≥60 Jahre zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Beprobungszeiträume in den alten und neuen Ländern wurden auch für die Kronenzustandsdaten zwei verschiedene Bezugsjahre (1989 für die alten bzw. 1992 für die neuen Länder), gewählt. Dadurch, daß sich die jeweiligen Erhebungszeitpunkte für die Kronenzustandsdaten und Bodendaten weitgehend entsprechen, ist eine standortsbezogene Auswertung der Schadsymptome möglich.

Durch die Bildung eines groben Schadniveaus (= mittlerer Anteil deutlich geschädigter Bäume) tritt allerdings ein Nivellierungseffekt ein, der nur noch die Differenzierung deutlicher Schadniveaugruppen ermöglicht.

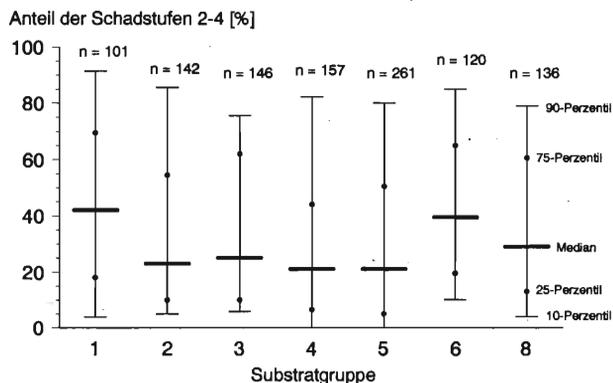
Es zeichnet sich der von der Waldschadenserhebung bereits bekannte Trend zu **höheren Nadel- bzw. Blattverlustprozenten in Altbeständen** ab. Dieser ist besonders deutlich in Nadelbaumbeständen und Hauptschadensregionen ausgeprägt.

Die **Stratifizierung** der Nadel-/Blattverlustdaten nach **geogenen Kriterien** (Substratgruppe, Bodentyp, Humusform) ist in Abbildung 24 für alle Baumarten dargestellt. Zunächst fällt auf, daß innerhalb aller Straten von einer breiten Variabilität ausgegangen werden muß, sie umfaßt nahezu den gesamten Wertebereich (0–100 %). Die Gliederung der Nadel-/Blattverluste nach geogenen Gruppen weist **zwei potentielle Risikogruppen** aus. Dies sind einerseits die Standorte auf carbonathaltigem Ausgangsmaterial, auf denen sich Rendzinen mit der Humusform Mull entwickelt haben. Hier treten erhöhte Schäden v. a. bei Nadelbäumen auf. Andererseits finden sich starke Schäden bei Nadel- und besonders bei Laubbaumbeständen auf Podsol-Standorten auf pleistozänem Sand mit Rohhumus.

Der visuelle Vergleich der Verteilung der Schadniveau-Weiser mit denjenigen bodenchemischer Parameter oder Nadel-/Blattgehalte scheint teilweise korrespondierende räumliche Muster anzuzeigen. **Eine kausale Interpretation dieser Zusammenhänge unter Beachtung lokal bedeutender Einflußgrößen muß einer tiefergehenden, quantitativen Auswertung vorbehalten bleiben**, bei der außer nach Baumarten und Altersklassen insbesondere nach geogenen Gruppen zu differenzieren ist.

Abbildung 24:

**Anteile der Schadstufen 2–4 [%] von Nadel- und Laubbaumarten (ohne Altersdifferenzierung), stratifiziert nach Substratgruppen**



Substratgruppe	Beschreibung
1	Karbonathaltige Lockersedimente über karbonathaltigen Ausgangsgesteinen bzw. karbonathaltiges Ausgangsgestein
2	Karbonatfreie Lockersedimente über karbonathaltigem Ausgangsmaterial

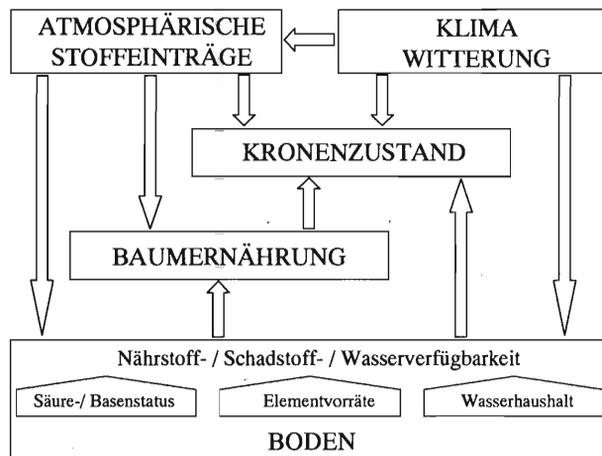
- 3 Umgelagerte kalkfreie Lockersedimente
- 4 Verwitterungs- bzw. Decklehme über Ton- und Schluffstein; Ton, Tonsteine, Grauwacken
- 5 Verwitterungs- und Decklehme über quarzreichen Ausgangsgesteinen sowie quarzreiche Ausgangsgesteine (z.B. Buntsandstein, paläozoische Sandsteine, Quarzite, sonstige Sandsteine)
- 6 Arme (pleistozäne) Sande
- 7 Basische Magmatite oder Metamorphite sowie Lehme oder Mischsubstrate über basischen Magmatiten oder Metamorphiten
- 8 Intermediäre und saure Magmatite oder Metamorphite sowie Lehme oder Mischsubstrate über intermediären oder sauren Magmatiten oder Metamorphiten (z.B. Keratophyne, Andesite, Bims, Granite, Gneis)
- 9 Moor

**3.7.2.2 Beziehung zwischen Bodenkennwerten, Magnesiumernährung und Kronenzustand**

Eine integrale Auswertung der Daten aus Bodenzustandserhebung und Waldschadenserhebung ermöglicht neben einer differenzierten Darstellung der Schadenssituation weiterhin die Überprüfung von Thesen über die Ursachen „Neuartiger Waldschäden“. Hierzu sollen zukünftig Zusammenhänge zwischen den Kennwerten des Waldzustandes (Boden-, Ernährungs-, Kronenzustandsdaten) statistisch analysiert sowie deren Abhängigkeit von natürlichen (Klima) und durch den Menschen bedingten Umweltfaktoren (Immission) quantifiziert werden (vgl. Abbildung 25).

Abbildung 25:

**Schematische Darstellung von Wirkungszusammenhängen in Wäldern**

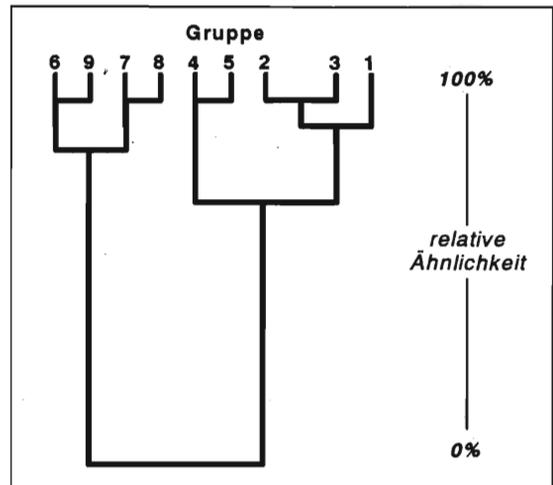


Ein Teilaspekt des in Abbildung 25 dargestellten Beziehungsgefüges war bereits Gegenstand erster, im folgenden dargestellter integraler Auswertungsschritte. Mit Hilfe der Daten von ca. 550 Bodenzustandserhebungs-Punkten mit Fichtenbestockung wurde untersucht, welcher Zusammenhang zwischen Magnesiumversorgung und Kronenzustand besteht. Wie Abbildung 25 verdeutlicht, kann sich eine Vielzahl von Faktoren direkt oder indirekt auf den Kronenzustand auswirken. Durch die Beschränkung auf eine einzige Einflußgröße (Magnesiumversorgung) sind die gefundenen Beziehungen zum Kronenzustand daher mit großen Streuungen behaftet. Die Ergebnisse lassen sich dennoch plausibel interpretieren und legen den Schluß nahe, daß die Bodenversauerung, bedingt durch atmosphärische Säureinträge, zu einer instabilen Magnesiumversorgung führt, welche sich in sichtbaren Schadsymptomen, wie Kronenvergilbung und -verlichtung, äußert.

Die Magnesiumversorgung läßt sich durch den Magnesiumvorrat im Hauptwurzelraum, durch das Verhältnis von Magnesiumvorrat in der Humusaufgabe und Magnesiumvorrat im Hauptwurzelraum insgesamt und durch den Magnesiumgehalt in den Nadeln beschreiben. Dabei weisen hohe Werte für das Verhältnis von Magnesiumvorrat in der Humusaufgabe und Magnesiumvorrat im Hauptwurzelraum insgesamt darauf hin, daß sich ein großer Anteil des kurz- bis mittelfristig verfügbaren Magnesiums im Auflagehumus befindet – ein Indiz dafür, daß die Streuzersetzung dieser Böden beeinträchtigt ist. Wenn mehr als 50 % des gesamten Magnesiums in der Humusaufgabe gespeichert sind, so reduzieren sich die Magnesium-Gehalte in den Nadeln merklich. Dies trifft auf etwa der Hälfte der Bodenzustandserhebungs-Punkte zu. Die Ergebnisse zeigen auch, daß bei Magnesiumvorräten von  $< 100$  kg/ha die Nadelgehalte an Magnesium unter den Grenzwert für eine stabile Versorgung absinken. Dies trifft für 23 % der Bodenzustandserhebungs-Punkte zu.

Abbildung 26:

### Darstellung der relativen Gruppenähnlichkeit



Aufgrund der o. g. Kennwerte für die Magnesiumversorgung wurden die Bodenzustandserhebungspunkte nach statistischer Analyse zu insgesamt neun Gruppen und diese wiederum zu zwei Hauptgruppen von möglichst großer Ähnlichkeit zusammengefaßt (Abbildung 26). Eine stabile Magnesiumversorgung kann für fast alle beprobten Fichtenbestände in den bayerischen Alpen, dem Alpenvorland und der Fränkischen Alb konstatiert werden. Standorte mit ungünstiger Magnesiumversorgung überwiegen in den Mittelgebirgsregionen Schwarzwald, Rheinisches Schiefergebirge, Thüringer Wald, Erzgebirge und Harz.

Ein Vergleich der Magnesiumversorgung mit den Kronenzustandsdaten bestätigt die Einteilung in die zwei Hauptgruppen (Tabelle 3). Abnehmende Magnesiumversorgung geht mit einer zunehmenden Nadelvergilbung einher. Auch die Nadel-/Blattverluste nehmen, wenn auch mit großer Streuung, zu.

Tabelle 3:

**Kenngrößen der Mg-Versorgungsgruppen**

	<i>Mg-Versorgungstyp (Gruppenkenn.-Nr. nach Abbildung 26)</i>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mg-Gehalt 1. Ndjg. [mg/g]	1.07	1.28	1.16	1.03	1.07	0.88	0.92	0.91	0.90
Mg-Gehalt 3. Ndjg. [mg/g]	0.70	0.93	0.84	0.70	0.64	0.51	0.63	0.63	0.69
Mg-Vorrat im Hauptwurzelraum [kg/ha]	198	1326	492	108	96	387	138	157	240
Verhältnis des Mg-Vorrates in der Humusaufgabe und im Haupt- wurzelraum [ %]	24	4	11	52	37	96	66	77	88
%-Anteil der Bestände mit deutlichen Nadel- vergilbungen	10.3	11.8	4.3	17.6	13.4	44.4	25.3	20.9	27.3
mittlerer Anteil der Schadstufen 2–4 [%]	13.5	17.0	13.0	25.0	18.0	(8)	21	23.5	21
Stichprobenum- fang	58	51	70	79	68	9	79	86	55

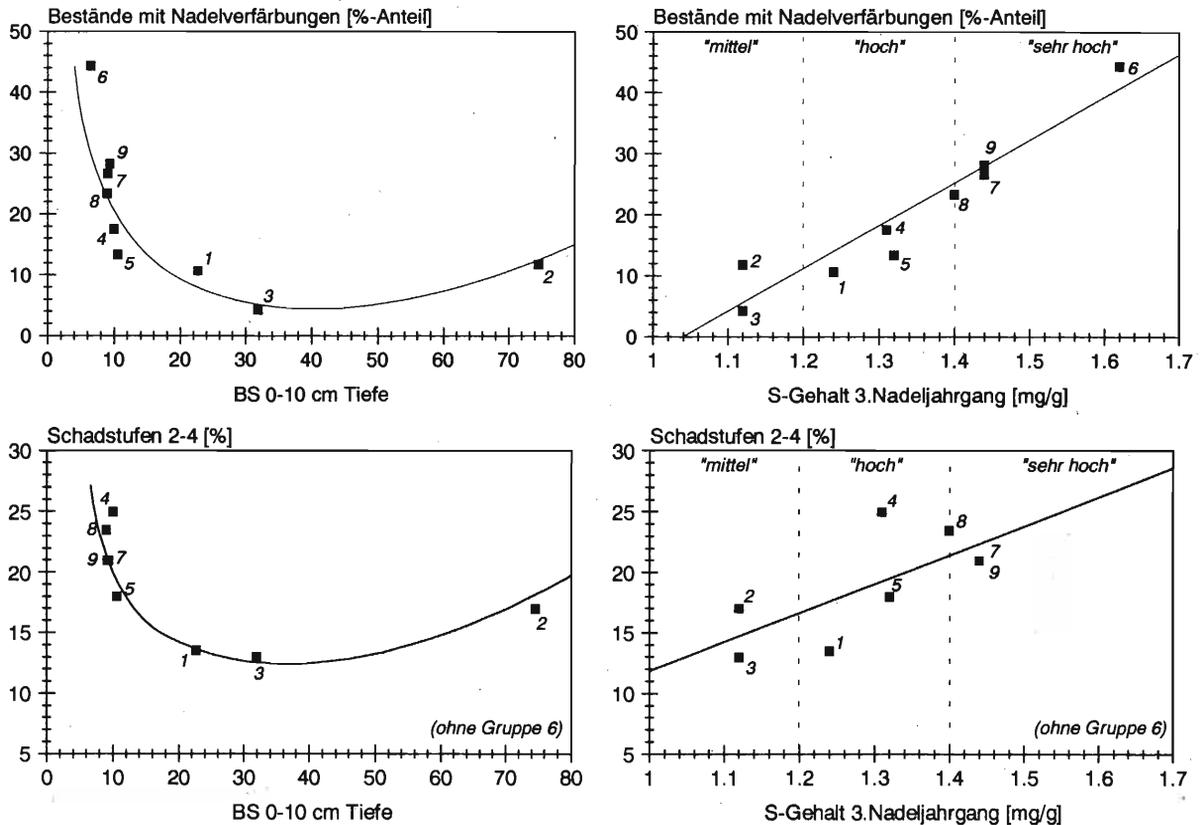
Für die tieferegehende kausalanalytische Interpretation der ermittelten Mg-Versorgungstypen ist die Analyse weiterer gruppendifferenzierender Faktoren notwendig. Hierzu wurden zahlreiche Merkmale als Gruppenmittelwerte den Kronenzustandsdaten gegenübergestellt. Beispielhaft zeigt Abbildung 27 die Beziehung der Basensättigung im Oberboden sowie der Schwefelgehalte im dritten Nadeljahrgang zum Kronenzustand von Fichten. Die Basensättigung cha-

rakterisiert das Ausmaß der Bodenversauerung. Der S-Gehalt der Nadeln kann als Indikator für anthropogene Säureeinträge fungieren. Die in Abbildung 27 gezeigten Ausgleichskurven veranschaulichen deutlich den Trend stärkerer Schäden auf basenarmen, anthropogen versauerten Standorten. Tendenziell deuten sich ferner erhöhte Nadelverluste für Standorte mit Basensättigungen nahe 100 % an (carbonathaltige Böden).

Abbildung 27:

### Beziehung zwischen Basensättigung (BS) im Oberboden sowie S-Nadelspiegelwerten und Kronenzustand von Fichten

Zahlen entsprechen Gruppenkennnummern  
BS in %; S-Gehalt in mg/g Trockensubstanz



Die Verteilung standortkundlicher Merkmale (Substrat, Bodentyp, Humusform, etc.) innerhalb der ermittelten Gruppen läßt ebenfalls klare Unterschiede zwischen den Mg-Versorgungstypen erkennen: So zeichnen sich die ungünstigen Gruppen 6 bis 9 durch geringere Anteile carbonathaltiger Ausgangsgesteine sowie höhere Anteile an sauren Magmatiten und Metamorphiten aus. Bei deutlich höheren Anteilen an stark podsoligen und podsolierten Böden finden sich außerdem häufiger Rohhumus- und nur wenige Mullstandorte in diesen Gruppen.

Die Daten sollen in einem nächsten Schritt genutzt werden, ökologische Schwellenwerte als Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen zur Stabilisierung der Wälder abzuleiten.

#### 3.7.3 Ergebnisse der Ursachenforschung<sup>8)</sup>

Ausgehend von den beobachteten Kronenverlichtungen in den frühen 80er Jahren haben Bund und Länder im Rahmen des Aktionsprogramms „Rettet den Wald“ mit der Förderung einer umfangreichen Waldschadensforschung zur Untersuchung der Ursachen-

<sup>8)</sup> Weitere Informationen zu diesem Themenbereich enthält

- die Broschüre des Bundesministeriums für Forschung und Technologie: „10 Jahre Waldschadensforschung – Bilanz und Ausblick“, 1992 und
- der Forschungsbericht des Umweltbundesamtes: „Auswertung der Waldschadensforschungsergebnisse (1982 bis 1992) zur Aufklärung komplexer Ursache-Wirkungsbeziehungen mit Hilfe systemanalytischer Methoden“, UBA-Bericht 6/97, Erich Schmidt-Verlag, Berlin.

und Wirkungsmechanismen der „Neuartigen Waldschäden“ begonnen. An der Forschungsarbeit zu diesem Problem waren neben der Forstwissenschaft viele Disziplinen der Wissenschaftsbereiche Biologie, Meteorologie, Geowissenschaften beteiligt. Der deutschen Forschung ist es in diesem relativ kurzen Zeitraum gelungen, wesentliche Fragen der Ursache-Wirkungsbeziehungen aufzuklären. Sie hat damit Grundlagen für umweltpolitische Entscheidungen erarbeitet.

Bei der Untersuchung der „Neuartigen Waldschäden“ stellte es sich als außerordentlich schwierig heraus, tatsächlich durch menschliche Einflüsse – d. h. Luftschadstoffe und/oder Bewirtschaftungsfehler – verursachte Kronenverlichtung eindeutig von natürlichen Schwankungen des Baumzustandes zu unterscheiden.

Hier sollte festgehalten werden, daß nicht die als Indikation definierten Symptome (Blatt-/Nadelvergilbung, Kronenverlichtung) als neuartig bezeichnet wurden, vielmehr war deren gleichzeitige weiträumige Verbreitung und ihr Auftreten an verschiedenen Baumarten für die Definition entscheidend.

Als Kronenverlichtung wird die jeweilige Belaubungsdichte eines Baumes im Bereich der nicht konkurrenzbeeinflussten Krone im Vergleich zu einem wuchsplatzbezogenen Referenzbaum bezeichnet. Unter Verlichtung versteht man dabei sowohl den tatsächlichen materiellen Verlust von Nadeln bzw. Laub infolge vorzeitigem Abwurf als auch die Nichtausbildung von Nadeln oder Laub. Die Verlichtung wird ohne Rücksicht auf ihre Ursache eingeschätzt.

Der Waldzustand wird durch eine Vielzahl von biotischen und abiotischen Faktoren bestimmt, die in der Summe und – an den jeweiligen Standorten – mit unterschiedlichem Gewicht zusammenwirken. Anthropogene Luftverunreinigungen aus Industrieanlagen, Kraftwerken, Verkehr, Haushalten, Kleinverbrauch und Landwirtschaft spielen dabei eine wesentliche Rolle. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), während dem Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) aufgrund von Maßnahmen zur Luftreinhaltung eine zunehmend geringere Bedeutung zukommt. Diese Spurengase und ihre Umsetzungsprodukte (z. B. Ozon) wirken auf zweifache Weise auf die Bäume: einerseits direkt auf die oberirdischen Pflanzenorgane (Ozon,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ), andererseits indirekt über den Eintrag von Säuren, Sulfat, Nitrat und Ammonium in den Boden.

Belastungsfaktoren können im Zusammenwirken mit den räumlich wechselnden Standorts-, Bestandes-, und Bewirtschaftungsfaktoren zu unterschiedlichen Symptomen und Schadensverläufen an Bäumen führen. Diese Vorgänge sind jedoch nicht zwangsläufig mit einer Verringerung des Wachstums verknüpft. Andererseits können Wachstumseinschränkungen auftreten, auch ohne daß sichtbare Schäden feststellbar sind.

Hypothesen, daß gegenwärtige Waldschäden ausschließlich und primär durch Schädlinge oder pathogene Mikroorganismen (z. B. Pilze, Viren, Bakterien)

in Wechselwirkung mit Witterungsstreß (Trockenheit oder Frost) verursacht würden, sind nicht erwiesen, wenngleich v. a. bei Eiche solche biotischen Faktoren eine maßgebliche Rolle spielen. Jedoch bleibt zu klären, inwieweit abiotische und anthropogene Einflüsse die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen oder Pathogene erhöhen. Auch elektromagnetische Wellen konnten als Ursache von Waldschäden wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Einseitiger Waldaufbau, z. B. bei Reinbeständen, ist nicht a priori ursächlich für Waldschäden verantwortlich zu machen, dennoch dürfen die Risiken solcher Bestände gegenüber abiotischem und biotischem Streß nicht außer Acht gelassen werden. Generell können Streßsituationen überall dort entstehen, wo die Ansprüche der Bäume und die Eigenschaften des Standorts nicht zusammenpassen. Dies kann sowohl bei Rein- als auch bei Mischbeständen der Fall sein.

Große Unsicherheit besteht über die Wirkungen der chronisch erhöhten, permanent über den vorindustriellen „Hintergrund-Werten“ liegenden Schadstoffbelastung, denen die Pflanzen andauernd und langfristig ausgesetzt sind. Diese „gleichmäßige“ Grundbelastung wird unterschieden von episodischen Spitzenbelastungen mit der Gefahr kurzfristiger, akuter Schädigungen. Die chronischen Wirkungen sind schwierig zu erkennen und nachzuweisen, können aber langfristig die Stoffflüsse, Konkurrenzbeziehungen und das Artengefüge in Waldökosystemen verändern, was potentielle Destabilisierung nach sich zieht. Solche Mechanismen sind auch für die Bewirtschaftung forstlicher Bestände relevant und verdienen in der künftigen Forschung stärkere Beachtung.

### 3.7.3.1 Oberirdischer Wirkungspfad: Einwirkung von Schadgasen auf die Blattorgane

Unter dem oberirdischen Wirkungspfad wird die direkte Einwirkung von Schadgasen auf oberirdische Pflanzenteile verstanden. Diese Gase dringen bevorzugt über die Spaltöffnungen (Stomata) der Blattorgane in die Pflanzen ein (trockene Deposition). Die Stärke der direkten Schäden hängt von Höhe und Einwirkungsdauer der Gaskonzentration sowie vom Ernährungszustand und von der Vitalität der Bäume ab.

– **Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )** verursacht Beeinträchtigungen der Photosynthese und anderer physiologischer Prozesse, die zu Nadel-/Blattschäden führen können. Die Stärke der Schäden hängt von Höhe und Einwirkungsdauer der Konzentrationen sowie vom Ernährungszustand und Vitalität des Baumes ab. Die von extrem hohen  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus sächsischen Industrieanlagen bereits im 19. Jahrhundert verursachten Schäden gingen als sog. „Rauchgasschäden“ oder Rauchschäden in die Literatur ein. In den alten Ländern werden direkte Schädwirkungen von  $\text{SO}_2$  (im Sinne der Rauchschäden) heute allenfalls noch in Ausnahmefällen beobachtet. In den neuen Ländern sind sie jedoch – v. a. im Erzgebirge – noch vorhanden. Immissionen mit Ursprung im dem Böhmisches Becken in

Kombination mit Frost sind für das Absterben von Fichtenbeständen verantwortlich.

Aber auch in geringen Konzentrationen bleibt  $\text{SO}_2$  nicht ohne Wirkung: So kann über das Blatt aufgenommenes  $\text{SO}_2$  insbesondere die Ernährung von Bäumen nachteilig beeinflussen. Dabei fördert es Nährstoffungleichgewichte und beeinflusst die für eine ausgewogene Ernährung erforderliche „Kommunikation“ zwischen Sproß und Wurzel.

#### – Stickstoffoxide

Stickoxide ( $\text{NO}_x = \text{NO}$  und  $\text{NO}_2$ ) sind wichtige Vorläufersubstanzen für bodennahes, pflanzenschädigendes Ozon.<sup>9)</sup> Andererseits wirken sie auf Pflanzen bzw. Bäume auch direkt ein:

$\text{NO}$  wird von Pflanzen nur in geringem Maße aufgenommen, während sie  $\text{NO}_2$  über die Blattorgane in erheblichem Umfang aufnehmen und den darin enthaltenen Stickstoff als Nährstoff nutzen.

Akute Beeinträchtigungen der Photosynthese und anderer physiologischer Prozesse durch  $\text{NO}_2$  treten jedoch erst bei sehr hohen Konzentrationen auf, wie sie in Waldgebieten kaum vorkommen.  $\text{NO}_2$  wirkt somit in der Regel als „Blattdünger“. Das dadurch angeregte Pflanzenwachstum hat einen erhöhten Bedarf an anderen Nährstoffen zur Folge.

Auf manchen Waldstandorten stehen diese für ein verstärktes Pflanzenwachstum notwendigen Nährstoffe (z. B. Magnesium) jedoch nicht ausreichend zur Verfügung. Aber auch an Standorten mit guter Nährstoffversorgung greift  $\text{NO}_2$  in Regulationsprozesse der Stickstoffernährung ein, die die Aufnahme von Nitrat und Ammonium sowie anderer Ionen steuern. In diesen Fällen kann die Aufnahme von  $\text{NO}_x$  zu Nährstoffungleichgewichten und damit zu induziertem Nährstoffmangel führen – mit der möglichen Folge einer höheren Anfälligkeit der Bäume gegenüber anderen Stressfaktoren (z. B. Trockenheit, Fröste, Wind) und Schadeinwirkungen (z. B. durch Immissionen, Pilze, Insekten).

- **Ammoniak ( $\text{NH}_3$ )** wirkt – wie  $\text{NO}_2$  – bei geringen Konzentrationen wachstumsfördernd auf Pflanzen. Dabei trägt es ebenfalls zur Entstehung von Nährstoffmangel bei, greift in Regulationsprozesse der Stickstoffernährung ein und erhöht die Anfälligkeit der Bäume gegen andere Stressfaktoren. Höhere Konzentrationen, die die Photosynthese und andere physiologische Prozesse hemmen, kommen in Waldgebieten auch in unmittelbarer Nähe der Landwirtschaft kaum vor.  $\text{NH}_3$  ist äußerst reaktionsfreudig, so daß sich ca. 30 % des emittierten  $\text{NH}_3$ , je nach atmosphärischen Bedingungen ein noch wesentlich größerer Prozentsatz, in der Luft innerhalb einer Stunde zu Ammoniumverbindungen ( $\text{NH}_4$ ) umwandeln, die dem Ferntransport un-

terliegen. Akute Ammoniak-Schäden treten nur im Nahbereich von Emittenten auf.

- **Flüchtige organische Verbindungen (VOC)** – z. B. Isopren, Monoterpene, Aldehyde – sind Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon. Sie entstehen z. T. biogen, d. h. sie sind nicht direkt vom Menschen verursacht. Ihre Emissionen, z. B. von Bäumen, wird aber durch anthropogene Aktivitäten erhöht. Die emittierten VOC sind z. T. sehr reaktiv und führen im Nahbereich der Emission – so auch in der direkten Umgebung der Blätter – zur Bildung von Ozon und anderen Photooxidantien. Eventuelle Schadwirkungen durch VOC auf Bäume sind bislang nicht ausreichend untersucht.

- **Bodennahes Ozon ( $\text{O}_3$ )** entsteht unter Einfluß von ultravioletter Sonnenstrahlung sowie unter Mitwirkung von  $\text{NO}_x$  und VOC. Auch Ozon beeinträchtigt in hohen Konzentrationen die Photosynthese und führt darüber hinaus zu weiteren Wirkungen an Pflanzen: So konnte ein „Ozongedächtnis“ nachgewiesen werden, d. h. Nadeln, die einer erhöhten Ozonkonzentration ausgesetzt waren, zeigen im Folgejahr eine erhöhte Ozon-Empfindlichkeit. Außerdem gibt es Hinweise, daß Ozoneinwirkung während der Vegetationsperiode im Folgejahr zu einer höheren Empfindlichkeit gegen Frostschäden führt. Direkte Ozonwirkungen auf die Hauptbaumarten konnten allerdings im Freiland mangels ausreichender Untersuchungen bislang nicht nachgewiesen werden.

Allerdings sind die meisten Befunde zu Ozon-Wirkungen und deren Interaktionen mit weiteren Faktoren in Bäumen nur für junge, isoliert in Expositionskammern (Begasungskammern) wachsende Topfpflanzen eindeutig belegt, jedoch für ältere, schwieriger zu untersuchende Bestandsbäume unter „realen“ Standortbedingungen bislang kaum experimentell überprüft. Dieses Defizit trägt zur Schwierigkeit der Festlegung realistischer „Critical Levels“ (Belastungs-Grenzwerte) für Ozon für Bestandsbäume und Waldbestände bei.

Untersuchungen über die Wirkung zunehmender Ozonkonzentrationen auf sommergrüne Pflanzen belegen, daß in Abhängigkeit von der jeweiligen Nährstoffversorgung die Produktionsleistung gerichtet abnimmt. Dies geht einher mit der Ausbildung kleinerer Blätter, einer Reduktion der Mengen an Seitenästen und zunehmender Kronenverlichtung. Änderungen in der Blatt- und Kronenmorphologie sind Ausdruck einer veränderten pflanzeninternen Stoffverteilung und beeinflussen das Konkurrenzverhalten der Bäume.

#### 3.7.3.2 Unterirdischer Wirkungspfad: Eintrag von Schadstoffen in den Waldboden

Unter dem unterirdischen Wirkungspfad werden die durch den Eintrag von Schadstoffen in den Waldboden verursachten Beeinflussungen von Waldökosystemen verstanden.

Die Bäume käumen aufgrund der großen Oberfläche ihrer Kronen Luftschadstoffe auch in gelöster Form aus der Atmosphäre aus. Die Stoffeinträge in Wälder

<sup>9)</sup> Hiermit ist die Einwirkung des Ozons in den bodennahen Luftschichten auf die Pflanzen gemeint, nicht aber die schwindende Schutzwirkung des Ozons in der Stratosphäre gegen die pflanzenschädigende UV-Strahlung („Ozonloch“).

sind daher unter Laubbaum- und Kiefernbeständen 1,5- bis 2mal, unter Fichtenbeständen bis zu 3 bis 4mal so hoch wie die im Freiland gemessenen Werte.

Die Waldschadensforschung hat gezeigt, daß dem Eintrag in Böden für das Geschehen in Waldökosystemen eine besondere Bedeutung zukommt. Beim unterirdischen Wirkungspfad können sich Schadstoffe im Laufe der Jahre im Boden anreichern und zu Veränderungen der Stoffgehalte, der Puffer- und Sorptionsfähigkeit des Bodens sowie Veränderungen des Bodenlebens führen. Selbst wenn keine Schadstoffe mehr eingetragen würden, bliebe die Wirkung der bereits eingetragenen und akkumulierten noch längere Zeit erhalten oder wäre zum Teil irreversibel.

Für die Waldböden sind v. a. versauernde und düngende Wirkungen von Stoffeinträgen von Bedeutung:

#### – Säureinträge:

Insbesondere die Einträge von Sulfatschwefel, von Nitrat- und Ammoniumstickstoff können zu erheblicher Säurebelastung der Waldböden führen. In sauren Böden ist Aluminium, in Böden mit hoher Basensättigung sind Kalzium und Magnesium die wichtigsten Begleiter von Nitrat und Sulfat im Sickerwasser. Die so ausgelöste Versauerung geht also einher mit einer Verarmung der Böden an Kalzium, Magnesium und Kalium; auf mit diesen Nährstoffen unzureichend ausgestatteten Böden kann es dadurch zu Ungleichgewichten in der Nährstoffversorgung und zu akutem Nährstoffmangel der Bäume kommen (z.B. Magnesiummangel und Kalziummangel der Fichte auf sauren Böden in den Hochlagen der Mittelgebirge, die sich in der sog. montanen Vergilbung äußert). Auf stark versauerten Böden wird dagegen bei Auftreten hoher mobiler Nitrat- und Sulfatkonzentration in der Bodenlösung viel Aluminium zusammen mit Schwermetallen freigesetzt. Auf Aluminium-Toxizität zurückzuführende Wurzelschäden in humusarmen Unterböden und die daraus resultierende, von einzelnen Wissenschaftlern befürchtete Verflachung der Wurzelsysteme (welche die Anfälligkeit gegen Trockenheit, Sturm und Nährstoffungleichgewichte erhöhen würde) sind allerdings für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Tanne, Buche und Eiche im Freiland noch nicht wissenschaftlich einwandfrei nachgewiesen worden. Dagegen gilt eine spezifische Hemmung der Aufnahme von Magnesium und Kalzium von Fichten durch antagonistische Wirkungen des reichlich vorhandenen Aluminiums in stark sauren Böden als bestätigt.

#### – Stickstoffeinträge:

Bis weit über die Mitte dieses Jahrhunderts hinaus begrenzte Stickstoffmangel auf vielen Waldstandorten das Pflanzenwachstum. Heute leiden nur noch die wenigsten Bestände unter Stickstoffmangel. Auf mit Stickstoff unzureichend ausgestatteten Standorten haben die Einträge von Nitrat und Ammonium zunächst eine düngende, das Pflanzenwachstum anregende und die Vitalität steigernde Wirkung. Da in diesen Fällen der deponierte Stickstoff weitgehend in der Biomasse und im Humus festgelegt wird, kommt es auch nicht zu

einer Bodenversauerung. Die aus zahlreichen mitteleuropäischen Fallstudien abgeleitete Steigerung des Zuwachses wird von vielen Wissenschaftlern zumindest teilweise auf solche Düngungseffekte des eingetragenen Stickstoffes zurückgeführt.

Anhaltend hohe Stickstoffeinträge auf mit diesem Element reichlich ausgestatteten oder sogar gesättigten und gleichzeitig durchlässigen Böden beschleunigen jedoch die Auswaschung von Magnesium, Kalium und Kalzium und führen auf diese Weise zu Nährstoffungleichgewichten mit der Folge einer erhöhten Anfälligkeit der Bäume gegen andere Schadfaktoren. So kann überhöhtes Stickstoffangebot z.B. die Frostempfindlichkeit der Bäume steigern, aber auch die Risiken bei Wasser- und Nährstoffmangel erhöhen, da die Entwicklung der Wurzel gegenüber dem Sproß weniger gefördert wird. Außerdem kann überhöhtes Stickstoffangebot die Anfälligkeit gegenüber Pathogenen (Erkrankungen) und blattfressenden Insekten erhöhen und so möglicherweise deren Massenvermehrung begünstigen. Zur Zeit ist allerdings noch offen, ob und wie weit solche Effekte an den derzeit beobachteten Kronenverlichtungen beteiligt sind.

Auf gut mit Nährstoffen versorgten Standorten können zumindest Fichte und Buche – in bestimmten Grenzen – einer Stickstoffüberernährung dadurch entgegenwirken, daß sie die Aufnahme von Nitrat und z.T. auch von Ammonium über die Wurzeln reduzieren. Diese Verbindungen stehen damit in verstärktem Maße der mikrobiellen Umsetzung im Boden zur Verfügung.

Viele Beobachtungen zeigen, daß sich die Bodenvegetation der Wälder als Folge hoher Stickstoffeinträge verändert: Flechten und Zwergsträucher wie Heidelbeere und Heidekraut werden durch Stickstoffliebende Gräser und Kräuter verdrängt. An die Stelle von durch Flechten, Moosen und Zwergsträuchern bestimmte Bodendecken in Kiefernbeständen treten vitale Grasbestände und/oder dichte Strauchschichten mit hohem Wasserverbrauch durch Interzeption und Transpiration. Auf Kiefernstandorten in besonders niederschlagsarmen Gebieten wie z.B. in Nordostdeutschland können dadurch der Wassermangel der Bäume noch verstärkt und die Vitalität der Kiefern beeinträchtigt werden. Außerdem ändern sich die Nahrungsnetze von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen mit noch nicht absehbaren Folgen.

Eine durch anhaltend hohe Stickstoffeinträge verursachte oder beschleunigte Nitratauswaschung zusammen mit Aluminium als Begleit-Kation kann zur Belastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer führen, sodaß bei der Trinkwassergewinnung zusätzliche Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich werden, damit das gewonnene Wasser den Qualitätsanforderungen der Trinkwasser-Verordnung entspricht. Diese Gefahr ist besonders groß dort, wo das Sickerwasser rasch ohne längere Verweilzeit im Boden ins Grundwasser und in die Vorfluter gelangt.

Überhöhte Stickstoffkonzentrationen in Waldböden können vor allem in sauren, dichten und staunassen Substraten zu einer Abgabe der gasförmigen Stickstoffverbindungen  $N_2O$  (Lachgas) und  $NO$  führen. Dabei kann  $NO$  bei Anwesenheit von Ozon noch im Waldbereich zu  $NO_2$  umgewandelt und von der Vegetation aufgenommen werden – mit den obengenannten Konsequenzen.

Der derzeit erhöhte, aber regional stark variierende Eintrag von Stickstoffverbindungen in Wälder kann demnach ganz verschiedenartige chemische, atmosphärische und biologische Wirkungen auslösen. In den weitaus meisten betroffenen Waldökosystemen sind diese Effekte je nach der Höhe und Zusammensetzung der Einträge jedoch negativ zu bewerten.

### 3.8 Zusammenfassende Bewertung

Der Wald ist aufgrund seiner vielfältigen Funktionen ein unverzichtbarer Teil unserer Lebensgrundlagen. Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung, der Bodenzustandserhebung, der Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen und der Waldschadens- und Waldökosystemforschung zeigen, daß die Gefährdung des Waldes in Deutschland noch nicht überwunden ist.

Betrachtet man die Ergebnisse der Waldschadenserhebung, so sind insgesamt die deutlichen Schäden in Deutschland seit 1992 im Durchschnitt rückläufig (s. Abschnitt 3.2.1). Ein großflächiges Zusammenbrechen unserer Wälder ist in naher Zukunft nicht zu erwarten. Derartige Befürchtungen von Anfang der 80er Jahre sind nicht eingetroffen. Andererseits sind die „neuartigen Waldschäden“ aber immer noch auf hohem Niveau, obwohl die Witterung in den letzten Jahren eher günstig war und Belastungen mit Insekten gering waren.

Eine differenzierte Betrachtung nach Baumarten und Regionen (s. Abschnitt 3.2.2) zeigt außerdem, welche Dynamik sich hinter den Durchschnittswerten verbirgt und welche hohen Schäden bei einzelnen Baumarten und in einzelnen Wuchsgebieten nach wie vor auftreten können.

In Ergänzung der jährlichen Waldschadenserhebung wurde eine Bodenzustandserhebung in demselben Stichprobenraster durchgeführt, um die Rolle des Bodens im Zusammenhang mit den Immissionsbelastungen der Wälder differenziert beurteilen zu können. Dabei zeigte sich, daß die Waldböden mit Ausnahme der Carbonatböden großflächig versauert sind. Sie weisen teilweise einen Versauerungsgrad auf, der das Vorkommen von Pflanzengesellschaften mit mittlerem und hohem Anspruch an die Basenversorgung einschränkt. Das gilt für 68 % der Probestpunkte der Bodenzustandserhebung (s. Abschnitt 3.4).

Die Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes von Waldböden ist außerdem ein deutlicher Hinweis darauf, daß über viele Jahre hinweg anthropogen verursachte Säurebildner, v. a. aus Schwefel- und Stickstoffeinträgen, eingewirkt haben müssen.

Die Mannigfaltigkeit der Ausgangssubstrate hätte ohne diese Einträge bei lediglich natürlichen Verwitterungsprozessen eine größere Vielfalt bodenchemischer Kennwerte zur Folge.

Analysen von Nadel-/Blattproben geben Aufschluß über die Ernährungssituation von Waldbäumen und erlauben Rückschlüsse auf Immissionsbelastungen. Die Ergebnisse zeigen einen negativen Einfluß der Immissionen auf die Nährelementverhältnisse in der Belaubung (s. Abschnitt 3.5).

Erste Ergebnisse einer integralen Auswertung der Daten aus Bodenzustandserhebung und Waldschadenserhebung weisen darauf hin, daß die Bodenversauerung, bedingt durch atmosphärische Säureinträge, zu einer instabilen Magnesiumversorgung führt, welche sich in sichtbaren Schadsymptomen äußert.

Untersuchungen auf ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen (Level II-Flächen) werden Ursache-Wirkungsbeziehungen in Waldökosystemen aufzeigen. Erste Depositionsmessungen des auf europäischer Ebene 1994 angelaufenen Level II-Programms ergeben mittlere bis hohe Schwefeleinträge nur noch auf wenigen Flächen (v. a. auf dem Erzgebirgskamm), jedoch Stickstoffeinträge, die fast regelmäßig den durchschnittlichen Bedarf der Waldbäume um das Zwei- bis Fünffache übertreffen (s. Abschnitt 3.6).

Bei fortgesetzt hohen Stickstoffeinträgen werden vermehrt Waldökosysteme in die Lage kommen, den von außen zugeführten Stickstoff nicht mehr in ihren Kreislauf einbauen zu können. Folglich würden sie den Überschuß wieder abgeben und zwar bei ausreichenden Niederschlägen in durchlässigen Böden als Nitrat an das Grundwasser (Beeinträchtigung der Rohwasserqualität). Die damit verbundene Nährstoffauswaschung und Bodenversauerung kann zu Nährstoffungleichgewichten führen und schließlich zur Destabilisierung von Waldökosystemen beitragen. Die über die Luft eingetragenen Stoffe reichern sich im Boden an und bleiben dort über längere Zeit wirksam, auch wenn keine weitere Deposition mehr stattfindet. Sie verursachen in den Waldökosystemen erhebliche Veränderungen, die jedoch zunächst unsichtbar bleiben können.

Die schädlichen Einwirkungen der Stoffeinträge in Waldbestände sind in zahlreichen Beispielen der Waldökosystemforschung untersucht worden. Ein anschauliches Beispiel bietet der in Abschnitt 3.7.1.1 geschilderte Versuch: Ein gegen saure Niederschläge abgedeckter Fichtenbestand, dem ausschließlich gereinigtes Wasser zugeführt wurde, hat sich innerhalb von vier Jahren soweit erholt, daß die Stickstoffkonzentrationen in den Nadeln signifikant abgenommen und die Magnesiumgehalte in den Nadeln zugenommen haben.

Aus der europäischen Waldschadenserhebung geht hervor, daß die Probleme nicht auf Deutschland beschränkt sind.

Im großräumigen europäischen Maßstab werden auffallende Übereinstimmungen zwischen Kronenschäden, kritischen Bodenzuständen und Luftschadstoff-

feinträgen z.B. von Schwefel erkennbar (s. Abschnitt 4).

Zusammenfassend belegen die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse die Richtigkeit der Luftreinhaltepolitik von Bund und Ländern, aber auch die Notwendigkeit zur weiteren Verminderung von Schadstoffemissionen, insbesondere von Stickstoffverbindungen.

Die gewonnenen Ergebnisse bestätigen auch den Wert des Umweltmonitorings im Wald mit seinen verschiedenen Intensitätsstufen und den sich daraus ergebenden Möglichkeiten einer die verschiedensten Aspekte zusammenfassenden Auswertung von Daten sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene. Auf der Basis vieljähriger Meßreihen wird sich die Kenntnis der Zusammenhänge im Ökosystem Wald wesentlich vertiefen lassen.

## 4. Der Waldzustand in Europa

### Das europäische Monitoring-Programm:

Im Jahr 1979 wurde in Genf das Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (Genfer Luftreinhaltkonvention) unterzeichnet. Im Rahmen dieses Abkommens wurde 1985 das Internationale Kooperationsprogramm zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder (ICP Forests) gegründet.

Seit 1986 erheben 29 Staaten auf dem transnationalen europäischen Monitoring-Netz (**Level I-Netz** mit Rasterweite von 16 × 16 km) jährlich den Kronenzustand an rd. 100 000 Bäumen auf mehr als 5 000 Probepunkten nach einem einheitlichen Verfahren. Die Daten werden im Programmkoordinierungszentrum (PCC) des ICP Forests in Hamburg ausgewertet<sup>10)</sup>. Auf den Probepunkten des Level I-Netzes wurden in den vergangenen Jahren zusätzlich zum Kronenzustand der Bodenzustand erhoben (bislang rd. 4 500 Aufnahmepunkte in 23 Ländern) und Elementgehalte in den Blättern und Nadeln ermittelt (bislang fast 1 400 Aufnahmepunkte in 16 Ländern). Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind in Berichten veröffentlicht worden.<sup>11)</sup>

Ziel des Monitorings auf dem Level I-Netz ist die großräumige **Identifizierung von räumlichen und zeitlichen Mustern** der Entwicklung des Waldzustandes anhand relativ einfach zu erhebender ökologischer Schlüsselparameter. Die umfangreichen Kronen- und Bodenzustandsdaten des Level I-Monitorings bilden außerdem die Grundlage für weitergehende statistische Analysen der räumlichen und zeitlichen Entwicklung des Waldzustandes. Erste Ergebnisse einer integralen Untersuchung unter Einbeziehung weiterer Meßergebnisse (Klima, Deposition) liegen nun vor<sup>12)</sup>.

<sup>10)</sup> UN/ECE und EC. 1997. Lorenz, M., S. Augustin, G. Becher & M. Förster: Forest Condition in Europe. 1997 Technical Report. UN/ECE und EC, Genf und Brüssel, 110 S.

<sup>11)</sup> EC und UN/ECE. 1997. Vanmechelen, L., R. Groenemans & E. Van Ranst: Forest Soil Condition in Europe. Technical Report. EC und UN/ECE, Brüssel, Genf.

EC und UN/ECE. 1997. Stefan, K., A. Fürst & R. Hacker, U. Bartels (Kapitel 2.3): Forest Foliar Condition in Europe. Technical Report. EC und UN/ECE, Brüssel, Genf.

<sup>12)</sup> EC und UN/ECE. 1997. Müller-Edzards, C., J. W. Erisman, M. Dobberty, S. Gosh & W. De Vries. 1997: Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe: Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impacts of Natural and Anthropogenic Stress Factors. Overview Report. EC und UN/ECE, Brüssel, Genf. 20 S.

Ein weiterer Bestandteil des europäischen Monitoring-Programmes sind Intensivuntersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen (**Level II**). Hier wird die **Aufklärung von Prozessen** angestrebt, um damit den Ursache-Wirkungs-Beziehungen näherzukommen. Ende 1996 wurden die ersten Daten aus dem Level II-Programm an das „Koordinierungsinstitut für die intensive Dauerbeobachtung“ (FIMCI) in Wageningen, Niederlande, gesandt. Eine Übersicht über den Stand der Flächeneinrichtung sowie die übermittelten Daten gibt ein Bericht<sup>13)</sup>; Auswertungen dieser Daten liegen aus zeitlichen Gründen jedoch noch nicht vor.

Die EU-Mitgliedstaaten führen diese Aktivitäten zugleich im Rahmen des EU-Programmes zum Schutz des Waldes gegen Luftverschmutzung aufgrund von Rechtsverordnungen der EU durch.

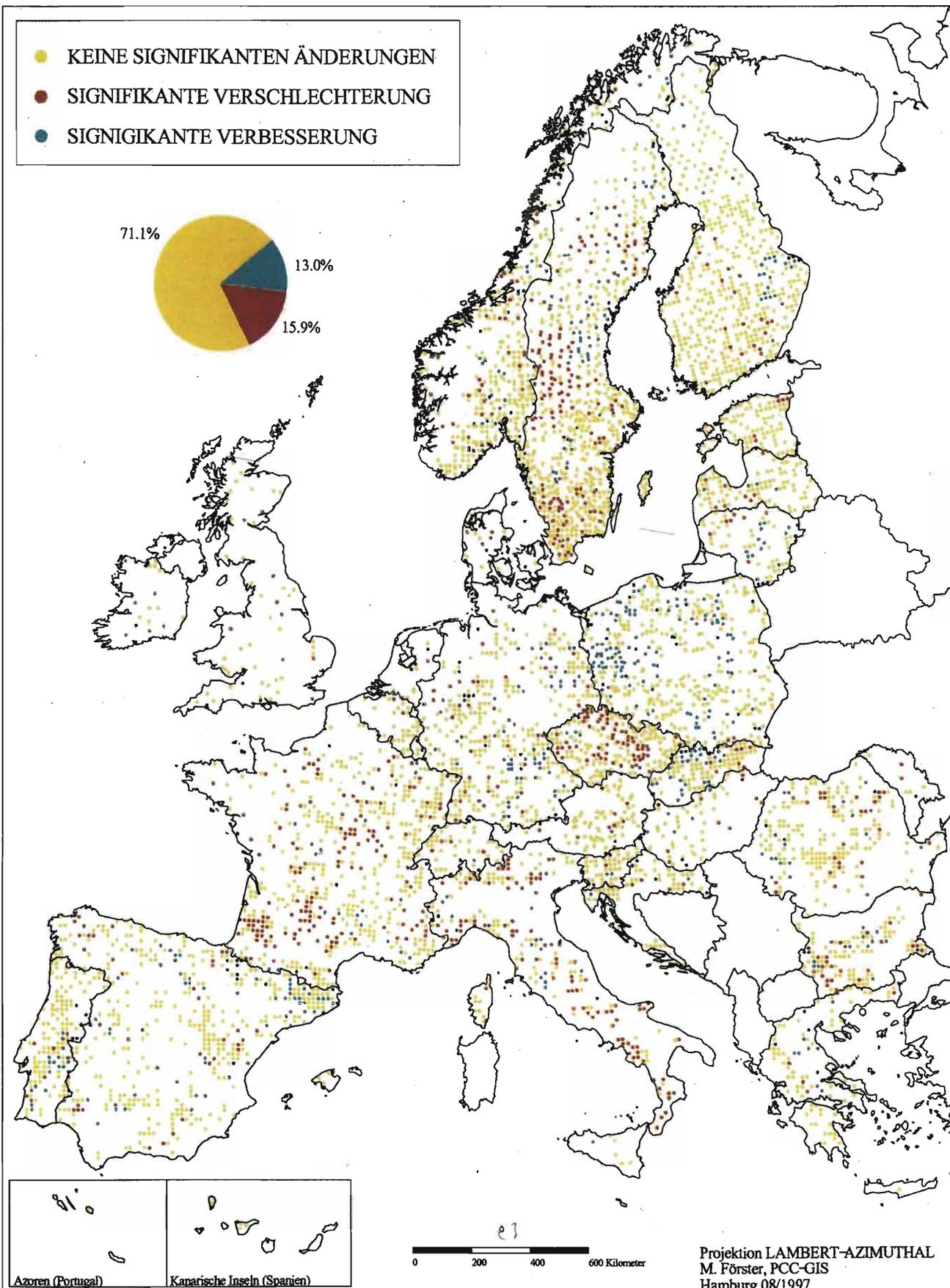
### Raum-zeitliche Muster des Waldzustandes in Europa:

Die **Entwicklung des Kronenzustandes** im Zeitraum 1992–1996 zeigt, daß bei 15,2 % der erhobenen Bäume eine Verbesserung des Zustandes eintrat, bei 31,7 % eine Verschlechterung und in ca. der Hälfte der Fälle keine signifikante Veränderung (Karte 16). Dabei gibt es teilweise auffallende regionale Entwicklungen. In den Mittelmeerländern und in Südwestfrankreich gibt es große Waldgebiete, in denen in den letzten Jahren eine drastische Verschlechterung des Kronenzustandes festgestellt wurde. Dieser Trend ist wahrscheinlich auf eine langanhaltende Trockenperiode zurückzuführen. Auffallende Verbesserungen des Kronenzustandes traten dagegen in Ostdeutschland und in Nordpolen auf, was mit einigen für den Wald klimatisch günstigen Jahren und der Reduktion der Emissionen seit Beginn der 1990er Jahre in Verbindung gebracht wird.

Bei den in Europa am weitesten verbreiteten Baumarten weisen vor allem Buchen und Eichen eine deutliche Verschlechterung ihres Kronenzustandes auf. So stieg der Anteil der deutlichen Schäden bei Eiche (*Quercus robur*) von 24 % in 1992 auf 40 % in 1996 an. Dieser Trend der Verschlechterung ist weniger ausgeprägt bei Fichten. Bei Kiefern ist sogar eine Verbesserung des Kronenzustandes zu verzeichnen.

<sup>13)</sup> EC und UN/ECE. 1997. De Vries, W., G. J. Reinds, E. M. Vel und H. D. Deelstra: Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe. Technical Report 1997. EC und UN/ECE, Brüssel, Genf.

### Entwicklung des Nadel-/Blattverlustes in Europa von 1992–1996

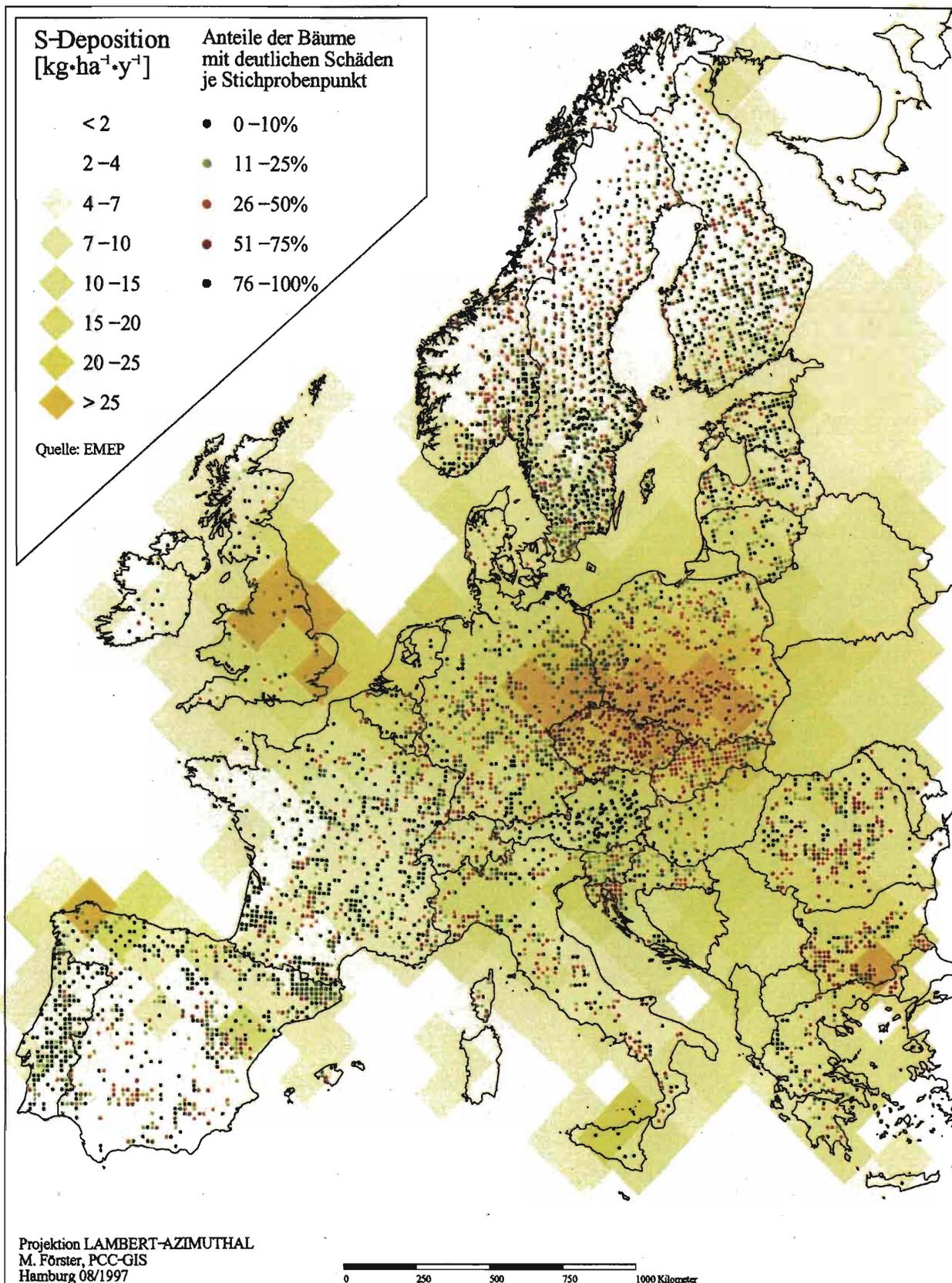


Betrachtet man dagegen das absolute Schadniveau, d.h. den Anteil deutlich geschädigter Bäume mit mehr als 25 % Kronenverlichtung pro Aufnahme- punkt (Karte 17), so findet sich auch 1996 eine regio-

nale Häufung von Probestäumen mit deutlichen Schäden in der Tschechischen Republik, der Slowakei und in Südpolen. In diesen Gebieten sind oft mehr als 50 % der Bäume deutlich geschädigt.

**Kronenzustand in 1996 und Schwefeleinträge**

(Daten für 1994, Quelle: EMEP)



Die **Ursachen** der hohen Kronenverlichtungen werden in einem komplexen Bündel aus biotischen (z. B. Insekten- und Pilzbefall) und abiotischen Faktoren (z. B. Luftverschmutzung, Trockenheit), die regional unterschiedliches Gewicht haben, gesehen. Betrachtet man den Einfluß von Luftschadstoffen, so gibt die Gegenüberstellung der räumlichen Verteilung des Kronenzustandes und der Einträge von Luftschadstoffen erste Hinweise auf mögliche Zusammenhänge. So ist in Karte 17 der Kronenzustand 1996 zusammen mit der Verteilung der Schwefeleinträge in Europa für 1994 dargestellt<sup>14)</sup>. Die oben genannten klassischen Hauptschadgebiete liegen meist in Gebieten mit hohen Schwefeleinträgen, die trotz deutlicher Reduktion in den letzten Jahren immer noch mehr als 25 kg pro ha und Jahr betragen. Die kritischen Eintragsraten („Critical loads“) werden damit bei weitem überschritten. Die Gebiete mit deutlichen Erholungstendenzen in den letzten 5 Jahren (Karte 16) liegen dagegen in den geringer belasteten Gebieten Nordpolens und Ostdeutschlands. In diesem Zusammenhang ist auch die Beobachtung polnischer Wissenschaftler von Bedeutung, daß in den mit Immissionen hoch belasteten Regionen Südpolens die Reaktion der Bäume auf Trockenheit ausgeprägter ist als

in den weniger belasteten Gebieten im Norden, d. h. die Empfindlichkeit gegenüber Trockenheit scheint durch Luftschadstoffe erhöht zu sein.

Weitere wichtige Hinweise zur Erklärung räumlicher und zeitlicher Entwicklungen des Waldzustandes gibt die **Bodenzustandserhebung** auf den Level I-Aufnahmepunkten. Die Karte 18 zeigt die regionale Häufung sehr niedriger **pH-Werte im Oberboden** (<3,2–4,0) in Deutschland, der Tschechischen Republik und den nördlichen Gebieten der Slowakischen Republik, aber auch in Süd- und Mittelschweden. Extrem saure Oberböden kommen ausschließlich in hoch mit Luftschadstoffen belasteten Regionen vor. Sehr hohe pH-Werte >6 sind dagegen in den Alpen, in Südfrankreich und im östlichen Spanien verbreitet. Sie sind hier auf das meist kalkreiche Ausgangssubstrat bzw. die semi-ariden klimatischen Bedingungen zurückzuführen. Aus dieser Verteilung ist deutlich zu ersehen, daß es einerseits große Gebiete in Europa gibt, in denen das bodenbildende Ausgangssubstrat und das Klima weiterhin einen großen Einfluß auf den chemischen Oberbodenzustand haben, und andererseits Gebiete, in denen dieser Einfluß kaum mehr zu erkennen ist, also offenbar durch andere Faktoren überlagert wird. Diese Gebiete liegen in Zonen hoher und schon lange einwirkender Belastung durch Luftschadstoffe, in denen die kritischen Belastungsraten für Schwefel- und auch Stickstoffeinträge schon seit Jahrzehnten überschritten werden.

<sup>14)</sup> Quelle: EMEP. Neuere Daten lagen nicht vor. Da sich das Muster der S-Verteilung auf der hier betrachteten Skalenebene von Jahr zu Jahr nur geringfügig ändert, ist das Vorgehen für die hier verfolgten Ziele des Mustervergleichs gerechtfertigt.

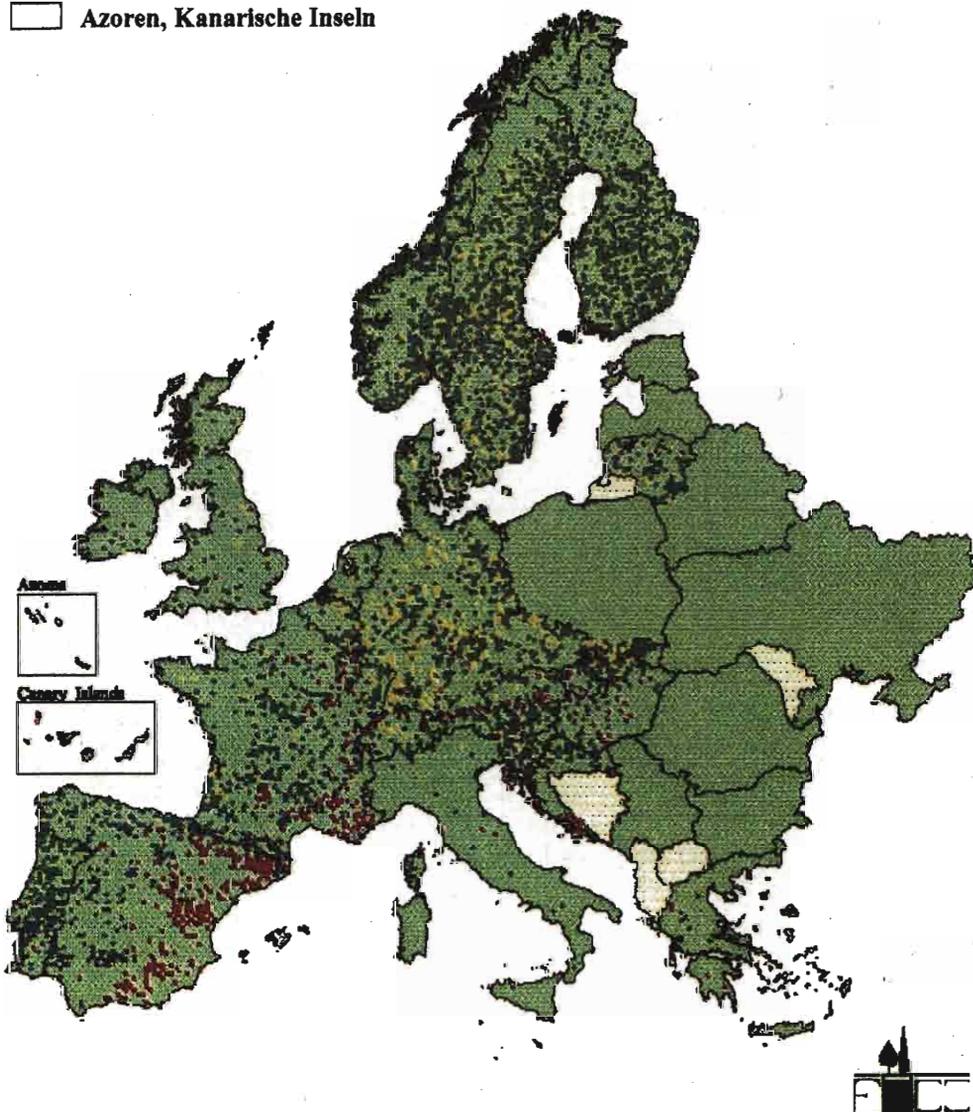
**Geographische Verteilung der pH-Werte im obersten Mineralboden**

**LEGENDE**

pH-Werte im mineralischen Oberboden

- ≤ 3,2
- 3,3 - 4,0
- 4,1 - 5,0
- 5,1 - 6,0
- > 6,0

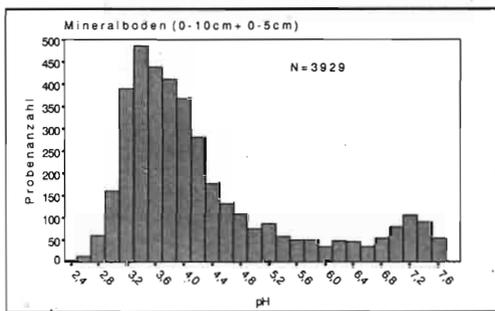
-  Teilnehmerstaat
-  Nicht-Teilnehmerstaat
-  Azoren, Kanarische Inseln



Der für das Waldwachstum optimale pH-Wert liegt im allgemeinen zwischen pH 5 und pH 6. Mit sinkendem pH-Wert und unterhalb einer Basensättigung von ca. 20 % steigt der Anteil der sauren Kationen wie Aluminium, Eisen und Mangan in der Bodenlösung und am Austausch gegenüber den für die Baumernährung wichtigen Nährstoffkationen drastisch an. Die kritische Grenze für diesen Prozeß liegt bei ca. pH 4,0, unter der mit einem kritischen Zustand für die Baumernährung zu rechnen ist. Bei über 50 % der untersuchten Standorte wird diese kritische pH-Wert-Grenze im Oberboden unterschritten (Abbildung 28).

Abbildung 28:

**Häufigkeitsverteilung der pH-Werte der europäischen Bodenzustandserhebung**



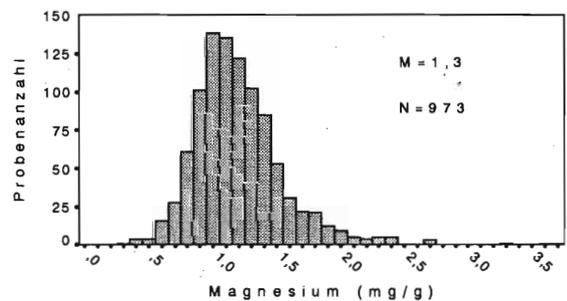
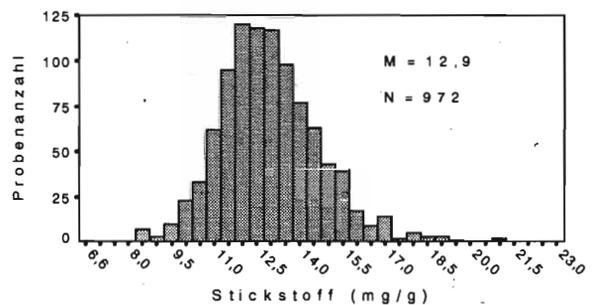
Ein weiterer Parameter von hohem indikativem Wert ist das **Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N-Verhältnis)** im Humus bzw. im mineralischen Oberboden. Sehr hohe Werte >40 werden meist in den borealen und mediterranen Gebieten lokalisiert, während in Mitteleuropa häufig C/N-Verhältnisse um nur 20 gefunden wurden. Auf 17 % der Aufnahmepunkte wurden in der organischen Auflage niedrigere C/N-Verhältnisse als im darunter liegenden Mineralboden gefunden, was auf hohe Stickstoffeinträge hinweist. Ein C/N-Verhältnis von 20–25 stellt einen kritischen Schwellenwert dar: Bei hohen N-Einträgen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß Stickstoff nicht mehr im Boden oder in der Vegetation zurückgehalten werden kann und mit dem Sickerwasser den Boden verläßt oder emittiert wird. So zeigen Ergebnisse des Internationalen Kooperationsprogrammes „Wasser“ im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention, daß bei Einträgen >15 kg/ha erhöhte N-Konzentrationen in Gewässern zu erwarten sind.

Die Ergebnisse der chemischen **Nadel-/Blattanalysen** an Probebäumen auf den Level I-Punkten zeigte ein weites Spektrum von Elementgehalten in den untersuchten Bäumen. Aufgrund der geringen Teilnahme an der Untersuchung (16 Staaten) ist die räumliche Repräsentanz jedoch gering. Abbildung 29 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Stickstoff- und Magnesiumgehalte in 1jährigen Nadeln aller untersuchter Fichten (*Picea abies*). Die Mittelwerte lagen im Bereich des Klassifizierungswertes 2, d. h. im Bereich ausreichender Versorgung. Bei Magnesium zeigt die Form der Häufigkeitsverteilung eine Tendenz zu vielfach niedrigeren Werten an. Die räumliche Verteilung der Stickstoffwerte in den untersuchten Ge-

bieten zeigt, daß die höchsten Gehalte im Vereinigten Königreich und in Nord- und Ostdeutschland zu finden sind. In diesen Regionen Mitteleuropas liegen die Stickstoffeinträge über 14,0 kg pro Hektar und Jahr; dort sind zugleich die niedrigsten C/N-Werte im Oberboden zu verzeichnen. Niedrige N-Gehalte in Nadeln und Blättern finden sich dagegen meist in Skandinavien, Spanien, Österreich und Süddeutschland. Weitergehende Aussagen sind jedoch aufgrund der geringen Teilnahme an diesem Programmteil nicht möglich.

Abbildung 29:

**Stickstoff- und Magnesiumkonzentrationen (mg/g) in 1jährigen Fichtennadeln**



M = Mittelwert, N = Probenanzahl.  
 Klassifizierungswerte für Fichte in mg/g:  
 N: Klasse 1: <12,0; Klasse 2: 12,0–17,0; Klasse 3: >17,0).  
 Mg: Klasse 1: <0,6; Klasse 2: 0,6–1,6; Klasse 3: >1,5.

**Zusammenfassende Bewertung:**

Die gemeinsame Betrachtung des **aktuellen Zustandes** und der **Dynamik** der Veränderung im Waldzustand zeigt unterschiedliche geographische Muster: Für den Kronenzustand wurde eine Tendenz der Verschlechterung seit 1992 festgestellt, wobei diese besonders in West- und Südeuropa ausgeprägt ist. Verbesserungen im Kronenzustand wurden vor allem in Nordpolen und Ostdeutschland beobachtet. Eine deutliche Tendenz der Verschlechterung wurde bei den Buchen und Eichen im Gegensatz zu den Nadelbäumen festgestellt. Das absolut höchste Schadniveau befindet sich weiterhin in Gebieten Mittel- und Osteuropas, wo in zahlreichen Beständen über 50 % der Probebäume deutliche Schäden im Kronenzustand aufweisen.

Der Vergleich unterschiedlicher Aspekte des Waldzustandes unterstreicht, daß auf gesamteuropäischer Ebene die derzeit zu beobachtenden Entwicklungen wahrscheinlich auf sehr verschiedene Hauptursachen zurückzuführen sind, wobei für die Verschlechterung im Kronenzustand Süd- und Westeuropas vor allem klimatische Einflüsse (langanhaltende Trockenheit) verantwortlich gemacht werden.

Die wichtige Rolle der Luftverunreinigung bei den beobachteten Waldschäden wird jedoch durch erste Vergleiche der Kronenzustandserhebung mit der Bodenzustandserhebung und der chemischen Analyse von Nadel- und Blattproben unterstrichen.

So wurden extrem niedrige pH-Werte in den Böden ausschließlich in Gebieten mit hohem Eintrag von Luftschadstoffen gemessen. Dort bestimmt oft nicht mehr das bodenbildende Material den chemischen Bodenzustand; sein Einfluß wird offensichtlich über-

lagert durch hohe Mengen deponierter Säurebildner. Auch die wenigen vorliegenden Analyseergebnisse der Nadel-/Blattgehalte zeigen eine Häufung hoher Stickstoff- und Schwefelgehalte in Waldgebieten mit hohen Einträgen von Luftschadstoffen. Obwohl bislang auf gesamteuropäischer Ebene kein direkter Zusammenhang von Luftschadstoffen und Kronenzustand nachgewiesen wurde, zeigt der Vergleich von deutlichen Kronenschäden und z.B. den Schwefel-einträgen oder kritischen Bodenzuständen eine auffallende räumliche Koinzidenz. Diese Aussagen gelten vor allem für Waldgebiete in Mittel- und Osteuropa.

Weitere integrale Analysen der dargestellten Level I-Ergebnisse sowie die für 1998 geplanten ersten Auswertungen von Ergebnissen aus Dauerbeobachtungsflächen (Level II-Programm) und regional differenzierte Untersuchungen lassen zusätzliche Einblicke in die Zusammenhänge erwarten.

## 5. Maßnahmen

Zur Bekämpfung der „Neuartigen Waldschäden“ hat die Bundesregierung bereits 1983 das Aktionsprogramm „Rettet den Wald“ beschlossen. Zu den wesentlichen Elementen dieses Programms zählen

- eine konsequente Politik der Luftreinhaltung auf nationaler und internationaler Ebene,
- die Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen (Bodenschutzkalkung, Vor-/Unterbau und Wiederaufforstung) im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“,
- die Förderung einer interdisziplinären Waldschadens- und Waldökosystemforschung durch Bund und Länder,
- die Überwachung der „Neuartigen Waldschäden“ durch jährliche Erhebungen sowie
- Maßnahmen zur Erhaltung der forstlichen Genressourcen.

### 5.1 Luftreinhaltung

#### 5.1.1 Nationale Maßnahmen zur Minderung der Emissionen

Die Minderung der Schadstoffemissionen ist eine zentrale und vorrangige Aufgabe der Umweltpolitik der Bundesregierung<sup>15)</sup>. Sie folgt hierbei dem Prinzip der Umweltvorsorge sowie dem Verursacher- und dem Kooperationsprinzip. Weitere Fortschritte in der Luftreinhaltung erfordern die Nutzung des gesamten umweltpolitischen Instrumentariums.

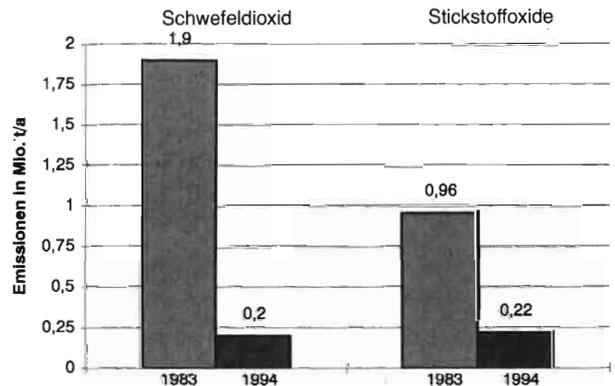
Die wichtigste **Rechtsgrundlage** für Maßnahmen zur Luftreinhaltung ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz von 1974, zuletzt geändert 1995. Es ist Grundlage u. a. für wesentliche anlagenbezogene Rechts- und Verwaltungsvorschriften:

- Verordnung über Großfeuerungsanlagen (13. BImSchV, 1983),

<sup>15)</sup> Stand und Entwicklung der Emissionen und die Maßnahmen der Bundesregierung sind im Sechsten Immissionsschutzbericht der Bundesregierung (Hrsg.: Bundesumweltministerium, PF 120629, 53048 Bonn) beschrieben

Abbildung 30:

#### Rückgang der Emissionen aus Großfeuerungsanlagen in den alten Ländern von 1983 bis 1994 (in Mio. t/Jahr).



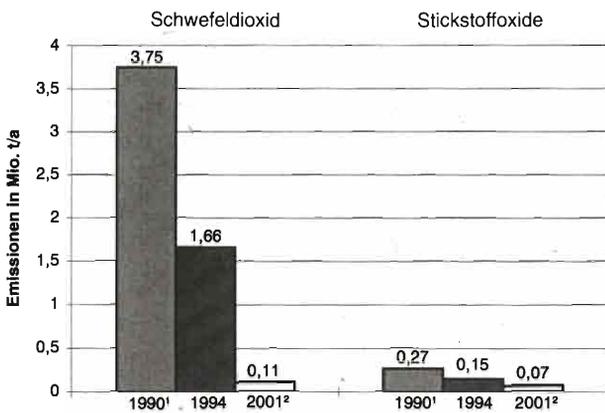
Quelle: Umweltbundesamt

Bis zum Ablauf der Nachrüstungsfrist für Altanlagen wurden von den Unternehmen in den alten Ländern ca. 22 Mrd. DM für Umweltschutzinvestitionen in den Bereichen Entschwefelungs- und Entstickungsmaßnahmen ausgegeben und damit die SO<sub>2</sub>-Emissionen um 84 %, die NO<sub>x</sub>-Emissionen um 74 % und die Staubemissionen um 80 % verringert.

- Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (1986),
- Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung (1988, zuletzt geändert 1996),
- Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (1990, zuletzt geändert 1991),
- Verordnungen zur Emissionsbegrenzung von Kohlenwasserstoffen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen sowie bei der Betankung von Kraftfahrzeugen (1992).

Abbildung 31:

**Rückgang der Emissionen aus Großfeuerungsanlagen in den neuen Ländern von 1990\* bis 2001\*\* (in Mio. t/Jahr)**



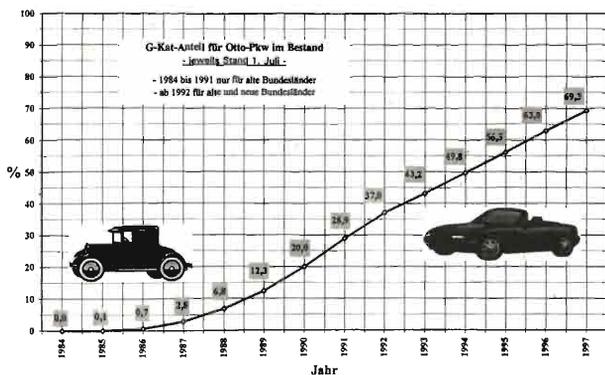
- \* Übernahme des Umweltrechts durch die neuen Länder
- \*\* Abschluß der Altanlagenregelung in den neuen Ländern
- <sup>1</sup> Quelle: Daten zur Umwelt 1992/93; Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin, 1994
- <sup>2</sup> Schätzung des Umweltbundesamtes.

Die wichtigsten **Schritte** zur Minderung der verkehrsbedingten Umweltbelastungen:

- 1985 wurde das bleifreie Benzin eingeführt.
- Von 1985 bis 1992 wurde der schadstoffarme Pkw durch steuerliche Anreize gefördert; dies hat zu beachtlichen Erfolgen geführt. Inzwischen sind rund 65 % aller zugelassenen Pkw mit Ottomotor mit einem geregelten Dreivegekatalsator ausgerüstet und etwa 90 % des gesamten Pkw-Bestandes (mit Otto- oder Dieselmotor) schadstoffreduziert (d.h. schadstoffarm bzw. bedingt schadstoffarm).

Abbildung 32:

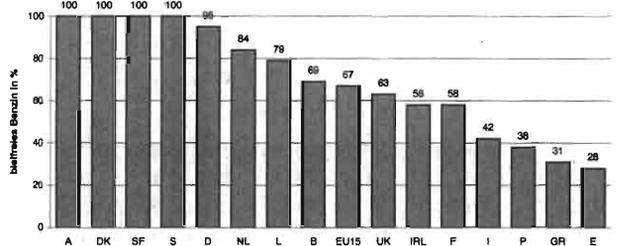
**Anstieg des geregelten Katalysators in Deutschland**



- Seit Ende 1996 wird verbleites Benzin nicht mehr angeboten.
- Seit Januar 1993 müssen EU-weit alle neu zugelassenen Pkw mit Ottomotor strenge Abgasnormen erfüllen (1. Stufe des Stufenplans der europäischen Abgasgesetzgebung für alle Pkw). Hierzu ist derzeit bei Pkw mit Ottomotor grundsätzlich die Ausstattung der Fahrzeuge mit dem geregelten Dreivegekatalsator erforderlich. Ab 01. 01. 1997 ist die 2. Stufe des EU-Stufenplanes mit einer Verschärfung der Anforderungen an das Abgasverhalten von Pkw von ca. 50 % EU-weit verbindlich in Kraft getreten. Ab 1997 ist ebenfalls eine 2. Stufe der Anforderungen an das Abgasverhalten von leichten Nutzfahrzeugen in Kraft getreten, mit der die anspruchsvollen Pkw-Abgasvorschriften auch für diesen Bereich eingeführt werden.

Abbildung 33:

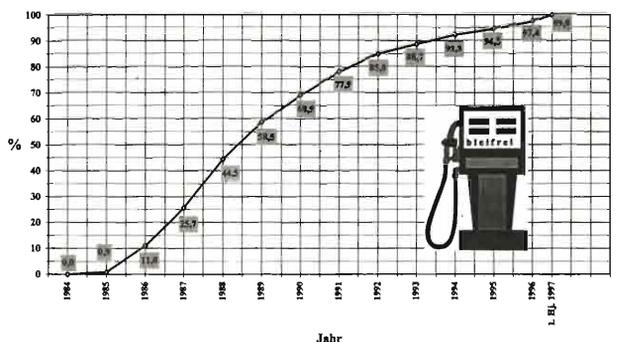
**Anteil bleifreien Benzins am Gesamtabsatz von Ottokraftstoff in ausgewählten Ländern der Europäischen Union 1995**



Eng verbunden mit dem steigenden Anteil schadstoffarmer Autos ist der Absatz von bleifreiem Ottokraftstoff. Obwohl der Absatz in den neuen Ländern erst im Juli 1990 (Währungsunion) begann, liegt er dort seit etwa 1992 auf dem gleichen Niveau wie in den alten Ländern. In Deutschland waren im Juni 1996 etwa 96 % der verbrauchten Ottokraftstoffe bleifrei. Dadurch konnten die Bleiemissionen aus dem Verkehr deutlich verringert werden. Auch das bedeutet eine Entlastung für die Waldökosysteme.

Abbildung 34:

**Anstieg des bleifreien Benzins in Deutschland**



- Seit Oktober 1993 gelten in der EU deutlich verschärfte Abgasnormen für Lkw; sie sind in der 2. Stufe des o. g. Stufenplans, die am 1. Oktober 1996 in Kraft getreten ist, weiter verschärft.
  - Seit Dezember 1993 gilt die Abgasuntersuchung (AU) – mit wenigen Ausnahmen für bestimmte Spezialfahrzeuge – für alle Pkw und Nutzfahrzeuge.
  - Im April 1997 sind die Verordnung nach § 40 Abs. 2 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (23. BImSchV) und eine Allgemeine Verwaltungsvorschrift in Kraft getreten. In der Verordnung sind Konzentrationswerte für Stickstoffdioxid, Benzol und Ruß in der Luft für bestimmte Straßen und Gebiete festgelegt. Beim Erreichen dieser Konzentrationswerte sind die zuständigen Behörden gehalten zu prüfen, ob verkehrsbeschränkende Maßnahmen in diesen Gebieten oder auf diesen Straßen unter Berücksichtigung der Verkehrsbedürfnisse und der städtebaulichen Belange zur Verminderung schädlicher Einwirkungen auf die Umwelt notwendig sind. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift enthält bindende Vorgaben für die Ermessensausübung durch die Straßenverkehrsbehörden zur Durchführung vor Ort.
  - Im April 1994 wurde eine emissionsbezogene Kfz-Steuer für Lkw über 3,5 t und im Januar 1995 eine zeitbezogene Autobahnbenutzungsgebühr für Lkw über 12 t eingeführt.
  - Im Juli 1995 ist das sogenannte „Ozongesetz“<sup>16)</sup> in Kraft getreten. Damit gibt es eine bundesweit einheitliche Regelung zur Bekämpfung sommerlicher Ozon-Spitzenwerte. Deutschland ist der erste Staat weltweit, in dem bei Erreichen besonders hoher Ozonkonzentrationen großräumige Fahrverbote für stark emittierende Kraftfahrzeuge in Kraft treten. Großräumige Fahrverbote führen nach den vorliegenden Erkenntnissen zu Entlastungen bei Ozon-Spitzenwerten und wirken dem weiteren Anstieg der Ozonwerte in gesundheitlich bedenkliche Bereiche entgegen.
  - Ab Oktober 1995 ist der Mineralölsteuersatz auf Erd- und Flüssiggas als Kraftstoff um rund 60 % auf 18,70 DM/Megawattstunde bei Erdgas und 24,1 DPf/Kilogramm bei Flüssiggas gesenkt worden. Damit werden die Rahmenbedingungen für diese schadstoffarmen Kraftstoffe deutlich verbessert.
  - Ab Oktober 1996 ist EU-weit schwefelarmer Dieseldieselkraftstoff mit max. 0,05 Gew. % Schwefel eingeführt worden. Um dies am deutschen Markt zu beschleunigen, ist am 28. Januar 1994 die neue Kraftstoffqualitätsverordnung in Kraft getreten, durch die eine optionale Auszeichnung von schwefelarmem Dieseldieselkraftstoff bereits zum 1. Oktober 1994 möglich wurde. Die Umstellung auf schwefelarmen Dieseldieselkraftstoff wurde bis zum Herbst 1995 weitgehend abgeschlossen.
  - Zum 1. Juli 1997 wurde eine emissionsorientierte Kfz-Steuer für Pkw eingeführt; damit wurden weitere steuerliche Anreize zur Herstellung und zum Erwerb möglichst schadstoff- und verbrauchsarmer Pkw gegeben.
- Durch diese Maßnahmen konnte u. a. eine dem gestiegenen Verkehrsaufkommen entsprechende Zunahme der Emissionen verhindert und eine Trendwende eingeleitet werden.
- Zur Begrenzung bzw. weiteren Verringerung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen werden darüber hinaus auch folgende Maßnahmen der Bundesregierung beitragen:
- Der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) 1992 hat eine stärkere ökologische Orientierung in der Verkehrspolitik eingeleitet: Erstmals liegen die Investitionen des Bundes für die Schiene höher als die für die Bundesfernstraßen. Die für die umweltfreundlicheren Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße vorgesehenen Investitionen erreichen damit 55 %. Außerdem entfallen von den 17 „Verkehrsprojekten deutsche Einheit“ neun auf Eisenbahnbaumaßnahmen, eine auf Wasserstraßenbau und sieben auf Straßenbaumaßnahmen. Vor allem aus Gründen des Umweltschutzes fördert die Bundesregierung den Ausbau des Kombinierten Verkehrs (KV) Straße/Schiene bzw. Bundeswasserstraße/Schiene. Er ist ein Beispiel für eine effiziente Kooperation bzw. Vernetzung der Verkehrsträger im Güterverkehr und gleichzeitig ein wesentliches Element zur Verlagerung eines Teils des Straßengüterfernverkehrs auf die Schiene. Der Bund stellt auf der Grundlage des Bundesschienenwegeausbaugesetzes für den Neu- bzw. Ausbau von Umschlagterminals des KV zinslose Darlehen bzw. Baukostenzuschüsse zur Verfügung. Hierfür sind im vordringlichen Bedarf des BVWP 1992 insgesamt 4,1 Mrd. DM für den Zeitraum bis zum Jahr 2012 genannt, vorbehaltlich insbesondere einer Gesamtoptimierung der Umschlaganlagen des KV. Darüber hinaus unterstützt die Bundesregierung die Entwicklung des KV durch ordnungs- und steuerpolitische Maßnahmen.
  - Das Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG) stellt den Ländern erhebliche Finanzmittel zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in den Gemeinden zur Verfügung. In den Jahren 1993 bis 1996 waren es jährlich 6,28 Mrd. DM für Fördermaßnahmen nach dem GVFG. Für 1997 sind rund 6,3 Mrd. DM eingeplant. Zum wesentlichen Teil kommen diese Mittel Investitionen zur Verbesserung des öffentlichen Personennahverkehrs zugute.
  - Die Bundesregierung fördert den verstärkten Einsatz moderner Informations-, Leit- und Kommunikationssysteme im Verkehr (Telematik); sie hat hierfür zusammen mit Industrie und Verkehrswirtschaft ein gemeinsames Vorgehen vereinbart. Dabei wird von dem Einsatz der Telematik ein hoher Beitrag zur Lösung der Verkehrs- und Umweltprobleme erwartet. Telematik trägt dazu bei, die gesamte Verkehrsinfrastruktur effizienter zu nutzen, Verkehrsmittel besser auszulasten, Verkehrsträger stärker zu verknüpfen und zu vernetzen und dadurch attraktive Anreize zur Verlagerung von Ver-

<sup>16)</sup> §§ 40 a–40 f Bundesimmissionsschutzgesetz

kehr vor allem von der Straße auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel bis hin zur Verkehrsvermeidung (z. B. durch Reduzierung der Leerfahrten) zu schaffen. Die Nutzung von Telematikanwendungen einschließlich der geplanten automatischen Gebührenerhebung für schwere Lkw wird damit insgesamt zur Senkung umweltrelevanter Emissionen, vor allem auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen, und zur Erhöhung der Verkehrssicherheit führen.

Neben dem Anlagen- und dem Verkehrsbereich ist die Landwirtschaft eine weitere wesentliche Quelle von umweltrelevanten und die Wälder belastenden Emissionen. Vor allem ihre Ammoniak-Emissionen tragen in einigen Gebieten erheblich zum Entstehen von Waldschäden bei. Allerdings haben die Emissionen aus der Landwirtschaft aufgrund einer stärkeren Orientierung der Agrarpolitik an Belangen des Umweltschutzes abgenommen und werden voraussichtlich weiter abnehmen. Dabei sind folgende Maßnahmen von Bedeutung:

- Im Zuge der **Reform der gemeinsamen Agrarpolitik** der Europäischen Gemeinschaften 1992 wurden wichtige Korrekturen zugunsten des Umweltschutzes vorgenommen.
  - = Durch Preissenkungen bei Getreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchten, die durch eine Flächenprämie ausgeglichen werden, sowie durch die umweltverträglich gestaltete Flächenstilllegung hat die Intensität in der Bodenproduktion, insbesondere der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln je Hektar abgenommen.
  - = Die Preisausgleichsprämien für männliche Mastriinder und Mutterkühe wirken ebenfalls in Richtung einer extensiven emissionsärmeren Produktion. So ist die Zahl der Tiere, für die eine Prämie gezahlt wird, auf eine Besatzdichte von 2,0 GV<sup>17)</sup>/ha Futterfläche ab 1996 begrenzt. Bei besonders extensiver Tierhaltung wird je Prämie ein Extensivierungszuschlag gezahlt.
  - = Die einzelbetriebliche Investitionsförderung vermindert waldschädigende Emissionen durch die Förderung emissionsenkender Technologien bei Fütterung, Entmistung, Lüftung und Güllelagerung sowie Gülleausbringung. Das betrifft z. B. Phasenfütterung, Kottrocknung im Stall, Güllelagerabdeckung und bodennahe Gülleausbringung.
- Im Rahmen der **flankierenden Maßnahmen** zur Agrarreform der EU<sup>18)</sup> wurde u. a. die Möglichkeit eröffnet, umweltgerechte landwirtschaftliche Produktionsverfahren gezielt zu fördern. In Deutschland werden diese Maßnahmen umgesetzt durch

- die Agrarumweltprogramme der Länder, in denen u. a.
  - gebietspezifische extensive Produktionsverfahren,
  - die Verringerung des Viehbesatzes,
  - Lehrgänge, Praktika sowie Demonstrationsvorhaben zur Verbreitung eines umweltbewußten Verhaltens in der Landwirtschaft
 gefördert werden können,
- die Förderung „markt- und standortangepaßter Landbewirtschaftung“ im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“, die eine Mittelbereitstellung für
  - extensive Produktionsverfahren im Ackerbau oder bei Dauerkulturen,
  - extensive Grünlandnutzung einschließlich der Umwandlung von Ackerland in extensiv zu nutzendes Grünland (1995/96 Zugang um 145 000 Hektar auf rund 25 % des Grünlandes) und
  - ökologische Anbauverfahren (1995/96 Zugang um 46 000 Hektar oder 40 % auf rund 1,4 % der Ackerfläche)
 ermöglicht.

- Im Rahmen der flankierenden Maßnahmen wurde auch die **Förderung der Erstaufforstung** verbessert. Bund und Länder fördern die Erstaufforstung im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ bereits seit 1975 durch einen Zuschuß zu den Kosten der Erstinvestition (je nach Baumart bis zu 85 % der förderungsfähigen Kosten). Seit 1991 erhalten land- und forstwirtschaftliche Unternehmer bzw. Betriebsinhaber – zusätzlich zu der o. g. Investitionsbeihilfe – zum teilweisen Ausgleich von Einkommensverlusten aus bisheriger landwirtschaftlicher Nutzung eine Erstaufforstungsprämie. Diese jährlich gezahlte Prämie wird bis zu einer Dauer von 20 Jahren gewährt. Sie kann je nach Baumarten und Standortgüte bis zu 1400 DM je Hektar und Jahr betragen.
- Die Bundesregierung hat Schritte eingeleitet, um die wettbewerbsrelevanten und umweltrechtlichen Rahmenbedingungen zugunsten **nachwachsender Rohstoffe** weiter zu verbessern. Im Zuge der Agrarreform hat sie erreicht, daß auf stillgelegten Flächen nahezu alle gängigen Ackerkulturen für die Nichtnahrungsmittelproduktion angebaut werden dürfen und der Landwirt dennoch die volle Stilllegungsprämie erhält. Weitere wichtige Maßnahmen sind die vollständige Befreiung reiner Biokraftstoffe (Biodiesel) von der Mineralölsteuer, die Förderung der Forschung und Entwicklung für einen Einsatz biologisch schnell abbaubarer Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten, der Einsatz für eine EU-weit harmonisierte Energiebesteuerung, von der nachwachsende Rohstoffe und andere erneuerbare Energieträger auszunehmen sind, die Begünstigung von aus land- und forst-

<sup>17)</sup> GV = Großvieheinheit; für die einzelnen Tierarten berechnet nach einem bestimmten Schlüssel unter Zugrundelegung des Lebendgewichts. Z. B. entsprechen einer GV: ein Rind (über 2 Jahre) oder etwa sechs Mastschweine (über 50 kg) oder zehn Schafe (über 1 Jahr).

<sup>18)</sup> Verordnung (EWG) 2078/92 des Rates vom 30. Juni 1992 für umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren; Verordnung (EWG) 2080/92 des Rates vom 30. Juni 1992 zur Einführung einer gemeinschaftlichen Beihilferegelung für Aufforstungsmaßnahmen in der Landwirtschaft;

wirtschaftlich produzierter Biomasse erzeugtem Strom durch das Stromeinspeisungsgesetz und nicht zuletzt die Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben, wofür 1996 ein neues Konzept beschlossen wurde. In Deutschland wurden 1996 auf einer Fläche von rd. einer halben Mio. ha Agrarrohstoffe für die Industrie und den Energiesektor angebaut.

- Die neue Düngeverordnung schafft einheitliche rechtliche Rahmenbedingungen für eine umweltverträgliche Ausbringung von bestimmten Düngemitteln. Mit ihr werden auch Vorgaben der EG-Nitratrichtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, soweit sie die Düngung betreffen, in Deutschland umgesetzt. Die Düngeverordnung wird insbesondere in Gebieten mit intensiver Viehhaltung die verlustarme Verwertung der anfallenden Wirtschaftsdünger unterstützen und Nährstoffüberschüsse schrittweise weiter zurückführen.
- Bei **Beratung** der landwirtschaftlichen Betriebe steht die umweltgerechte landwirtschaftliche Produktion zunehmend im Mittelpunkt, insbesondere
  - eine pflanzenbedarfs- und standortgerechte Düngung,
  - eine auf den Nährstoffkreislauf ausgerichtete flächengebundene Tierhaltung und Dungverwertung,
  - eine auf Erhöhung der Effizienz der Nährstoffverwertung in der tierischen Erzeugung ausgerichtete Fütterung, Leistungssteigerung sowie ein entsprechendes Management und
  - eine emissionsarme Lagerung und Ausbringung von Fest- und Flüssigmist.

Durch die Agrarumweltprogramme der Länder konnten 1996 auf 5,2 Mio. Hektar besonders umweltgerechte landwirtschaftliche Produktionsverfahren durchgeführt werden. Auf 1,7 Mio. Hektar (10 % der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands) wurden darüber hinaus extensive, die Stickstoffausträge dadurch weiter mindernde Landbewirtschaftungsverfahren gefördert. Die extensive Grünlandnutzung mit einem Viehbesatz von in der Regel höchstens 1,4 RGV<sup>19)</sup> wurde sogar auf 20 % der Fläche gefördert.

Durch diese agrarpolitische Neuorientierung und die Anpassungen in der Landwirtschaft, vor allem die Umstrukturierung in den neuen Ländern, ist der Stickstoffabsatz aus Handelsdüngern sowohl insgesamt als auch je Hektar deutlich zurückgegangen. Unter Einbeziehung der neuen Länder verringerte sich der jährliche Verbrauch an Stickstoff aus Handelsdüngern seit dem Wirtschaftsjahr 1989/90 um etwa ein Fünftel und beträgt heute rund 1,7 Mio. Tonnen Reinstickstoff. Zudem nahmen die Tierbestände in Deutschland infolge der Umstrukturierung in den neuen Bundesländern, der Strukturentwicklung im alten Bundesgebiet und einer Leistungssteigerung je

Tier von 1989 bis 1996 von 19,0 auf 15,1 Mio. GV = um 21 % ab.

Die Emissionen aus der Tierhaltung gingen in diesem Zeitraum überproportional zurück durch

- Fortschritte bei der betrieblichen und regionalen Flächenbindung, bei der Senkung des Viehbesatzes je 100 Hektar LF von 91 GV 1992 auf 87 GV 1996,
- schrittweise Durchsetzung emissionsmindernder Technologien bei Fütterung, Tierhaltung sowie Güllelagerung und -ausbringung,
- bessere Futtermittelverwertung infolge von Leistungssteigerung des Einzeltieres durch Zucht und Management.

Aufgrund dieser Entwicklung wurden 1996 aus der Tierhaltung etwa 160 000 t NH<sub>3</sub> bzw. fast ein Viertel weniger emittiert als 1989.

### 5.1.2 Maßnahmen im internationalen Bereich

Luftverunreinigungen und „Neuartige Waldschäden“ sind ein grenzübergreifendes Problem. Die Europäischen Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder im Jahr 1990 in Straßburg und im Jahr 1993 in Helsinki haben die Bedeutung von systematischer und staatenübergreifender Beobachtung der Wälder und die Notwendigkeit von international abgestimmten Maßnahmen u. a. zur Walderhaltung und Forschung bestätigt.

Für die Luftreinhaltung ist v. a. die **Genfer Luftreinhaltekonvention** (Übereinkommen vom 13. November 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung) von Bedeutung. Die Bundesrepublik Deutschland hat sie gemeinsam mit 32 Staaten unterzeichnet. Die inzwischen 40 Vertragsstaaten haben sich verpflichtet, Luftverunreinigungen soweit wie möglich zu verringern.

Die Verpflichtungen sind im einzelnen in spezifischen Protokollen enthalten:

Im **Helsinki-Protokoll** (1985) – für die Bundesrepublik Deutschland seit 1987 in Kraft – haben sich 21 Staaten verpflichtet, ihre jährlichen nationalen **Schwefeldioxidemissionen (SO<sub>2</sub>)** bis spätestens 1993 um mindestens 30 % gegenüber dem Niveau von 1980 zu reduzieren. Dieses Ziel wurde in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland bereits 1990 mit ca. 70 % weit übertroffen. Insgesamt war in Deutschland 1994 eine Reduktion um ca. 60 % erreicht worden.

Auch die meisten anderen Staaten der UN/ECE haben ihre SO<sub>2</sub>-Emissionen beträchtlich verringert: Sie lagen 1990 in den europäischen Staaten insgesamt um ca. 30 % unter den Werten von 1980.

Im Juni 1994 haben Deutschland, 26 weitere Staaten und die EU in **Oslo** ein neues **SO<sub>2</sub>-Protokoll** unterzeichnet. Damit sollen die SO<sub>2</sub>-Emissionen weiter gesenkt werden. Das Protokoll soll 90 Tage nach Hinterlegung der 16. Ratifikationsurkunde in Kraft treten und damit das Helsinki-Protokoll ablösen. Acht Staaten haben das Protokoll inzwischen ratifiziert. In

<sup>19)</sup> Rauhfutterfressende Großvieheinheiten

Deutschland befindet sich das Vertragsgesetz zur nationalen Umsetzung derzeit im Gesetzgebungsverfahren.

Die wichtigsten Verpflichtungen dieses Protokolls sind:

1. Reduzierung der Schwefelemissionen, damit langfristig die im Protokoll angegebenen sog. kritischen Belastungswerte (critical loads) möglichst nicht überschritten werden.

Die mittels international abgestimmter Methoden<sup>20)</sup> ermittelten kritischen Belastungswerte sind definiert als eine quantitative Schätzung der Exposition gegenüber einem oder mehreren Schadstoffen, unterhalb derer nach dem heutigen Wissensstand keine bedeutenden schädlichen Auswirkungen auf bestimmte empfindliche Teile der Umwelt auftreten. Mit diesem Protokoll wird erstmals in einem völkerrechtlich verbindlichen Regelwerk die Empfindlichkeit der vom Stoffeintrag betroffenen Ökosysteme zum Maßstab für die erforderlichen Emissionsminderungen genommen. Tatsächlich überschreiten die Depositionen derzeit in weiten Teilen Mitteleuropas immer noch die berechneten kritischen Belastungswerte. Besonders hoch sind diese Überschreitungen in Mittelengland und in Deutschland im Süden der neuen Länder.

2. Verbindliche Festlegung von individuellen Obergrenzen der Gesamt-Schwefelemissionen der Vertragsstaaten für die Jahre 2000, 2005 bzw. 2010.

Danach ist Deutschland verpflichtet, seine Schwefelemissionen um 83 % bis zum Jahr 2000 und um 87 % bis zum Jahr 2005 gegenüber dem Niveau von 1980 zurückzuführen (1994 war bereits eine Reduktion um 60 % erreicht). Größenordnungsmäßig vergleichbare Reduzierungsraten wurden für Österreich, Dänemark, Finnland, Schweden, Niederlande, Frankreich und Belgien festgelegt. Die Reduzierungsraten der Staaten Mittel- und Osteuropas sind, gemessen an ihrer wirtschaftlichen Situation, überwiegend beachtlich hoch (sie bewegen sich beispielsweise für das Jahr 2005 zwischen 17 % für Kroatien und 65 % für die Slowakei).

Daneben enthält das Protokoll verbindliche SO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerte für neue und mit gewissen Einschränkungen auch für bestehende Großfeuerungsanlagen. Sie sind im deutschen Recht bereits enthalten und werden von den deutschen Anlagen eingehalten bzw. unterschritten. Außerdem enthält das Protokoll Grenzwerte für den Schwefelgehalt in Gasölen, die den Anforderungen in der EU entsprechen. Ferner enthält das Protokoll ein deutlich verbessertes System zur Überwachung der Einhaltung der Verpflichtungen.

Im sogenannten **Sofia-Protokoll** (1988) – für Deutschland seit 1991 in Kraft – haben sich 25 Staaten verpflichtet, die **Stickstoffoxidemissionen (NO<sub>x</sub>)** bis 1994 auf den Stand von 1987 zurückzuführen. Deutschland und elf weitere Staaten haben sich darüber hinaus verpflichtet, ihre NO<sub>x</sub>-Emissionen bis

spätestens 1998 um 30 % zu senken. Deutschland wird dieses Ziel – nach heutigem Kenntnisstand – erreichen: Die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen (ohne Emissionen aus Hochseebunkerungen) gingen von 3,2 Mio. t NO<sub>x</sub> im Bezugsjahr 1987 bis 1994 um ca. 30 % auf 2,2 Mio. t zurück. Das Umweltbundesamt prognostiziert für das Jahr 1998 Emissionen in Höhe von 2000 t; dies entspräche einer Reduktion um 44 %.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen blieben von 1987 bis 1990 in den europäischen Staaten insgesamt unverändert. Ihren Ausstoß wesentlich reduziert haben Deutschland, Polen, Spanien sowie Ungarn. Gleichzeitig stiegen sie in einigen anderen Staaten wie Rußland, Belgien und Großbritannien deutlich an.

Zur Reduzierung der Emissionen an **flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC)** in West- und Osteuropa haben 23 Staaten – einschließlich Deutschland – 1991 in **Genf** ein weiteres Protokoll unterzeichnet. Ratifiziert haben dieses Protokoll fünfzehn Staaten einschließlich Deutschland. Darin haben sie sich verpflichtet, ihre NMVOC-Emissionen bis 1999 um mindestens 30 % zu verringern.

Das Basisjahr für Deutschland ist 1988. Damals lagen die NMVOC-Emissionen (alte und neue Länder) bei 3,2 Mio. t. Im Jahr 1994 wurden in Deutschland 2,1 Mio. t NMVOC emittiert, was bereits einer Verminderung von 33 % entspricht. Aufgrund der von der Bundesregierung ergriffenen Maßnahmen werden nach Berechnungen des Umweltbundesamtes die NMVOC-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 1999 auf 1,8 Mio. t, d. h. um etwa 45 % zurückgehen.

Deutschland setzt sich auch im Rahmen der **Europäischen Union** für gemeinsame Lösungen zur Verbesserung der Luftqualität ein.

Darüber hinaus spielen bei der Verringerung grenzüberschreitender Schadstoffströme bilaterale Umweltabkommen v. a. mit mittel- und osteuropäischen Staaten eine wichtige Rolle.

So wurden z. B. mit Tschechien Verhandlungen über die Reduzierung der grenzüberschreitenden Luftverschmutzung, nicht zuletzt zum Erhalt des Waldbestandes im Erzgebirge, geführt.

### 5.1.3 Ergebnisse der Maßnahmen

#### – Emissionen –

Die Luftreinhaltung hat in Deutschland bereits ein hohes Niveau erreicht. Für die Verursachergruppen Energieerzeuger, Industrie, Haushalte, Kleinverbraucher, Landwirtschaft und Verkehr wurden Maßnahmen ergriffen, um den Ausstoß von Luftschadstoffen zu vermeiden bzw. zu vermindern und damit Schadursachen zu beseitigen.

Die hauptsächlich im Laufe der 80er Jahre getroffenen Maßnahmen zeigen im Anlagenbereich deutlich spürbare und nachweisbar positive Wirkungen. So ist v. a. der Schadstoffausstoß aus stationären Anlagen erheblich zurückgegangen. Mit Wirksamwerden des Bundes-Immissionsschutzgesetzes für die neuen

<sup>20)</sup> erarbeitet durch die ECE-Sonderarbeitsgruppe Kartierung (Task Force on Mapping)

Länder hat sich auch dort dieser positive Trend verstärkt (vgl. Abbildung 30 und Abbildung 31).

Seit Ende der achtziger Jahre wirkt sich die Einführung schadstoffarmer bzw. schadstoffreduzierter Pkw aus. Trotz steigender Verkehrsleistung konnte seit Anfang der 90er Jahre ein Rückgang der Emissionen aus dem Straßenverkehr bezüglich Kohlenwasser-

stoff und Stickstoffoxid erreicht werden. So zeigen Berechnungen des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, daß aufgrund der Einführung des Katalysators und weitere Maßnahmen eine Abnahme der Kohlenwasserstoff- und Stickstoffoxidemissionen aus dem Straßenverkehr zu verzeichnen ist (Abnahme 1996 gegenüber 1990 um 61 % bei NMHC und 28 % bei  $\text{NO}_x$ ).

Tabelle 4:

**Entwicklung der Emissionen von Luftschadstoffen in der Bundesrepublik Deutschland (D)  
und der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) in Mio. t**

	1980		1985		1989		1990			1994			Schätzung für das Jahr 2005 <sup>1)</sup> Gesamt
	D	DDR	D	DDR	D	DDR	aBL <sup>2)</sup>	nBL	Ges.	aBL	nBL	Ges.	
<b>Staub</b>	0,67	1,94	0,54	2,11	0,41	2,03	0,40	1,62	2,02	0,38	0,38	0,75	- 87 %
<b>SO<sub>2</sub></b>	3,16	4,35	2,37	5,37	0,94	5,25	0,89	4,44	5,33	0,87	2,12	3,00	- 86 %
<b>NO<sub>x</sub></b>	2,62	0,72	2,54	0,74	2,15	0,75	1,96	0,68	2,64	1,77	0,44	2,21	- 19 %
<b>NH<sub>3</sub></b>	0,57	0,26	0,59	0,27	0,56	0,26	0,55	0,21	0,76	0,52	0,10	0,62	- <sup>4)</sup>
<b>NMVOC<sup>3)</sup></b>	2,52	0,70	2,45	0,74	2,30	0,85	2,21	0,94	3,16	1,78	0,35	2,14	- 45 %

Quelle: 6. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung, Hrsg.: Bundesumweltministerium 1996; Zahlen gerundet, ohne natürliche Quellen; die Angaben für 1994 sind vorläufig.

- <sup>1)</sup> Bezugsjahr: 1990; die Voraussetzungen, die dieser Abschätzung zu Grunde liegen, sind im 6. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung (1996) auf S. 43 genannt.  
<sup>2)</sup> aBL = alte Bundesländer, nBL = neue Bundesländer  
<sup>3)</sup> flüchtige organische Verbindungen ohne Methan  
<sup>4)</sup> Für NH<sub>3</sub> liegt keine Emissionsschätzung für das Jahr 2005 vor

Der hauptsächliche Teil (ca. 90 %) der **Ammoniak (NH<sub>3</sub>)**-Emissionen stammt aus landwirtschaftlichen Quellen. Weitere Emissionsquellen sind u. a. Industrieprozesse und Feuerungsanlagen. Der Rückgang der Ammoniak-Emissionen zwischen 1989 und 1994 beträgt etwa 24 % und ist vor allem auf die Verringerung der landwirtschaftlichen NH<sub>3</sub>-Emissionen infolge der agrarumweltpolitischen Maßnahmen und der Umstrukturierung der Landwirtschaft insbesondere in den neuen Ländern zurückzuführen.

#### – Immissionen –

Die Immissionen an **Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)** sind in den alten und neuen Ländern zurückgegangen. Während in den alten Ländern die Konzentrationen von einem großräumigen Niveau von etwa 25–50 µg/m<sup>3</sup> und regional 50–75 µg/m<sup>3</sup> (Ruhrgebiet, Rhein-Main-Gebiet, Nordhessen) im Jahr 1986 kontinuierlich auf Werte kleiner als 25 µg/m<sup>3</sup> fast flächendeckend zurückgegangen sind, ist ein erheblicher Rückgang in den neuen Ländern erst ab 1990 zu verzeichnen.

In den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen liegen die Immissions-Meßwerte noch großflächig zwischen 50 und 100 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel. Mit dem Fortschreiten der technischen Emissionsminderungsmaßnahmen und auf der Grundlage von Maßnahmen im Rahmen der bi- und multilateralen Zusammenarbeit mit den Nachbarländern, der Republik Polen und der Tschechischen Republik, ist speziell in diesen heute noch höher belasteten Gebieten

ein weiterer Rückgang der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu erwarten.

Im gesamten Bundesgebiet wurde im Jahr 1993 der Immissionswert der TA Luft, der für SO<sub>2</sub> mit 140 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittel festgelegt ist, erheblich unterschritten. Meßstellen, an denen SO<sub>2</sub>-Immissionswerte der entsprechenden EG-Richtlinie nicht eingehalten wurden, gab es nur noch in den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Allerdings sind auch hier die Zahl der betroffenen Meßstellen und die Höhe der Überschreitungen stark im Rückgang begriffen.

Wintersmogalarm, verursacht durch Schwefeldioxid, trat im alten Bundesgebiet nicht mehr auf. In den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen kam es in den Wintern 1991/92 und 1992/93 noch wiederholt zur Ausrufung der Vorwarnstufe und Alarmstufe 1. Im Winter 1993/94 wurde nur in Sachsen und Sachsen-Anhalt in mehreren Smoggebieten je eine kurze Periode mit Smogalarm ausgerufen. Im Winter 1994/95 blieben in allen neuen Ländern Smogsituationen aus.

Allerdings haben hohe Schwefeleinträge aus dem Böhmisches Becken in Verbindung mit Frost im Winter 1995/96 extreme Waldschäden verursacht.

Die Immissionen von **Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>)** liegen generell unter dem Immissionsrichtwert der TA-Luft zum Schutz der Gesundheit. Man findet außerhalb der Ballungsräume in den ländlichen Gebieten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die nur selten einen Wert von

30 µg/m<sup>3</sup> überschreiten und die abseits von verkehrsreichen Straßen unter 10 µg/m<sup>3</sup> liegen. In den Ballungsräumen werden – je nach Lage der Meßstation – Jahresmittelwerte zwischen 30 und 60 µg/m<sup>3</sup> gemessen (Stationen mit größerem Repräsentanzradius). Eng begrenzte lokale Effekte, wie sie z. B. bei Stationen auftreten, die einen „verkehrsbezogenen“ Charakter aufweisen, führen zu Konzentrationen, die durchaus 100 µg/m<sup>3</sup> und darüber erreichen können.

Die Belastung der Luft durch Stickoxide nimmt seit Jahren laufend ab. Dieser Trend wird sich fortsetzen.

Der Grenzwert der EG-Richtlinie von 200 µg/m<sup>3</sup> als 98 %-Wert wird an allen Meßstellen unterschritten. Lediglich der Leitwert von 135 µg/m<sup>3</sup> ist an wenigen Meßstellen mit starker Verkehrsbeeinflussung überschritten.

**Bodennahe Ozon (O<sub>3</sub>)** entsteht durch photochemische Reaktion der primär emittierten Vorläuferschadstoffe NO<sub>x</sub> und VOC. Maßnahmen zur Minderung der Ozon-Konzentration setzen daher bei diesen Vorläufersubstanzen an. Die pflanzenschädigende Wirkung von Ozon ist nachgewiesen.

Die besonderen Eigenarten bei Bildung und Abbau von Ozon führen dazu, daß die Langzeitmittelwerte für die Ozon-Konzentrationen in der Luft in Gebieten mit hohen NO<sub>x</sub>-Werten relativ gering bleiben (z. B. in Ballungsräumen 20–60 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> Luft), in sogenannten Reinluftgebieten jedoch höhere Werte erreichen können (z. B. in Höhenlagen von Mittelgebirgen 60 bis 100 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> Luft, im Alpenraum vereinzelt Jahresmittelwerte bis zu 120 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> Luft). Der EU-weit einheitliche Schwellenwert für die Auslösung des Warnsystems zum Schutz vor Gefahren für die menschliche Gesundheit im Falle einer kurzen Exposition beträgt 360 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>Luft als Einstundenmittelwert. Er wurde in den letzten Jahren in Deutschland jedoch an keiner der über 300 Meßstationen überschritten. Dagegen überstiegen die Ozonkonzentrationen häufig den Wert von 180 µg/m<sup>3</sup> Luft als Einstundenmittelwert, ab dem die Bevölkerung informiert werden muß. Die Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation (mittlere Ozon-Konzentration in einer Stunde von 200 µg/m<sup>3</sup> Luft bzw. in 24 Stunden von 65 µg/m<sup>3</sup> Luft) waren ebenfalls häufig überschritten.

**5.1.4 Höhe und Entwicklung von Stoffeinträgen in Waldökosysteme**

Im Zusammenhang mit Waldschäden sind insbesondere Einträge folgender Stoffe von Bedeutung:

- **Sulfatschwefel (SO<sub>4</sub>-S):** Zu Anfang und Mitte der 80er Jahre reichten die durchschnittlichen jährlichen Depositionsraten im Freiland von ca. 15 kg/ha in den niederschlagsärmeren Regionen Südwestdeutschlands bis nahezu 80 kg/ha in den nördlichen und v. a. östlichen Mittelgebirgen.

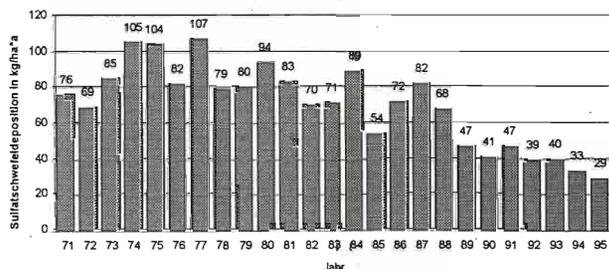
Unter Waldbeständen wurden im gleichen Zeitraum höhere Depositionswerte als im Freiland gemessen. Besonders hoch waren die durchschnittlichen jährlichen Sulfateinträge v. a. im südlichen Teil der ehemaligen DDR, wo sie unter Kiefernbeständen Werte zwischen 80 und 106 kg/ha, unter Fichtenbeständen Werte zwischen 100 und 150 kg/ha erreichten. Ebenfalls hohe Werte unter Fichtenbeständen wurden im gleichen Zeitraum vor allem im Solling und Harz mit 50–90 kg/ha, aber auch in Ostbayern (33–110 kg/ha) und Hessen (21–89 kg/ha) festgestellt.

Vergleichsweise geringe jährliche Sulfateinträge wurden unter Fichtenbeständen, z. B. in Teilen des Schwarzwaldes (15–46 kg/ha) oder in Rheinland-Pfalz (24–43 kg/ha), sowie unter Kiefern im nordostdeutschen Tiefland (17–40 kg/ha) ermittelt.

Auf nahezu allen Untersuchungsstandorten in den alten Ländern ist während der letzten zehn Jahre ein erheblicher Rückgang der Sulfatdeposition zu verzeichnen. Der Rückgang ist um so höher, je höher die Ausgangsbelastung der Standorte war. Unter Fichtenbeständen im Solling erreichten die Sulfateinträge beispielsweise gegen Mitte der 70er Jahre mit jährlich 80–110 kg/ha ein Maximum und gingen bis Anfang der 90er Jahre um mehr als die Hälfte auf nunmehr 30–40 kg/ha zurück (vgl. Abbildung 35).

Abbildung 35:

**Entwicklung der Deposition von Sulfatschwefel in einem Fichtenbestand (Kronentraufe) im Solling**



(nach B. ULRICH, 1993: 25 Jahre Ökosystem- und Waldschadensforschung im Solling. Forstarchiv 64, S. 147–152; Angaben für 1992 bis 1995: Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt)

Auch in den neuen Ländern zeichnet sich in den Jahren 1991 und 1992 eine deutliche Verringerung der Sulfateinträge ab. Dennoch erreicht die aktuelle jährliche Sulfatdeposition z. B. unter Fichtenbeständen in Thüringen immer noch Werte zwischen 35 und 60 kg/ha.

Allerdings übersteigen auch die verringerten Schwefeleintragsraten die Schwellenwerte der Verträglich-

keit für Waldökosysteme (Critical Loads<sup>21</sup>)) noch beträchtlich.

– **Stickstoff:** Die Gesamtstickstoffdeposition ergibt sich v.a. aus den Einträgen von Nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). Beide sind – bezogen auf das gesamte Bundesgebiet – zu etwa gleichen Teilen daran beteiligt. Regional können diese Anteile jedoch sehr stark schwanken: Während in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten der Beitrag des Ammoniaks überwiegt, dominiert in den leeseitig der Ballungszentren gelegenen Mittelgebirgsregionen der Beitrag des Nitrats.

Gegen Anfang und Mitte der 80er Jahre reichten die durchschnittlichen jährlichen Depositionsraten von Stickstoff (Nitrat und Ammonium) im Freiland von etwa 6 bis 24 kg/ha und unter Fichtenbeständen von etwa 8 bis 72 kg/ha.

Trotz meßtechnischer Unsicherheiten zeigen die vorliegenden Meßreihen, daß die Wälder bis zu vierfach höhere Depositionsraten als das Freiland aufweisen können. Dies liegt daran, daß Wälder wegen der großen Oberfläche und Rauigkeit des Kronendaches verstärkt Stoffe aus der Luft auskämern.

Besonders hohe Werte wurden im nordwestlichen Küstenraum Niedersachsens (Wingst) mit 45 bis 72 kg/ha gemessen. Werte zwischen 20 und 40 kg/ha wurden an Untersuchungsstandorten in Hessen, Niedersachsen (Solling), Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Thüringen festgestellt, unter Kiefernbeständen in der DDR z.T. auch darüber.

Vergleichsweise geringe Stickstoffeinträge wurden unter Fichtenbeständen in Bayern (11–30 kg/ha) sowie im südlichen Schleswig-Holstein (12 bis 19 kg/ha) ermittelt.

Aufgrund von Reaktionen der Stickstoffverbindungen in der Baumkrone ist es jedoch wahrscheinlich, daß der Gesamteintrag an Stickstoff in Waldbestände bis zum Doppelten des meßtechnisch Erfassbaren beträgt.

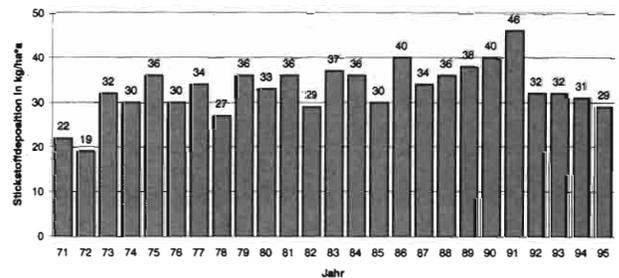
Während der letzten zehn Jahre zeigten die Stickstoffeinträge an der Mehrzahl der Untersuchungsstandorte eine gleichbleibende bis leicht steigende Tendenz.

Die aktuellen jährlichen Eintragsraten von Stickstoff (Nitrat und Ammonium) erreichen derzeit auf vielen Standorten Größenordnungen um 30–40 kg N/ha (s. Abbildung 36). Sie liegen damit etwa um das Zweibis Fünffache über der Stickstoffmenge, die der Wald

für sein Wachstum benötigt. Durch die jahrzehntelange anhaltenden Einträge hat sich in vielen Waldökosystemen eine Sättigung mit Stickstoff eingestellt. Diese Wälder können überschüssigen Stickstoff nicht mehr speichern und geben ihn – z.T. in umweltbelastender Form – wieder ab. Beispielsweise beträgt der Nitrataustrag mit dem Quellwasser aus Waldökosystemen des Thüringer Waldes bereits ein Vielfaches der Eintragsbelastung.

Abbildung 36:

### Entwicklung der Stickstoffdeposition in einem Fichtenbestand (Kronentraufe) im Solling



(nach B. ULRICH, 1993: 25 Jahre Ökosystem- und Waldschadensforschung im Solling. Forstarchiv 64, S. 147–152; Angaben für 1992 bis 1995: Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt)

Schwefel- und Stickstoffeinträge in die Wälder bedeuten eine erhebliche **Säurebelastung** insbesondere der Waldböden. Waldböden können Säureinträge innerhalb gewisser Grenzen abpuffern bzw. ökosystemunschädlich neutralisieren. Wird diese Pufferfähigkeit jedoch überschritten, so ist mit einer fortschreitenden Versauerung der Waldböden zu rechnen. Dadurch verringert sich die Fähigkeit der Böden, Nährstoffe festzuhalten. Zudem können v.a. infolge der Zerstörung von Tonmineralen hohe Konzentrationen potentiell giftiger Aluminium-, Eisen- und Manganionen im Bodenwasser auftreten. Standorte mit pufferschwachem Untergrund können bis in Grund- und Quellwasser-Schichten hinein versauern. Dadurch kann die Wasserqualität erheblich beeinträchtigt werden.

Der Vergleich der Depositionswerte der Jahre 1989 bzw. 1993 mit den kritischen Belastungsgrenzen ergibt trotz der gezeigten Entlastung nach wie vor eine Überschreitung der Critical Loads auf einem Großteil der Waldfläche. In Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigt sich eine leichte Verlagerung der Überschreitungen von den sehr hohen Werten der Belastung mit Säureequivalenten von 2 bis 5 keq pro Hektar und Jahr zu niedrigeren Werten zwischen 1 bis 2 keq pro Hektar und Jahr. Ähnliches ist für die Überlastung der Ökosysteme mit Stickstoff zu verzeichnen. Trotz eines leicht rückläufigen Trends liegt die Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff auf 40 % der Fläche über 10 kg pro Hektar und Jahr.

<sup>21</sup>) Angaben zur Belastbarkeit von Ökosystemen, insbesondere Waldböden, durch Säure- oder Stickstoffeinträge (Critical Loads) oder kritischen Konzentrationen von Luftschadstoffen ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Ozon) werden im Rahmen der von Deutschland geleiteten europaweiten Aktivitäten der UN/ECE-Sonderarbeitsgruppe „Kartierung kritischer Belastungswerte“ auf der Grundlage von Meßwerten und Modellrechnungen beim Umweltbundesamt ermittelt und kartiert. Methoden und Ergebnisse einschließlich der Critical Loads-Karten sind veröffentlicht und können beim Umweltbundesamt bezogen werden.

Abbildung 37:

**Potentielle Azidität – Flächenanteil der Critical Loads-Überschreitungsklassen in Waldgebieten, 1989 und 1993**

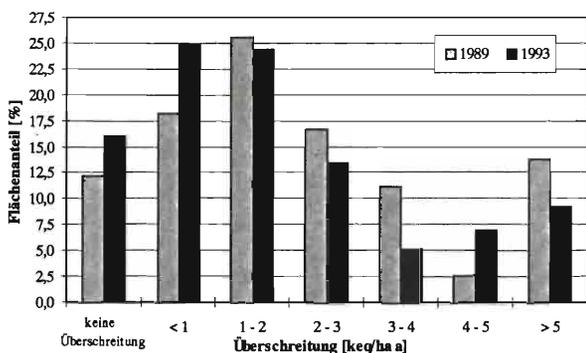
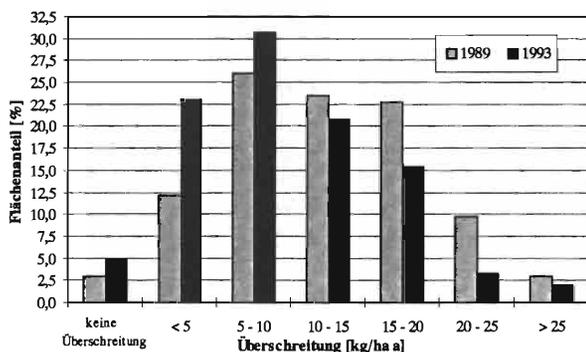


Abbildung 38:

**Eutrophierender Stickstoff – Flächenanteil der Critical Loads Überschreitungsklassen in Waldgebieten, 1989 und 1993**



Insgesamt zeigen die Depositionsmessungen und -modelle, daß auch weiterhin zuviel Schadstoffe aus nationalen Quellen, aber auch aus grenzüberschreitenden Schadstoffströmen in die Waldökosysteme eingetragen werden.

**5.1.5 Schwerpunkte für künftige Maßnahmen**

Zur Reduzierung der Luftschadstoffe sind in den vergangenen Jahren zahlreiche nationale und internationale Regelungen getroffen worden, die alle wesentlichen Emissionsbereiche erfassen. Die positiven Auswirkungen dieser Luftreinhaltemaßnahmen werden im weiteren Verlauf der 90er Jahre in den alten Ländern noch deutlicher werden und in den neuen Ländern verstärkt zur Geltung kommen (vgl. Tabelle 4 S. 129). Zur Umsetzung der ergriffenen Maßnahmen sind jedoch in den kommenden Jahren weitere erhebliche Anstrengungen bei allen Emittenten-

gruppen erforderlich. Auch in Zukunft kommt es darauf an, in Anwendung des Vorsorgeprinzips kontinuierlich neue naturwissenschaftlich-technische Erkenntnisse und Entwicklungen zu verfolgen und den aktuellen „Stand der Technik“ in der Praxis zügig umzusetzen. Dabei ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu beachten. Zunehmend werden dabei Instrumente im Vordergrund stehen, die anstelle ordnungsrechtlicher Gebote verstärkt ökonomisch wirkende Instrumente für eine Verbesserung der Luftqualität mobilisieren, die geeignet sind, bei den Verursachern von Umweltbelastungen das Eigeninteresse an der Vermeidung oder Verminderung solcher Belastungen bei geringeren gesamtwirtschaftlichen Kosten über den Rahmen der Gefahrenabwehr hinaus zu stärken.

Die Schwerpunkte für künftige Maßnahmen zur Luftreinhaltung sind:

1. Weitere Verringerung der Schadstoffemissionen aus Energieerzeugungs- und Industrieanlagen in den neuen Ländern.
2. Weitere Verringerung der verkehrsbedingten Umweltbelastungen, v.a. NO<sub>x</sub> und VOC. Wichtige Maßnahmen hierzu sind:
  - Prüfung von Maßnahmen zur Verbesserung der Dauerwirksamkeit von Abgasreinigungssystemen,
  - schrittweise Verringerung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauches neu zugelassener Pkw bis zum Jahr 2005, spätestens bis zum Jahr 2010 auf 5 Liter/100 km, um dem EU-Umweltratsbeschuß vom 25. Juni 1996 Rechnung zu tragen. Die deutsche Automobilindustrie hat sich freiwillig verpflichtet, dieses Ziel bis zum Jahre 2005 zu erreichen,
  - ein RL-Vorschlag der EG-Kommission für eine 3. und 4. Stufe der Pkw-Abgasvorschriften befindet sich mit weiteren, deutlichen Verschärfungen der Anforderungen derzeit in der Beratung. Auf dem Umwelttrat am 19./20. Juni 1997 wurde einstimmig eine politische Einigung zum o.a. RL-Vorschlag beschlossen,
  - eine EU-weite Verringerung des Benzolgehalts in Ottokraftstoffen auf maximal 1,0 Vol. % ab dem Jahr 2000. In Deutschland liegt der Benzolgehalt z. Z. bei 1,9 Vol. %,
  - EU-weite Herabsetzung des Schwefelgehaltes in Otto- und Dieselmotorkraftstoffen auf 50 ppm. bis Anfang 2005,
  - Schaffung der notwendigen Voraussetzungen für eine stärkere Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsträger Schiene und Wasserstraße im Güter- und Personenverkehr, insbesondere durch
    - verstärkte verkehrs- und investitionspolitische Förderung der umweltverträglicheren Verkehrsträger,
    - Entwicklung der Bahn zu einem modernen, leistungsfähigen und – im Hinblick auf eine stärkere Verlagerung des Straßen- und Kurz-

streckenluftverkehrs auf die Schiene – attraktiven Verkehrsträger,

- Förderung des kombinierten Verkehrs,
- Einrichtung von Güterverkehrszentren zur Bündelung von Verkehrsströmen.

3. Weitere Verringerung der **landwirtschaftlichen Stickstoffemissionen**. Wichtige Maßnahmen hierzu sind:

- Umsetzung der Vorgaben der Düngeverordnung,
- Förderung umweltgerechter Produktionsverfahren im Rahmen der Maßnahmen nach der Verordnung (EWG) 2078/92 des Rates vom 30. Juni 1992 für umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren;

ein Schwerpunkt dieser flankierenden Maßnahmen ist die Förderung extensiver Produktionsverfahren im Ackerbau, bei der extensiven Grünlandnutzung, bei der Umwandlung von Ackerland in extensiv zu nutzendes Grünland sowie bei ökologischen Anbauverfahren,

- weitere Nutzung des technischen Fortschritts in der Tier- und Pflanzenproduktion wie z. B.
  - stärkere Anwendung vor allem kostengünstiger emissionssenkender Technologien wie optimierte Futterration, Phasenfütterung, einfache Abdeckung von Güllesilos und bodennahe Gülleausbringung,
  - Fortführung der Forschung zur weiteren Verbesserung der Nährstoffverwertung in der Tierhaltung und Senkung der Restnährstoffe in der Gülle sowie zur Entwicklung emissionsärmerer Technologien und Stallsysteme,
  - weitere Förderung der Erweiterung besonders umweltfreundlicher Tierhaltungsverfahren wie Extensivierung, ökologischer Landbau und Vertragsnaturschutz.

4. Fortführung der Arbeiten im Rahmen der UN/ECE-Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung. Anlässlich der Annahme des neuen SO<sub>2</sub>-Protokolls im Juni 1994 verabschiedeten die in Oslo versammelten Umweltminister eine Deklaration, in der die weitere Strategie zur gesamteuropäischen Luftreinhaltepolitik vorgezeichnet wird. Darin erklärten sie sich u. a. entschlossen, jedwede Anstrengung zu unternehmen, die Verhandlungen über einen zweiten Schritt zum NO<sub>x</sub>-Protokoll von 1988 zu beschleunigen, um die Emissionen von Stickstoffverbindungen, einschließlich Ammoniak und ggf. von flüchtigen organischen Verbindungen, u. a. im Hinblick auf deren Beitrag zur troposphärischen Ozonbildung, Versauerung und Eutrophierung, weiter zu verringern.

5. Weitere Wahrnehmung der bisherigen Rolle Deutschlands als treibende Kraft im Rahmen der EU beim internationalen Umweltschutz, auch

durch beispielhaftes nationales Wirken beim Schutz der natürlichen Umwelt.

Darüber hinaus trägt die Klimaschutzpolitik der Bundesregierung auch zur Verminderung der die Waldökosysteme belastenden Schadstoffe bei. Zentraler Bestandteil der Klimaschutzpolitik ist die Verringerung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, mit der gleichzeitig auch ein erheblicher Teil der Luftschadstoffe reduziert wird.

## 5.2 Flankierende forstliche Maßnahmen

Es ist oberstes Ziel der Forst- und Umweltpolitik der Bundesregierung, den Wald in seinem Bestand zu erhalten und seine vielfältigen Funktionen für die Gesellschaft sicherzustellen. Zentraler Bestandteil dieser Politik ist, daß die anhaltende Umweltbelastung auf ein für die Waldökosysteme verträgliches Maß zurückgeführt wird.

Meßergebnisse zeigen, daß die Belastung der Wälder mit Schadstoffen zum Teil noch weit über den als „kritisch“ bezeichneten Belastungswerten (Konzept der „Critical levels and critical loads“) liegt. Wälder, die durch chronische oder kurzzeitig hohe Schadstoffeinträge belastet sind, weisen eine höhere Anfälligkeit gegenüber natürlichen Störfaktoren auf. Durch den Eintrag von Luftschadstoffen werden die „klassischen“ Probleme des Waldschutzes (Insekten, Sturm, Wild usw.) erheblich verschärft.

Die Forstwirtschaft kann die Ursachen der Umweltbelastungen durch Luftschadstoffe nicht beheben. Ihr kommt vielmehr die Aufgabe zu, flankierend zu den Maßnahmen der Luftreinhaltung dazu beizutragen, die Widerstandsfähigkeit von Waldökosystemen zu verbessern und somit den Schadensverlauf zu mildern. Den Waldböden und der Bewahrung ihrer Fruchtbarkeit kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

### 5.2.1 Fördermittel für flankierende forstliche Maßnahmen

Bund und Länder unterstützen von „Neuartigen Waldschäden“ betroffene private und kommunale Forstbetriebe bereits seit 1984 bei Maßnahmen zur Stabilisierung immissionsgefährdeter Wälder. Hierfür wurden 1984 bis 1996 insgesamt rund 648,7 Mio. DM aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ aufgebracht (vgl. Tabelle 5). Für 1997 sind Ausgaben von 29,2 Mio. DM eingeplant. Der Bund beteiligt sich mit 60 %, die Länder mit 40 % an den förderungsfähigen Kosten. Gefördert werden Bodenschutzkalkungen sowie Vor- und Unterbau und die Wiederaufforstung geschädigter Bestände.

Darüber hinaus haben besonders betroffene Länder spezielle Förderprogramme außerhalb der Gemeinschaftsaufgabe geschaffen und für solche Programme zum Teil erhebliche Mittel bereitgestellt. Dies gilt z. B. für den ökologisch sehr sensiblen Alpenraum.

Tabelle 5:

**Die Förderung flankierender forstlicher Maßnahmen aufgrund „Neuartiger Waldschäden“  
im Privat- und Kommunalwald aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur  
und des Küstenschutzes“ durch Bund und Länder (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>
<b>Summe</b>	<b>256,6</b>	<b>209,1</b>	<b>183,0</b>	<b>648,7</b>

### 5.2.2 Steuerliche Erleichterungen

Waldbesitzer, die aufgrund „Neuartiger Waldschäden“ Zwangsnutzungen vornehmen müssen, können im Rahmen der Einkommensbesteuerung mit Entlastungen rechnen. Nach § 34 b Einkommensteuergesetz kann für Einkünfte aus Holznutzungen infolge höherer Gewalt (Kalamitätsnutzungen) ein ermäßigter Steuersatz für die Bemessung der Einkommensteuer in Anspruch genommen werden. In diese Kalamitätsnutzungen sind Zwangsnutzungen aufgrund „Neuartiger Waldschäden“ ausdrücklich einbezogen.

Die Höhe dieser steuerlichen Erleichterungen hängt unter anderem von der Größenordnung der Zwangsnutzungen ab. So verringert sich die Steuerschuld für Einkünfte im Rahmen von Kalamitätsnutzungen – je nach Höhe der Zwangsnutzung – auf bis zu ein Achtel des durchschnittlichen Steuersatzes.

Die Regelung nach § 34 b Einkommensteuergesetz kann besonders schwer betroffene Waldbesitzer erheblich entlasten. Die Höhe der tatsächlich erzielbaren Entlastung hängt wesentlich von der jeweiligen Einkommenssituation sowie den betrieblichen Verhältnissen ab.

### 5.2.3 Stabile Waldbestände durch Beachtung waldbaulicher Grundsätze

Angesichts der „Neuartigen Waldschäden“ ist bei der Bewirtschaftung der Wälder mehr denn je darauf zu achten, daß Belastungen für die Waldökosysteme und insbesondere für die Waldböden vermieden wer-

den. Folgenden waldbaulichen Grundsätzen kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu:

- **Stabile und artenreiche Mischbestände.** Die Forstwirtschaft ist bestrebt, ökologisch stabile und ertragreiche Bestände zu erhalten bzw. wiederzubegeben. Wo es möglich und sinnvoll ist, sollte Naturverjüngung bevorzugt werden. In vielen Fällen werden dadurch Verjüngungsverfahren erforderlich, die Zeiträume von 20, 30 und mehr Jahren beanspruchen. Dazu müssen die mikroklimatischen Bedingungen und Lichtverhältnisse durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen individuell gestaltet werden. Sofern gesät oder gepflanzt wird, sind standortgerechte Baumarten und geeignete Herkünfte zu verwenden.
- **Vermeidung großflächiger Kahlhiebe.** Großflächige Kahlhiebe sind möglichst zu vermeiden, denn sie verursachen drastische Veränderungen im Wasser-, Stoff- und Strahlungshaushalt und führen zu einer raschen Mineralisierung des Humuskörpers verbunden mit Stoffausträgen in das Grundwasser. Die dabei freigesetzten Nährstoffe können von der vorhandenen Vegetation nur zum Teil aufgenommen werden, der andere Teil wird ausgewaschen. Dieser Verlust an Nährstoffen kann mit einem erheblichen Versauerungsschub verbunden sein, der die Waldböden zusätzlich zu der durch den Eintrag von Luftschadstoffen verursachten Versauerung belastet.
- **Gezielte Bestandespflege.** Je vitaler der Einzelbaum ist, desto stabiler ist auch der Gesamtbestand bzw. dessen Widerstandskraft gegen Luftverunreinigungen. Zu den forstlichen Maßnahmen

gegen die Waldschäden zählt daher auch eine Bestandespflege, die mit früh einsetzenden, mehrfachen Pflegeeingriffen gut bekronte, stabile Bäume fördert.

- **Integrierter Pflanzenschutz.** Waldbestände werden in erster Linie durch vorbeugende Maßnahmen (Waldhygiene) vor Schaderregern geschützt. Die Forstwirtschaft arbeitet nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes. Dabei stehen Maßnahmen, wie z. B. Beseitigung von Borkenkäferbrutstätten und Einsatz von Lockstofffallen im Vordergrund.

Chemische Pflanzenschutzmittel werden nur angewandt, wenn ganze Waldbestände in ihrer Existenz bedroht und somit unvermeidbare ökologische Folgeschäden zu erwarten sind. Im Durchschnitt betrifft das jährlich nur ca. 1 % der Waldfläche.

- **Bestandes- und bodenschonende Techniken.** Die Auswahl der Maschinen und Arbeitsverfahren muß sich an den Standorts- und Bestandesverhältnissen orientieren. Dadurch werden die Struktur der Böden und damit ihre Eigenschaft als Pflanzenstandort erhalten und Schäden an den Bäumen vermieden.
- **Ökologisch verträgliche Wilddichten.** Ökologisch vertretbare Wilddichten sollen ein Aufwachsen der natürlichen Hauptbaumarten ermöglichen. Regional sehr unterschiedlich werden Verjüngungsmaßnahmen durch zu hohe Schalenwildbestände gefährdet. Die Anlage von Schutzzäunen kann zur akuten, aber nicht zur dauerhaften Entschärfung des Problems beitragen. Insofern muß auf eine situationsbezogene Abschlußplanung in Verbindung mit einer gewissenhaften Abschlußerfüllung größter Wert gelegt werden. Eine Erweiterung des Äsungsangebots durch waldbauliche Maßnahmen bei gleichzeitiger konsequenter Bejagung kann langfristig wesentlich zur Entschärfung des Problems beitragen.

#### 5.2.4 Schutz der Waldböden

Die Waldböden sind ein wesentlicher Teil der Waldökosysteme und haben große Bedeutung für die Wasserversorgung. Sie sind durch den hohen Eintrag von Schadstoffen und deren Anreicherung im Boden gefährdet (vgl. Abschnitte 5.1.4 und 3.4).

Bund und Länder haben auf diese Feststellung reagiert:

- Die Länder haben eine **Bodenzustandserhebung im Wald** durchgeführt, um den Zustand der Waldböden unter Immissionseinflüssen zu ermitteln und die zukünftige Entwicklung beurteilen zu können. Die vom Bund für Deutschland ausgewertete Erhebung hat zuverlässige Angaben über die vom Forschungsbeirat „Waldschäden/Luftverunreinigungen“ befürchtete großflächige Versauerung der Waldböden in Deutschland erbracht (s. Kap. 3.4).
- Zur Abpufferung der anhaltenden Säureinträge werden auf großen Waldflächen **Bodenschutzkalkungen bzw. Kompensationsdüngungen** durchge-

führt. Ihnen kommt bei der Stärkung der Widerstandskraft und der Stabilisierung der Waldökosysteme eine besondere Bedeutung zu.

Eine Kalkung ist jedoch nicht auf allen Standorten sinnvoll und sollte daher grundsätzlich nur nach gründlicher Prüfung der Voraussetzungen und eventueller Nebenwirkungen (z. B. Nitrateintrag in das Grundwasser) vorgenommen werden.

- Zur Verbesserung der Kenntnisse wurden die **Forschungsbemühungen** auf diesem Gebiet intensiviert (vgl. Abschnitt 3.7).

Insgesamt wurden von 1984 bis 1996 rund 2,3 Mio. ha Wald gekalkt bzw. gedüngt, das entspricht rund 22 % der Waldfläche Deutschlands (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6:

#### Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung zur Stabilisierung von Waldökosystemen gegen atmogene Säureinträge

Jahr	Bodenschutzkalkung und Kompensationsdüngung [in 1 000 ha]		
	im Privat- und im Kommunalwald	im Staatswald	Gesamt
1984–1990	410 <sup>a</sup>	846 <sup>b</sup>	1 256
1991	70	139	209
1992	71	100	171
1993	95	68	163
1994	89	81	170
1995	72	79	151
1996	77	79	156
<b>1984–1996</b>	<b>884</b>	<b>1 392</b>	<b>2 276</b>

<sup>a</sup> = Nur Privat- und Kommunalwald der alten Länder;

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

Bund und Länder fördern **im Privat- und im Kommunalwald** seit 1984 die Kalkung und die gezielte forstliche Düngung zur Stabilisierung der Waldökosysteme. Diese Maßnahmen werden aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ mit bis zu 90 % der förderungsfähigen Kosten unterstützt (vgl. Abschnitt 5.2.1). Als Ergebnis dieser Förderung wurden von 1984 bis 1996 im Privat- und Kommunalwald insgesamt rund 884 000 ha gekalkt bzw. gedüngt (vgl. Tabelle 6):

- In den alten Ländern erhielten private und kommunale Waldbesitzer im Zeitraum von 1984 bis 1990 rund 134 Mio. DM zur Durchführung dieser Maßnahmen auf rund 410 000 ha.
- In der ehemaligen DDR wurden Privat- und Kommunalwälder nahezu ausschließlich durch die staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe bewirtschaftet und wie Staatswald behandelt. Die in diesen

Waldbesitzarten gekalkten bzw. gegen Immissionseinflüsse gedüngten Flächen sind daher bei den Angaben zum Staatswald der ehemaligen DDR enthalten. Seit 1991 können Privat- und Kommunalwald in den neuen Ländern ebenfalls im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe gefördert werden.

- In den Jahren 1991 bis 1996 wurden diese Maßnahmen in alten und neuen Ländern auf einer Fläche von rund 474 000 ha mit insgesamt 121,7 Mio. DM gefördert.

Auch in den Staatswäldern der alten wie der neuen Länder wird die Bodenschutzkalkung bzw. Kompensationsdüngung auf großer Fläche durchgeführt:

- In den Staatswäldern des früheren Bundesgebietes sowie der DDR wurden von 1984 bis 1990 insgesamt rund 846 000 ha gekalkt bzw. gedüngt:
  - In den alten Ländern wurden von 1984 bis 1990 ca. 484 000 ha Staatswald gekalkt bzw. gedüngt.
  - In der DDR waren es im gleichen Zeitraum ca. 362 000 ha (einschließlich Privat- und Kommunalwald).
- 1991 bis 1996 wurde diese Maßnahme im Staatswald der alten und neuen Länder auf ca. 546 000 ha (ca. 15 % aller Staatswaldflächen) durchgeführt.

### 5.2.5 Erhaltung forstlicher Genressourcen

Die Anpassungsfähigkeit von Pflanzen und Tieren sichert ihr Überleben unter sich verändernden Umweltbedingungen. Bei Waldbäumen wird diese Anpassungsfähigkeit durch eine besonders hohe genetische Mannigfaltigkeit gesichert. Diese ist wegen der Ortsgebundenheit und des sehr langsamen Generationswechsels der Bäume erforderlich. Die genetische Vielfalt und ihre Erhaltung ist um so wichtiger, je mehr Bäume durch Immissionen und Klimaänderungen belastet werden.

Eine bereits 1985 gegründete Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Erhaltung Forstlicher Genressourcen“ koordiniert die für die Erhaltung der genetischen Vielfalt der Baumarten erforderlichen Maßnahmen:

- Sicherung von Genressourcen am Ort ihres Vorkommens (*in situ*)
  - im Rahmen einer naturnahen Waldwirtschaft,
  - als spezielle Erhaltungsbestände (auf ca. 5 323 ha) und Einzelbäume (26 305 Stück),
- Erhaltung von Genressourcen an anderen Orten (*ex situ*)
  - durch Verlagerung in weniger belastete Gebiete (ca. 2 368 ha *Ex-situ*-Bestände),
  - in Samenplantagen (ca. 16 046 Muster auf ca. 810 ha) und Klonarchiven (ca. 11 238 Muster),
  - in Genbanken als Saatgut (11 346 Muster), Pollen (6 527 Muster) und Gewebekulturen (327 Muster).

Bei der Zulassung von Saatgutertebeständen und der Erzeugung von forstlichem Vermehrungsgut wird auch die genetische Vielfalt berücksichtigt. Die Forstpflanzenzüchtung bezieht u. a. auch relativ immissionstolerantes Material in ihre Arbeiten ein. Eine hohe genetische Vielfalt im Vermehrungsgut verbessert die Chancen, daß Bestände auch unter besonderen Belastungen überleben können.

Die europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der forstlichen Generhaltung wurde in den letzten Jahren intensiviert.

### 5.3 Waldschadensforschung/Waldökosystemforschung und -monitoring

Im Rahmen des Aktionsprogrammes „Rettet den Wald“ haben Bund, Länder und andere Forschungsträger in der Bundesrepublik Deutschland seit 1982 etwa 850 Forschungsvorhaben mit insgesamt 465 Mio. DM gefördert. Die Bundesregierung hat davon 330 Vorhaben mit insgesamt 313 Mio. DM unterstützt. Darüber hinaus haben Bundes- und Landesforschungseinrichtungen, Landesanstalten für Umweltschutz, Großforschungseinrichtungen und Hochschulen im Rahmen ihrer finanziellen Möglichkeiten Projekte für die Waldschadensforschung finanziert.

Anfang der 80er Jahre standen v. a. Einzelhypothesen über die Ursachen der „Neuartigen Waldschäden“ im Mittelpunkt. Es wurde jedoch sehr bald klar, daß die als „Neuartig“ bezeichneten Waldschäden von einem Ursachenkomplex verursacht werden. Dieser setzt sich aus zahlreichen anthropogenen und natürlichen Einflußgrößen, die mit unterschiedlichem Gewicht die Ausprägung der Schadenssymptome verursachen, zusammen.

Im Verlauf von über 10 Jahren Waldschadensforschung hat sich gezeigt, daß die sehr vielfältigen und komplexen Zusammenhänge der die Waldgesundheit beeinflussenden Faktoren umfassende, d. h. ökosystemare und auf Langzeitbeobachtungen ausgelegte Forschungsansätze erfordern (vgl. Abschnitt 3.7). Ökosystemare Ansätze gewinnen deshalb in der Forschungsförderung zunehmend an Gewicht. Daher wird die Waldökosystemforschung jährlich mit 19 Mio. DM gefördert.

Daher wurde zusätzlich zur Waldschadensforschung die Waldökosystemforschung 1989 aufgenommen. Seit 1995 ist sie weitgehend an die Stelle der Waldschadensforschung getreten. Sie wird seither intensiv gefördert; im Jahre 1997 beträgt diese Förderung 16,2 Mio. DM.

Bereits Ende der sechziger Jahre richteten die Länder Dauerbeobachtungsflächen zum Waldschadensmonitoring ein. Die Flächen dienen der Analyse von Veränderungen der Umweltbedingungen (z. B. Schadstoffeintrag) und deren Auswirkungen auf Waldökosysteme, der Ursachenerkennung der „Neuartigen Waldschäden“ sowie der Ableitung von Empfehlungen an Politik und forstliche Praxis. Deutschland brachte 89 dieser Flächen in das intensive Waldschadensmonitoringprogramm der EU ein und stellt

damit 20 % aller in der EU eingerichteten Dauerbeobachtungsflächen (vgl. Kap. 4).

Die auf diesen Flächen gewonnen Erkenntnisse werden außerdem die Erarbeitung von Grenzwerten langanhaltender Schadstoffbelastungen (sog. Critical

Loads Concept) und den Vergleich der gemessenen Daten mit dem Ist-Zustand ermöglichen. Darüber hinaus wird der Vergleich der kontinuierlich erfaßten Veränderungen der wichtigsten deutschen Waldökosysteme mit denen unserer Nachbarländer erleichtert.

## 6. Anhang

<b>6.1 Verzeichnis der im Anhang enthaltenen Tabellen</b>		Seite
<b>Tabelle 1:</b>	<b>Waldschäden nach Ländern von 1984 bis 1997</b>	
	a) Anteil der Waldfläche ohne Schadmerkmale .....	103
	b) Anteil der Waldfläche mit schwachen Schäden .....	104
	c) Anteil der Waldfläche mit deutlichen Schäden .....	105
<b>Tabelle 2:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden 1997 im Vergleich zum Vorjahr</b>	
	a) Nadelbäume .....	106
	b) Laubbäume .....	106
<b>Tabelle 3:</b>	<b>Waldschäden nach Bundesländern und Baumarten .....</b>	107
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen</b>	
	a) Fichte .....	107
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen</b>	
	b) Kiefer .....	108
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen</b>	
	c) Buche .....	108
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen</b>	
	d) Eiche .....	109
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen</b>	
	e) alle Baumarten .....	109
<b>Tabelle 5:</b>	<b>Entwicklung der Vergilbungen nach Baumarten in den Jahren von 1986 bis 1997 .....</b>	110
<b>Tabelle 6:</b>	<b>Entwicklung der Waldschäden bei Tanne in den Jahren von 1984 bis 1997 .....</b>	111
<b>Tabelle 7:</b>	<b>Insekten- und Pilzbefall 1997 .....</b>	111
<b>Tabelle 8:</b>	<b>Datenlieferung zu länderübergreifenden Wuchsgebieten ....</b>	112
<b>Tabelle 9:</b>	<b>Waldschäden nach Wuchsgebieten und Schadstufen 1997 ...</b>	113
<b>Tabelle 10:</b>	<b>Entwicklung der deutlichen Schäden in den Wuchsgebieten von 1986 bis 1997 .....</b>	115
<b>Tabelle 11:</b>	<b>Waldschäden nach Wuchsgebieten und Hauptbaumarten 1997 .....</b>	117
<b>Tabelle 12:</b>	<b>Netzdichten, Stichprobenpunkte und Stichprobenbäume 1997 .....</b>	119

<b>6.2 Stellungnahme zur Erhebung des Waldzustandes und Empfehlung zur Weiterentwicklung des Verfahrens</b>	Seite
<b>Zusammenfassung</b> .....	122
<b>1. Einführung</b> .....	122
<b>2. Konzept einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern</b> .....	123
2.1 Gesamtkonzept .....	123
2.2 Ebenen der Informationsgewinnung .....	124
2.2.1 Waldschadenserhebung – WSE .....	124
2.2.2 Dauerbeobachtungsflächen des „Intensiven Monitorings“ .....	125
2.2.3 Waldökosystemforschung (Fallstudien und Hauptmeßstationen im Forschungsnetz) .....	125
2.2.4 Übersicht .....	126
2.3 Auswertung, Integration und Berichterstattung der Ergebnisse .....	127
<b>3. Statistische Grundlagen der Kronenzustandserhebung</b> .....	128
<b>4. Das Merkmal Kronenverlichtung</b> .....	129
4.1 Begriff und Bewertung .....	129
4.1.1 Begriff .....	129
4.1.2 Referenzbaum (Vergleich mit potentiell maximaler Belau- bungsdichte) .....	129
4.1.3 Bewertung des Merkmals Kronenverlichtung .....	129
4.2 Schadensbegriff .....	131
4.3 Klassifikation des Kronenzustandes .....	132
<b>5. Weiterentwicklung der Kronenzustandserhebung</b> .....	134
5.1 Intensivierung und Erweiterung zu berücksichtigender Merkmale ..	134
5.1.1 Übersicht .....	134
5.1.2 Merkmale im einzelnen .....	137
5.1.2.1 Standort .....	137
5.1.2.2 Bestand (Bezug: Stichprobenpunkt) .....	138
5.1.2.3 Waldwachstum .....	138
5.1.2.4 Weitere Daten zum Kronenzustand .....	139
5.1.2.5 Biotische Schadeinflüsse .....	139
5.1.2.6 Wurzelzustand .....	139
5.1.2.7 CIR-Luftbild, Satellitendaten .....	140
<b>6. Literaturverweise</b> .....	140
<b>7. Zusammenfassung der Empfehlungen der Expertengruppe Waldzu- standserfassung</b> .....	142

Tabelle 1:

**Waldschäden nach Ländern von 1984 bis 1997**

## a) Anteil der Waldfläche ohne Schadmerkmale

Land	Anteil Waldfläche ohne sichtbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) [in %]													
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Bremen	·	48	16	20	40	43	58	48	59	59	55	61	58	<b>68</b>
Hamburg	44	23	20	34	48	49	48	46	48	55	52	49	50	<b>50</b>
Niedersachsen	64	64	63	67	58	57	46	56	48	49	42	48	48	<b>48</b>
Nordrhein-Westfalen	58	63	59	55	61	61	58	58	50	50	49	49	·	<b>42</b>
Schleswig-Holstein	73	66	61	50	52	52	54	53	60	57	50	51	43	<b>51</b>
<b>Nordwestdeutsche Länder</b>	<b>62</b>	<b>64</b>	<b>61</b>	<b>60</b>	<b>51</b>	<b>58</b>	<b>52</b>	<b>57</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>46</b>	<b>48</b>	·	<b>46</b>
Berlin	48	24	21	28	29	34	47*	23*	35	31	32	32	37	<b>28</b>
Brandenburg	·	·	·	·	·	·	41 <sup>1)</sup>	29	30	44	42	47	48	<b>49</b>
Mecklenburg-Vorpommern	·	·	·	·	·	·	42 <sup>1)</sup>	19	11	13	41	45	56	<b>50</b>
Sachsen	·	·	·	·	·	·	51 <sup>1)</sup>	37	39	41	40	46	52	<b>44</b>
Sachsen-Anhalt	·	·	·	·	·	·	24 <sup>1)</sup>	28	31	29	35	40	57	<b>60</b>
Thüringen	·	·	·	·	·	·	34 <sup>1)</sup>	19	16	17	22	24	27	<b>24</b>
<b>Ostdeutsche Länder</b>	·	·	·	·	·	·	<b>34<sup>1)</sup></b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	<b>45</b>
Baden-Württemberg	34	34	35	40	41	40	37 <sup>1)</sup>	39	26 <sup>1)</sup>	23 <sup>1)</sup>	35	29 <sup>1)</sup>	25 <sup>1)</sup>	<b>40</b>
Bayern	42	39	36	38	43	41	·	27	23	36	31	38	47	<b>42</b>
Hessen	58	54	52	52	45	46	40 <sup>1)</sup>	29	31	29	25	28	26	<b>24</b>
Rheinland-Pfalz	58	53	54	54	50	50	50 <sup>1)</sup>	47	46	46	39	39	36	<b>38</b>
Saarland	69	62	58	46	48	56	·	56	55	51	53	52	47	<b>44</b>
<b>Süddeutsche Länder</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>43</b>	·	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>38</b>

· = Keine Angaben

\* = Ende der Zeitreihe in (West-) Berlin, Beginn einer neuen Zeitreihe (Gesamt-) Berlin

<sup>1)</sup> Ergebnisse aufgrund einer Erhebung im 16 × 16 km-Raster

Tabelle 1:

**Waldschäden nach Ländern von 1984 bis 1997**

## b) Anteil der Waldfläche mit schwachen Schäden

Land	Anteil Waldfläche mit schwachen Schäden (Schadstufe 1) [in %]													
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Bremen	·	31	42	55	47	37	37	39	31	28	30	27	29	<b>24</b>
Hamburg	45	51	50	42	37	37	36	37	35	31	33	36	35	<b>34</b>
Niedersachsen	27	26	26	25	32	30	37	34	39	35	41	35	37	<b>37</b>
Nordrhein-Westfalen	31	27	30	29	29	29	29	31	34	34	36	37	·	<b>38</b>
Schleswig-Holstein	15	24	26	27	30	30	31	32	27	27	32	29	30	<b>29</b>
<b>Nordwestdeutsche Länder</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	<b>36</b>	·	<b>37</b>
Berlin	44	6	52	50	46	43	40*	48*	51	44	47	50	50	<b>52</b>
Brandenburg	·	·	·	·	·	·	35 <sup>1)</sup>	38	45	39	40	39	41	<b>41</b>
Mecklenburg-Vorpommern	·	·	·	·	·	·	18 <sup>1)</sup>	32	46	57	48	45	38	<b>40</b>
Sachsen	·	·	·	·	·	·	24 <sup>1)</sup>	36	40	35	35	37	30	<b>37</b>
Sachsen-Anhalt	·	·	·	·	·	·	24 <sup>1)</sup>	38	37	38	47	39	29	<b>26</b>
Thüringen	·	·	·	·	·	·	32 <sup>1)</sup>	31	30	33	33	37	36	<b>38</b>
<b>Ostdeutsche Länder</b>	·	·	·	·	·	·	<b>30<sup>1)</sup></b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>36</b>	<b>38</b>
Baden-Württemberg	42	39	42	39	42	40	44 <sup>1)</sup>	44	50 <sup>1)</sup>	46 <sup>1)</sup>	39	44 <sup>1)</sup>	40 <sup>1)</sup>	<b>41</b>
Bayern	32	33	38	41	39	41	·	43	45	42	39	39	37	<b>39</b>
Hessen	33	34	29	29	38	37	41 <sup>1)</sup>	42	36	36	37	32	39	<b>43</b>
Rheinland-Pfalz	34	38	38	37	40	40	40 <sup>1)</sup>	41	41	40	40	42	42	<b>38</b>
Saarland	24	28	31	37	33	29	·	27	27	28	29	25	32	<b>37</b>
<b>Süddeutsche Länder</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	·	<b>42</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>40</b>

· = Keine Angaben

\* = Ende der Zeitreihe in (West-) Berlin, Beginn einer neuen Zeitreihe (Gesamt-) Berlin

<sup>1)</sup> Ergebnisse aufgrund einer Erhebung im 16 × 16 km-Raster

Tabelle 1:

**Waldschäden nach Ländern von 1984 bis 1997**

## c) Anteil der Waldfläche mit deutlichen Schäden

Land	Anteil Waldfläche mit deutlichen Schäden (Schadstufe 2–4) [in %]													
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Hamburg	11	26	30	24	15	14	16	17	17	14	15	15	15	16
Niedersachsen	9	10	11	8	10	13	17	10	13	16	17	17	15	15
Nordrhein-Westfalen	11	10	11	16	10	10	13	11	16	16	15	14	·	20
Schleswig-Holstein	12	10	13	23	18	18	15	15	13	16	18	20	27	20
<b>Nordwestdeutsche Länder</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	·	<b>17</b>
Berlin	8	14	28	22	25	23	13*	29*	14	25	21	18	13	20
Brandenburg	·	·	·	·	·	·	24 <sup>1)</sup>	33	25	17	18	14	11	10
Mecklenburg-Vorpommern	·	·	·	·	·	·	40 <sup>1)</sup>	49	43	30	11	10	6	10
Sachsen	·	·	·	·	·	·	25 <sup>1)</sup>	27	21	24	25	17	18	19
Sachsen-Anhalt	·	·	·	·	·	·	52 <sup>1)</sup>	34	32	33	18	21	14	14
Thüringen	·	·	·	·	·	·	34 <sup>1)</sup>	50	54	50	45	39	37	38
<b>Ostdeutsche Länder</b>	·	·	·	·	·	·	<b>36<sup>1)</sup></b>	<b>38</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>17</b>
Baden-Württemberg	24	27	23	21	17	20	19 <sup>1)</sup>	17	24 <sup>1)</sup>	31 <sup>1)</sup>	26	27 <sup>1)</sup>	35 <sup>1)</sup>	19
Bayern	26	28	26	21	18	18	·	30	32	22	30	23	16	19
Hessen	9	12	19	19	17	17	19 <sup>1)</sup>	29	33	35	38	40	35	33
Rheinland-Pfalz	8	9	8	9	10	10	10 <sup>1)</sup>	12	13	14	21	19	22	24
Saarland	7	10	11	17	19	15	·	17	18	21	18	23	21	19
<b>Süddeutsche Länder</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	·	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>22</b>

· = Keine Angaben

\* = Ende der Zeitreihe in (West-) Berlin, Beginn einer neuen Zeitreihe (Gesamt-) Berlin

<sup>1)</sup> Ergebnisse aufgrund einer Erhebung im 16 × 16 km-Raster

Tabelle 2:

## Entwicklung der Waldschäden 1997 im Vergleich zum Vorjahr

## a) Nadelbäume

Baumart	Ländergruppe	Anteil der Schadstufen [in %]								
		0 ohne Schadmerkmale			1 schwache Schäden			2-4 deutliche Schäden		
		1996	1997	Veränd.	1996	1997	Veränd.	1996	1997	Veränd.
<b>Fichte</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	55	.	.	31	.	.	14	.
	Ostdeutsche Länder	50	43	-7	28	31	+3	22	26	+4
	Süddeutsche Länder	47	46	-1	34	36	+2	19	18	-1
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>-2</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>+2</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>± 0</b>
<b>Kiefer</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	49	.	.	43	.	.	8	.
	Ostdeutsche Länder	51	50	-1	38	40	+2	11	10	-1
	Süddeutsche Länder	32	35	+3	49	49	± 0	19	16	-3
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>+1</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>± 0</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>-1</b>
<b>sonstige Nadel- bäume*)</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	70	.	.	24	.	.	6	.
	Ostdeutsche Länder	60	58	-2	30	32	+2	10	10	± 0
	Süddeutsche Länder	34	43	+9	37	37	± 0	29	20	-9
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>48</b>	<b>51</b>	<b>+3</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>± 0</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>-3</b>
<b>Nadel- bäume gesamt</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	54	.	.	35	.	.	11	.
	Ostdeutsche Länder	51	48	-3	35	37	+2	14	15	+1
	Süddeutsche Länder	42	42	± 0	38	40	+2	20	18	-2
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>-2</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>+2</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>± 0</b>

\*) = z. B. Lärche, Douglasie, Tanne

. = keine Ergebnisse verfügbar

1996: NW wurde mittels Korrekturwert berücksichtigt

Tabelle 2:

## Entwicklung der Waldschäden 1997 im Vergleich zum Vorjahr

## b) Laubbäume

Baumart	Ländergruppe	Anteil der Schadstufen [in %]								
		0 ohne Schadmerkmale			1 schwache Schäden			2-4 deutliche Schäden		
		1996	1997	Veränd.	1996	1997	Veränd.	1996	1997	Veränd.
<b>Buche</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	27	.	.	46	.	.	27	.
	Ostdeutsche Länder	29	31	+2	41	40	-1	30	29	-1
	Süddeutsche Länder	20	24	+4	45	45	± 0	35	31	-4
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>+1</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>+2</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>-3</b>
<b>Eiche</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	22	.	.	34	.	.	44	.
	Ostdeutsche Länder	22	24	+2	31	36	+5	47	40	-7
	Süddeutsche Länder	11	15	+4	36	36	± 0	52	49	-3
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>± 0</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>+2</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>-2</b>
<b>sonstige Laub- bäume*)</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	47	.	.	38	.	.	15	.
	Ostdeutsche Länder	49	46	-3	37	38	-1	14	16	+2
	Süddeutsche Länder	57	54	-3	30	33	+3	13	13	± 0
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>55</b>	<b>50</b>	<b>-5</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>+3</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>+2</b>
<b>Laub- bäume gesamt</b>	Nordwestdeutsche Länder	.	32	.	.	40	.	.	28	.
	Ostdeutsche Länder	37	37	± 0	37	38	+1	26	25	-1
	Süddeutsche Länder	27	29	+2	39	40	+1	34	31	-3
	<b>Deutschland, gesamt</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>-1</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>+2</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>-1</b>

\*) = z. B. Ahorn, Linde, Roteiche, Pappel

. = keine Ergebnisse verfügbar

1996: NW wurde mittels Korrekturwert berücksichtigt

Tabelle 3:

## Waldschäden nach Bundesländern und Baumarten

Land	Anteil der Schadstufen 2–4 [in %]								alle Baumarten
	Nadelbäume				Laubbäume				
	Fichte	Kiefer	sonst. Nadelbäume <sup>1)</sup>	Nadelbäume gesamt	Buche	Eiche	sonst. Laubbäume <sup>2)</sup>	Laubbäume gesamt	
Bremen	23	2	1	5	1	17	10	10	8
Hamburg	17	19	4	17	12	13	17	14	16
Niedersachsen	14	7	3	8	32	45	9	28	15
Nordrhein-Westfalen	14	14	9	13	20	47	20	28	20
Schleswig-Holstein	22	5	8	14	40	24	14	24	20
<b>Nordwestdt. Länder</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>27</b>	<b>44</b>	<b>15</b>	<b>28</b>	<b>17</b>
Berlin	.	17	1	16	6	28	31	27	20
Brandenburg	.	10	4	9	19	18	8	12	10
Mecklb.-Vorpommern	6	7	1	7	16	27	11	15	10
Sachsen	25	10	10	18	12	47	15	22	19
Sachsen-Anhalt	14	4	.	6	31	50	17	31	14
Thüringen	34	38	44	36	41	61	38	44	38
<b>Ostdt. Länder</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>29</b>	<b>40</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>17</b>
Baden-Württemberg	15	23	24	18	20	40	11	21	19
Bayern	19	13	.	17	28	48	.	26	19
Hessen	23	32	14	25	40	58	19	43	33
Rheinland-Pfalz	14	7	10	11	35	54	17	38	24
Saarland	9	18	12	11	33	20	15	24	19
<b>Süddt. Länder</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>31</b>	<b>49</b>	<b>13</b>	<b>31</b>	<b>22</b>
<b>Deutschland<sup>3)</sup></b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>29</b>	<b>46</b>	<b>14</b>	<b>29</b>	<b>20</b>

. = keine Angaben

<sup>1)</sup> z. B. Lärche, Douglasie, Tanne

<sup>2)</sup> z. B. Ahorn, Linde, Roteiche, Pappel

<sup>3)</sup> NW wurde mittels eines Korrekturwertes berücksichtigt

Tabelle 4:

## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen

a) Fichte

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]								
	unter 60jährig			über 60jährig			Gesamt		
	0	1	2–4	0	1	2–4	0	1	2–4
1984	68	23	9	18	43	39	48	31	21
1985	67	22	11	16	39	45	48	28	24
1986	66	24	10	14	45	41	46	32	22
1987	71	22	7	20	46	34	51	32	17
1988	73	22	5	18	53	29	51	34	15
1989	76	20	4	18	53	29	53	33	14
1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1991	61	28	10	13	45	42	42	35	23
1992	.	.	11	10	46	44	.	.	24
1993	64	28	8	13	47	40	42	36	22
1994	65	26	9	13	45	42	42	34	24
1995	70	22	8	18	46	36	46	33	21
1996	70	23	7	22	44	34	49	33	18
<b>1997</b>	<b>71</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>17</b>	<b>49</b>	<b>34</b>	<b>47</b>	<b>35</b>	<b>18</b>

. = keine Angaben verfügbar; ab 1990 Beginn einer neuen Zeitreihe: Einbezug der neuen Länder

Tabelle 4:

## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen

## b) Kiefer

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]								
	unter 60jährig			über 60jährig			Gesamt		
	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4
1984	52	34	14	27	43	30	41	38	21
1985	57	32	11	26	50	24	43	40	17
1986	60	31	9	30	49	21	46	39	15
1987	65	28	7	33	48	19	50	38	12
1988	58	33	9	33	51	16	54	34	12
1989	61	33	6	30	53	17	46	43	11
1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1991	39	38	23	16	48	36	29	42	29
1992	38	43	19	19	52	29	29	47	24
1993	45	39	16	24	50	26	36	44	20
1994	46	40	14	22	52	26	34	46	20
1995	52	37	11	27	53	20	40	45	15
1996	54	38	8	33	49	18	44	43	13
<b>1997</b>	<b>57</b>	<b>36</b>	<b>7</b>	<b>33</b>	<b>51</b>	<b>16</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>12</b>

Tabelle 4:

## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen

## c) Buche

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]								
	unter 60jährig			über 60jährig			Gesamt		
	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4
1984	64	30	6	43	43	14	49	39	12
1985	63	30	7	37	45	18	46	40	14
1986	61	30	9	29	47	24	40	41	19
1987	58	33	9	22	50	28	34	44	22
1988	60	32	8	24	54	22	36	47	17
1989	59	36	5	22	48	30	34	44	22
1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1991	50	38	12	18	47	35	28	44	28
1992	40	40	20	9	44	47	19	43	38
1993	45	41	14	12	49	39	22	46	32
1994	53	37	10	13	46	41	25	43	32
1995	48	37	15	10	44	46	21	42	37
1996	51	35	14	12	46	42	25	43	32
<b>1997</b>	<b>56</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>45</b>	<b>29</b>

. = keine Angaben verfügbar; ab 1990 Beginn einer neuen Zeitreihe: Einbezug der neuen Länder

Tabelle 4:

## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen

d) Eiche

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]								
	unter 60jährig			über 60jährig			Gesamt		
	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4
1984	74	22	4	49	40	11	56	35	9
1985	66	26	8	35	45	20	45	39	16
1986	65	27	8	28	47	25	39	41	20
1987	58	31	11	26	48	26	35	43	22
1988	52	37	11	21	49	30	45	31	24
1989	57	33	10	18	50	32	30	44	26
1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1991	52	29	19	18	45	37	29	40	31
1992	45	33	22	12	51	37	23	45	32
1993	40	36	24	9	37	54	19	36	45
1994	38	37	25	8	39	53	17	38	45
1995	42	41	17	12	45	43	21	44	35
1996	37	34	29	7	33	60	18	34	48
<b>1997</b>	<b>41</b>	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>9</b>	<b>36</b>	<b>55</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>46</b>

Tabelle 4:

## Entwicklung der Waldschäden von 1984 bis 1997 nach Altersgruppen

e) alle Baumarten

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]								
	unter 60jährig			über 60jährig			Gesamt		
	0	1	2-4	0	1	2-4	0	1	2-4
1984	65	26	9	31	42	27	50	33	17
1985	65	25	10	27	43	30	48	33	19
1986	65	26	9	24	45	31	46	35	19
1987	<b>67</b>	<b>25</b>	8	<b>24</b>	<b>47</b>	29	<b>48</b>	<b>35</b>	17
1988	67	26	7	24	51	25	48	37	15
1989	68	26	6	22	50	28	47	37	16
1990	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1991	52	33	15	17	46	37	36	39	25
1992	.	.	16	.	.	39	.	.	27
1993	54	34	12	17	46	37	36	40	24
1994	55	33	12	16	46	38	36	39	25
1995	59	31	10	19	47	34	39	39	22
1996	<b>60</b>	<b>30</b>	10	<b>22</b>	<b>45</b>	33	<b>43</b>	<b>37</b>	20
<b>1997</b>	<b>62</b>	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>48</b>	<b>31</b>	<b>41</b>	<b>39</b>	<b>20</b>

= keine Angaben verfügbar; ab 1990 Beginn einer neuen Zeitreihe: Einbezug der neuen Länder

Tabelle 5:

Entwicklung der Vergilbungen nach Baumarten in den Jahren von 1986 bis 1997<sup>1)</sup>

	Anteil der Waldfläche <sup>2)</sup> mit Vergilbungen/Verfärbungen [in %]					
	Fichte	Kiefer	Tanne	Buche	Eiche	alle Baumarten
<b>bis 60jährig</b>						
1986 .....	6	2	8	7	3	5
1987 .....	4	2	5	5	5	4
1988 .....	3	4	9	9	3	4
1989 .....	5	2	15	6	2	4
1990 .....	*	*	*	*	*	*
1991 .....	6	6	13	4	3	5
1992 .....	6	8	1	4	4	7
1993 .....	7	2	14	9	7	5
1994 .....	4	5	12	3	7	5
1995 .....	3	5	20	2	2	4
1996 .....	6	4	0	10	4	5
<b>1997</b> .....	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>über 60jährig</b>						
1986 .....	9	2	16	10	2	7
1987 .....	8	2	10	6	1	5
1988 .....	7	3	14	9	3	6
1989 .....	9	2	17	8	3	6
1990 .....	*	*	*	*	*	*
1991 .....	9	6	14	6	4	7
1992 .....	7	8	21	12	5	9
1993 .....	7	2	33	14	6	8
1994 .....	7	6	17	6	6	6
1995 .....	3	3	27	3	3	4
1996 .....	5	5	14	8	4	6
<b>1997</b> .....	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Gesamt</b>						
1986 .....	7	2	13	9	2	6
1987 .....	5	2	8	5	2	4
1988 .....	5	3	12	9	3	5
1989 .....	7	2	17	7	2	5
1990 .....	*	*	*	*	*	*
1991 .....	7	6	13	6	4	6
1992 .....	6	8	14	9	5	8
1993 .....	7	2	26	12	6	6
1994 .....	5	5	15	5	6	5
1995 .....	3	4	25	5	3	4
1996 .....	6	4	10	8	4	5
<b>1997</b> .....	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

\* Beginn einer neuen Zeitreihe für das seit 1990 erweiterte Bundesgebiet

<sup>1)</sup> Angaben für 1993 ohne Bremen und Hamburg, 1996 ohne Nordrhein-Westfalen, 1997 ohne Schleswig-Holstein und Hamburg

<sup>2)</sup> Dabei sind die Probebäume berücksichtigt, bei denen mehr als 10 % der Nadel-/Blattmasse Verfärbungs- bzw. Vergilbungserscheinungen aufweisen.

Tabelle 6:

**Entwicklung der Waldschäden bei Tanne  
in den Jahren von 1984 bis 1997**

Jahr	Anteil der Schadstufen [in %]		
	0	1	2-4
1984	13	29	<b>58</b>
1985	13	21	<b>67</b>
1986	17	22	<b>61</b>
1987	21	27	<b>52</b>
1988	27	28	<b>45</b>
1989	27	29	<b>44</b>
1990	.	.	.
1991	24	35	<b>41</b>
1992	23	35	<b>42</b>
1993	15	34	<b>51</b>
1994	21	29	<b>50</b>
1995	19	32	<b>49</b>
1996	16	34	<b>50</b>
<b>1997</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>32</b>

. = keine Angaben verfügbar

Tabelle 7:

**Insekten- und Pilzbefall 1997**

Schadstufe	Anteil der Waldfläche [in %] mit mittlerem und starkem Schädlingsbefall *)				
	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Gesamt
0 (ohne Schadmerkmale) . . . . .	0,4	0,1	1,2	4,0	<b>0,6</b>
1 (schwach geschädigt) . . . . .	0,6	0,7	1,7	10,0	<b>2,1</b>
2 (mittelstark geschädigt) . . . . .	1,7	2,0	2,5	22,0	<b>6,6</b>
3 (stark geschädigt) . . . . .	5,5	15,1	1,3	36,3	<b>14,7</b>
<b>Schadstufen 0-3</b> . . . . .	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>1,7</b>	<b>15,0</b>	<b>2,5</b>

\*) d. h.: über 25 % der Nadel-/Blattmasse sind erkennbar von Schädlingen befallen ohne SH, HH  
Beispiel: 5,5 % der stark geschädigten Fichtenfläche (Schadstufe 3) hat mittleren oder starken Schädlingsbefall

Tabelle 8:

**Datenlieferung zu länderübergreifenden Wuchsgebieten**

Wuchsgebiet Nr.	Bezeichnung	betroffene Länder
11	Weserbergland	NW, NI, HE
14	Harz	NI, ST, TH
17	Bergisches Land	NW, RP
18	Sauerland	NW, RP
26	Westerwald	HE, RP
29	Rhön	BY, HE, TH
32	Hunsrück	RP, SL
33	Taunus	RP, HE
34	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	RP, SL
36	Rhein-Mainebene, Oberrheinisches Tiefland	BW, HE, RP
37	Odenwald	BW, HE
38	Spessart	BY, HE
39	Fränkische Platte	BY, TH
42	Oberfränkisches Triashügelland	BY, TH
47	Pfälzische-Saarländisches Muschelkalkgebiet	RP, SL
61	Ostmecklbg.-Nordbrandbg. Jungmor.	BB, MV
63	Altmärkisches Altmoränenland	BB, MV, ST
65	Mittelbrandenburger Jungmor. Land	BB, BE, ST
67	Fläming und Wittenbg. Altmor. Land	BB, ST
68	Niederlausitzer-Altmoräne	BB, ST, SN
70	Sächsisch-Anhaltinische/Leipziger Sandlößebene	SN, ST
71	Sächs. Thüring. Löß-Hügelland	SN, ST, TH
74	Thüringer Becken und Randlagen	TH, ST
77	Vogtland	TH, SN

Tabelle 9:

**Waldschäden nach Wuchsgebieten und Schadstufen 1997**

Wuchsgebiet	Wald- fläche <sup>1)</sup> [1000 ha]	Anteil der Schadstufen [in %]		
		0	1	2-4
<b>Nordwestdeutsche Wuchsgebiete</b>				
(1) Schleswig-Holstein Nordwest	18,4	59	29	12
(2) Schleswig-Holstein Südwest	30,2	55	24	21
(3) Schleswig-Holstein Ost	86,2	47	31	22
(4) Großraum Hamburg	4,3	50	34	16
(5) Niedersächsischer Küstenraum	45,2	40	37	23
(6) Mittel-Westniedersächsisches Tiefland	204,8	58	33	9
(7) Großraum Bremen	0,5	68	24	8
(9) Ostniedersächsisches Tiefland	369,6	53	39	8
(10) Westfälische Bucht	166,5	31	44	25
(11) Weserbergland	239,3	41	38	21
(12) Nordwestdeutsche Berglandschwelle	56,8	39	32	29
(13) Südniedersächsisches Bergland	92,0	36	40	24
(14) Harz	170,4	45	33	22
(15/16) Niederrheinisches Tiefl u. Niederrh. Bucht	100,6	37	45	18
(17) Bergisches Land	115,0	38	38	24
(18) Sauerland	304,0	42	36	22
<b>Süddeutsche Wuchsgebiete</b>				
(19) Nördliches hessisches Schiefergebirge	109,0	20	42	38
(20) Nordwesthessisches Bergland	92,0	21	40	39
(21) Nordosthessisches Bergland	137,4	20	48	32
(22) Nordeifel	80,4	52	31	17
(23) Westeifel	70,4	49	35	16
(24) Osteifel	80,5	41	38	21
(25/31) Mittelrheintal/Moseltal	48,3	23	47	30
(26) Westerwald	107,0	37	37	26
(27) Giessener Becken und Wetterau	26,6	41	29	30
(28) Vogelsberg u. östl. angr. Sandsteingebirge	99,4	34	37	29
(29) Rhön	112,7	28	44	28
(30) Gutland	34,2	54	31	15
(32) Hunsrück	162,2	46	30	24
(33) Taunus	132,6	16	45	39
(34) Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	69,4	35	24	41
(35) Saarländisch-Pfälzische Moorniederung	14,1	*	*	*
(36) Rhein-Mainebene, Oberrheinisches Tiefland	191,5	27	44	29
(37) Odenwald	123,3	30	47	23
(38) Spessart	175,3	29	48	23
(39) Fränkische Platte	79,4	36	33	31
(40) Fränkischer Keuper und Albvorland	304,3	41	45	15

\* Da das Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

<sup>1)</sup> Stand: 1991

Wuchsgebiet		Wald- fläche <sup>1)</sup> [1000 ha]	Anteil der Schadstufen [in %]		
			0	1	2–4
(41)	Oberpfälzer Jura, Frankenalb	345,0	44	39	17
(42)	Oberfränkisches Triashügelland	71,4	45	39	16
(43)	Frankenwald und Fichtelgebirge	147,5	45	38	18
(44)	Oberpfälzer Becken- und Hügelland	126,6	42	46	13
(45)	Oberpfälzer Wald	77,9	53	40	8
(46)	Saar-, Hügel- und Bergland	53,6	42	40	18
(47)	Pfälzisch-Saarländisches Muschelkalkgebiet	14,1	*	*	*
(48)	Pfälzerwald	142,8	35	44	21
(49)	Neckarland	363,1	43	41	16
(50)	Bayerischer Wald	221,5	40	36	24
(51)	Schwarzwald	383,7	33	43	24
(52)	Baar-Wutach	43,5	50	36	14
(53)	Schwäbische Alb	215,2	47	39	14
(54)	Bayerisches Tertiäres Hügelland	274,6	42	40	19
(55)	Südwestdeutsches Alpenvorland	147,3	43	39	18
(56)	Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten	111,9	46	39	15
(57)	Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne u. Molassevorberge	174,5	48	39	13
(58)	Bayerische Alpen	296,9	34	35	31
<b>Ostdeutsche Wuchsgebiete</b>					
(59)	Mecklenburg-Vorpommern/Küstenland	138,5	46	44	10
(60)	West- u. Mittelmecklenb. Jungmoränenland	193,7	51	40	9
(61)	Ostmeckl.-Nordbrandenb. Jungmoränenlandschaft	282,6	50	38	12
(62)	Südwestmecklenburger Altmoränenland	79,9	52	37	11
(63)	Altmärkisches Altmoränenland	140,9	69	23	8
(64)	Nordostbrandenburger Jungmoränenland	38,4	61	35	4
(65)	Mittelbrandenburger Jungmoränenland (einschließlich Großraum Berlin)	351,6	51	40	9
(66)	Stendaler Altmoränenland	43,2	68	22	10
(67)	Fläming und Wittenberger Altmoränenland	188,8	39	44	17
(68)	Niederlausitzer Altmoräne	275,0	51	43	7
(69)	Nordöstliches Harzvorland	22,4	47	27	26
(70)	Sächs.-Anhaltin./Leipziger Sandlößebene	9,6	40	32	28
(71)	Sächsisch-Thüringer Löß-Hügelland	40,4	47	32	21
(72)	Lausitzer Berg- u. Hügelland	56,6	43	42	15
(73)	Elbsandstein/Oberlausitz	49,9	40	41	19
(74)	Thüringer Becken und Randlagen	197,0	22	37	41
(75)	Südwestthüringer Trias-Hügelland	51,6	27	37	36
(76)	Thüringer Gebirge	129,9	26	34	40
(77)	Vogtland	71,3	36	42	22
(78)	Erzgebirgsvorland	10,3	*	*	*
(79)	Erzgebirge	140,7	38	32	30

\* Da das Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

<sup>1)</sup> Stand: 1991

Tabelle 10:

## Entwicklung der deutlichen Schäden in den Wuchsgebieten von 1986 bis 1997

Wuchsgebiet	Wald- fläche <sup>1)</sup> [1 000 ha]	Anteil der Schadstufen 2–4 [in %]			
		1986	1991	1994	1997
<b>Nordwestdeutsche Wuchsgebiete</b>					
(1) Schleswig-Holstein Nordwest	18,4	15	18	19	12
(2) Schleswig-Holstein Südwest	30,2	18	25	23	21
(3) Schleswig-Holstein Ost	86,2	11	12	15	22
(4) Großraum Hamburg	4,3	30	17	15	16
(5) Niedersächsischer Küstenraum	45,2	18	16	24	23
(6) Mittel-Westniedersächsisches Tiefland	204,8	10	3	11	9
(7) Großraum Bremen	0,5	42	12	15	8
(9) Ostniedersächsisches Tiefland	369,6	5	4	12	8
(10) Westfälische Bucht	166,5	15	15	17	25
(11) Weserbergland	239,3	13	14	22	21
(12) Nordwestdeutsche Berglandschwelle	56,8	17	12	23	29
(13) Südniedersächsisches Bergland	92,0	19	20	28	24
(14) Harz	170,4	22	21	24	22
(15/16) Niederrheinisches Tiefl. u. Niederrh. Bucht	100,6	15	13	11	18
(17) Bergisches Land	115,0	6	11	18	24
(18) Sauerland	304,0	9	12	15	22
<b>Süddeutsche Wuchsgebiete</b>					
(19) Nördliches hessisches Schiefergebirge	109,0	16	32	38	38
(20) Nordwesthessisches Bergland	92,0	22	30	38	39
(21) Nordosthessisches Bergland	137,4	17	28	30	32
(22) Nordeifel	80,4	9	6	9	17
(23) Westeifel	70,4	5	7	14	16
(24) Osteifel	80,5	11	15	25	21
(25/31) Mittelrheintal/Moseltal	48,3	10	10	16	30
(26) Westerwald	107,0	8	13	27	26
(27) Giessener Becken und Wetterau	26,6	10	31	34	30
(28) Vogelsberg und östlich angrenzendes Sandsteingebirge	99,4	22	34	38	29
(29) Rhön	112,7	41	38	38	28
(30) Gutland	34,2	7	6	9	15
(32) Hunsrück	162,6	9	13	17	24
(33) Taunus	132,6	16	24	36	39
(34) Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	69,4	7	9	34	41
(35) Saarländisch-Pfälzische Moorniederung	14,1	•	•	•	•
(36) Rhein-Mainebene, Oberrheinisches Tiefland	191,5	19	19	34	29
(37) Odenwald	123,3	17	24	37	23
(38) Spessart	175,3	21	36	35	23
(39) Fränkische Platte	79,4	35	38	52	31
(40) Fränkischer Keuper und Albvorland	304,3	18	23	27	15

\* Da das Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

• In den neuen Länder wurde bis 1991 keine Waldschadenserhebung durchgeführt

<sup>1)</sup> Stand: 1991

Wuchsgebiet	Wald- fläche <sup>1)</sup> [1000 ha]	Anteil der Schadstufen 2–4 [in %]			
		1986	1991	1994	1997
(41) Oberpfälzer Jura, Frankenalb	345,0	23	25	32	17
(42) Oberfränkisches Triashügelland	71,4	22	23	33	16
(43) Frankenwald und Fichtelgebirge	147,5	33	36	41	18
(44) Oberpfälzer Becken- und Hügelland	126,6	10	29	25	13
(45) Oberpfälzer Wald	77,9	16	25	27	8
(46) Saar-, Hügel- und Bergland	53,6	12	18	19	18
(47) Pfälzisch-Saarländisches Muschelkalkgebiet	14,1	·	·	·	·
(48) Pfälzerwald	142,8	11	16	20	21
(49) Neckarland	363,1	19	17	24	16
(50) Bayerischer Wald	221,5	31	40	35	24
(51) Schwarzwald	383,7	39	22	33	24
(52) Baar-Wutach	43,5	33	21	41	14
(53) Schwäbische Alb	215,2	14	16	21	14
(54) Bayerisches Tertiäres Hügelland	274,6	18	21	22	19
(55) Südwestdeutsches Alpenvorland	147,3	11	10	14	18
(56) Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten	111,9	20	24	16	15
(57) Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge	174,5	29	33	22	13
(58) Bayerische Alpen	296,9	49	39	32	31
<b>Ostdeutsche Wuchsgebiete</b>					
(59) Mecklenburg-Vorpommern/Küstenland	138,5	·	51	10	10
(60) West- u. Mittelmecklenb. Jungmoränenland	193,7	·	48	14	9
(61) Ostmecklenburger-Nordbrandenburger Jungmoränenlandschaft	282,6	·	35	13	12
(62) Südwestmecklenburger Altmoränenland	79,9	·	45	6	11
(63) Altmärkisches Altmoränenland	140,9	·	31	17	8
(64) Nordostbrandenburger Jungmoränenland	38,4	·	14	8	4
(65) Mittelbrandenburger Jungmoränenland (einschließlich Großraum Berlin)	351,6	·	36	19	9
(66) Stendaler Altmoränenland	43,2	·	64	7	10
(67) Fläming und Wittenberger Altmoränenland	188,8	·	36	21	17
(68) Niederlausitzer Altmoräne	275,0	·	33	20	7
(69) Nordöstliches Harzvorland	22,4	·	24	21	26
(70) Sächs.-Anhaltin./Leipziger Sandlößebene	9,6	·	·	·	28
(71) Sächsisch-Thüringer Löß- Hügelland	40,4	·	28	27	21
(72) Lausitzer Berg- u. Hügelland	56,6	·	12	14	15
(73) Elbsandstein/Oberlausitz	49,9	·	·	26	19
(74) Thüringer Becken und Randlagen	197,0	·	58	47	41
(75) Südwestthüringer Trias-Hügelland	51,6	·	44	39	36
(76) Thüringer Gebirge	129,9	·	50	44	40
(77) Vogtland	71,3	·	25	36	22
(78) Erzgebirgsvorland	10,3	·	·	·	·
(79) Erzgebirge	140,7	·	38	33	30

\* Da das Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

· In den neuen Länder wurde bis 1991 keine Waldschadenserhebung durchgeführt

<sup>1)</sup> Stand: 1991

Tabelle 11:

## Waldschäden nach Wuchsgebieten und Hauptbaumarten 1997

Anteil der Schadstufen 2–4 [in %], (n = Anzahl der Stichprobenbäume)

Wuchs- gebiet Nr.	Schadstufen 2–4									
	Alle Baumarten		Fichte		Kiefer		Buche		Eiche	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>I. Wuchsgebiete mit überwiegendem Fichtenanteil (&gt;35 %)</b>										
gesamt	91861	22	54197	20	7806	21	12621	27	4338	46
(2)	1080	21	438	27	*	*	*	*	*	*
(14)	3960	22	2567	18	*	*	916	34	*	*
(17)	1076	24	446	17	*	*	*	*	*	*
(18)	3882	22	2422	15	*	*	967	35	*	*
(19)	2272	38	879	20	*	*	670	56	336	56
(21)	2869	32	1059	26	357	30	838	36	*	*
(22)	965	17	442	15	*	*	*	*	*	*
(23)	960	16	483	10	*	*	*	*	*	*
(26)	1960	26	787	17	*	*	610	36	*	*
(29)	3179	28	1068	24	556	22	882	28	*	*
(32)	2376	24	1043	11	*	*	336	32	494	55
(43)	4362	18	3476	19	506	10	*	*	*	*
(45)	3665	8	1962	15	1159	5	*	*	*	*
(49)	5286	16	1651	8	495	23	1087	13	761	41
(50)	6764	24	4312	25	724	14	726	23	*	*
(51)	5640	24	2838	21	*	*	686	28	*	*
(52)	600	14	500	13	*	*	*	*	*	*
(53)	3108	14	1621	8	*	*	991	17	*	*
(54)	10010	19	6738	18	1374	17	504	13	*	*
(55)	2232	18	1643	19	*	*	*	*	*	*
(56)	4385	15	3221	12	352	41	*	*	*	*
(57)	5938	13	4295	12	*	*	456	17	*	*
(58)	7180	31	4921	31	*	*	964	34	*	*
(71)	528	21	*	*	*	*	*	*	*	*
(72)	672	15	*	*	*	*	*	*	*	*
(75)	1152	36	519	28	*	*	*	*	*	*
(76)	2304	40	1801	39	*	*	*	*	*	*
(77)	1200	22	894	20	*	*	*	*	*	*
(79)	2256	30	1916	32	*	*	*	*	*	*
<b>II. Wuchsgebiete mit überwiegendem Kiefernanteil (&gt;35 %)</b>										
gesamt	50986	12	3985	11	33663	9	2462	27	3648	45
(6)	3120	9	388	6	1362	5	*	*	330	40
(9)	5784	8	687	9	3961	7	*	*	*	*
(36)	3518	29	*	*	1456	21	458	38	457	62
(40)	10032	15	1872	9	5673	11	666	25	934	47
(44)	2948	13	424	14	2177	10	*	*	*	*
(48)	2016	21	*	*	856	9	520	35	*	*
(59)	1344	10	*	*	768	8	*	*	*	*
(60)	4032	9	*	*	1753	7	483	14	*	*

Erläuterung:

\* = Da diese Baumart in dem Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

Wuchs- gebiet Nr.	Schadstufen 2–4									
	Alle Baumarten		Fichte		Kiefer		Buche		Eiche	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
(61)	4536	12	*	*	2992	11	353	20	*	*
(62)	1248	11	*	*	797	7	*	*	*	*
(63)	1729	8	*	*	1729	6	*	*	*	*
(64)	624	4	*	*	348	5	*	*	*	*
(65)	9288	9	*	*	6934	8	*	*	885	28
(66)	792	10	*	*	598	2	*	*	*	*
(67)	2904	17	*	*	2240	14	*	*	*	*
(68)	4200	7	*	*	3633	5	*	*	*	*
<b>III. Wuchsgebiete mit überwiegendem Buchenanteil (&gt; 35 %)</b>										
gesamt	12082	23	3088	13	575	9	4691	32	1502	48
(3)	2760	22	353	21	313	6	958	40	424	26
(11)	4286	21	1545	12	*	*	1709	26	357	55
(12)	1704	29	*	*	*	*	519	41	402	57
(13)	2088	24	710	12	*	*	1025	36	*	*
(27)	1244	30	304	12	*	*	480	36	*	*
<b>IV. Wuchsgebiete mit überwiegendem Eichenanteil (&gt; 35 %)</b>										
gesamt	3826	30	426	14	545	19	571	21	1406	49
(25/31)	648	30	*	*	*	*	*	*	*	*
(39)	3178	31	399	14	501	18	477	22	1128	51
<b>V. Wuchsgebiete mit gleichmäßiger Baumartenverteilung</b>										
gesamt	43830	27	11590	21	10875	19	8062	36	5061	49
(1)	960	12	*	*	*	*	*	*	*	*
(4)	4659	16	796	17	1687	19	571	12	439	13
(5)	2712	23	460	24	592	17	*	*	561	53
(7)	456	8	*	*	*	*	*	*	*	*
(10)	1615	25	*	*	443	17	*	*	366	51
(15)	765	18	*	*	*	*	*	*	*	*
(20)	1759	39	600	32	337	36	494	46	*	*
(24)	1296	21	442	10	*	*	315	31	*	*
(28)	1344	29	428	17	*	*	479	46	*	*
(30)	408	15	*	*	*	*	*	*	*	*
(33)	2608	39	738	33	*	*	696	40	490	56
(34)	1128	41	*	*	*	*	*	*	383	66
(37)	2058	23	637	24	409	14	388	34	*	*
(38)	5856	23	1805	20	1245	15	1453	36	556	38
(41)	9448	17	3579	13	3471	14	1378	27	317	57
(42)	1286	16	461	20	591	15	*	*	*	*
(46)	1632	18	*	*	*	*	406	29	433	19
(69)	336	26	*	*	*	*	*	*	*	*
(74)	3504	41	749	39	958	34	830	49	370	57

Erläuterung:

\* = Da diese Baumart in dem Wuchsgebiet weniger als 300 Probestämme umfaßt, sind keine Angaben möglich

Tabelle 12:

## Netzdichten, Stichprobenpunkte und Stichprobenbäume 1997

Bundesland	Netzdichte 1997	Anzahl der	
		Stichprobenpunkte	Stichprobenbäume
Baden-Württemberg	4 × 4 km	840	18840
Bayern	4 × 4 km	1686	74550
Berlin	1 × 1 km	157	3768
Brandenburg	4 × 4 km	569	13656
Bremen	1 × 1 km	19	456
Hamburg	0,3 × 0,3 km	378	4659
Hessen	4 × 4 km	615	19627
Mecklenburg-Vorpommern	4 × 4 km	316	7584
Niedersachsen	4 × 4 km (z. T. 4 × 2/2 × 2 km)	825	19800
Nordrhein-Westfalen	4 × 4 km	499	9360
Rheinland-Pfalz	4 × 4 km	459	11016
Saarland	4 × 4 km (z. T. 2 × 4 km)	96	2304
Sachsen	4 × 4 km	277	6648
Sachsen-Anhalt	4 × 4 km	274	6576
Schleswig-Holstein	2 × 4 km (z. T. 2 × 2 km)	200	4800
Thüringen	4 × 4 km	345	8208
Deutschland, gesamt		7555	211852



**Stellungnahme zur Erhebung des Waldzustandes  
und Empfehlung zur Weiterentwicklung des Verfahrens**

---

**Bericht der vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
eingesetzten Expertengruppe**

**September 1997**

## Zusammenfassung

Die inzwischen weit über 10jährige Beobachtung und Erforschung der „neuartigen Waldschäden“ hat das Wissen über Ursachen, Umfang und Entwicklung von Waldschäden bedeutend erweitert. Es entsteht die Möglichkeit, Methode und Ergebnisse der Waldzustandserfassung zu bewerten und daraus Schlußfolgerungen für die Zukunft zu sichern. Das BML hat hierzu in Abstimmung mit den Bundesressorts eine Expertengruppe einberufen.

- Der Expertenkreis mißt langfristig Zeitreihen umweltbezogener Daten große Bedeutung zu. Zeitreihen sind eine wichtige Grundlage insbesondere für eine Bewertung anthropogener Veränderungen in Wäldern, für Erfolgsnachweise der Luftreinhaltung und für Prognosen. Es wird nachdrücklich empfohlen, Übersichtserhebungen (z. B. ergänzte Kronenzustandserhebung, Bodenzustandserhebung, Waldernährungserhebung) in zweckmäßigen Abständen zu wiederholen.
- Die Expertengruppe stellt fest, daß die visuelle Erfassung der Kronenverlichtung auch künftig als wesentliches Merkmal zur Beurteilung des Zustandes von Bäumen herangezogen werden soll. Das Merkmal reagiert empfindlich auf äußere Stressoren und besitzt Signalcharakter.
- Der Expertenkreis empfiehlt, den Merkmalskatalog zur Erfassung des Kronenzustands durch weitere baum- und bestandesbezogene Merkmale zu ergänzen. Informationen zum Standort haben als „ökologische Koordinate“ besondere Bedeutung für die integrierende Auswertung der Daten. Die ergänzte Kronenzustandserhebung ist ein wichtiger Indikator für den Waldzustand und für die Waldschadensforschung. Die Umsetzung dieses Konzepts bedarf zusätzlicher öffentlicher Mittel des Bundes und der Länder.
- Die europaweit insbesondere für ältere Buche und Eiche deutliche Veränderung des Kronenzustands

ist als Schaden zu klassifizieren und belegt Risiken der weiteren Waldentwicklung. Für eine umfassende Bewertung sind jedoch weitere Recherchen notwendig.

- Da visuell erkennbare Merkmale des Kronenzustandes nur begrenzt Hinweise auf einzelne Stressoren ermöglichen, ordnet der Expertenkreis einer vernetzten Informationsgewinnung und Auswertung im Kontext der Ergebnisse verschiedener Übersichtserhebungen unter Einbeziehung des intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung zukunftsweisende Bedeutung zu. Auswertung und Interpretation sollen daher bundesweit künftig auf eine bessere statistische und ökologisch differenziertere Grundlage gestellt werden.
- Die Mehrheit der Mitglieder des Expertenkreises befürwortet, die 1984 eingeführten Klassen der Kronenverlichtung (0–10 %, >10–25 %, >25–60 %, >60–95 % und 100 %) zunächst zu erhalten, da eine lückenlose Darstellung von Ergebnissen der bisherigen Zeitreihe in anderer Form nicht möglich erscheint. Dies ist auch im Sinne einer Wahrung der Kontinuität der Ergebnisse in Europa von Bedeutung. Die ungleich großen Stufenbreiten begrenzen jedoch die Auswertung der Daten. Der Expertenkreis empfiehlt dringend, daß die Bundesländer dem BML künftig originäre Erhebungsdaten zur Verfügung stellen. Dies bietet die Grundlage für eine Auswertung auf der Basis aller Meßpunkte des Bundesgebietes ohne Beschränkung durch Ländergrenzen. Bundesergebnisse können dann in Form von Mittelwerten mit Streuungsangaben bzw. als Häufigkeitsverteilung über Klassen mit gleicher Stufenbreite – etwa 20 % Stufen – angegeben werden. Um diese Information auch rückwirkend zu erreichen, ist es notwendig, daß die Bundesländer Originaldaten wenigstens ab 1990 dem BML zur Verfügung stellen.

## 1. Einführung

Seit 1984 wird der Waldzustand jährlich nach einer bundesweit einheitlichen Methode festgestellt und bewertet.

Die inzwischen weit über 10jährige gezielte Beobachtung und Erforschung der „neuartigen Waldschäden“ (vgl. 3. Ber. FBW, 1989) hat das Wissen über Ursachen, Umfang und Entwicklung von Waldschäden bedeutend erweitert. Dieser Erkenntnisgewinn bietet die Möglichkeit, die Ergebnisse der Waldzustandserhebung im Lichte der Waldökosystemforschung und der intensiven Untersuchungen auf Dauerbeobach-

tungsflächen zu bewerten und daraus Schlußfolgerungen für die Zukunft zu ziehen. Neue Erkenntnisse sollen bei zukünftigen Erhebungen berücksichtigt werden. Eventuelle Änderungen des Verfahrens müssen jedoch im Sinne einer Fortführung wichtiger Zeitreihen immer eine Vergleichbarkeit mit den früheren Erhebungsergebnissen gewährleisten.

In diesem Zusammenhang sucht die Bundesregierung wissenschaftlich fundierten Rat zu folgenden Fragen:

1. Inwieweit kann und sollte auch künftig die visuelle Erfassung der Kronenverlichtung (des sog. „Nadel- bzw. Blattverlustes“) als wesentliches Merkmal zur Beurteilung der Vitalität bzw. des Zustandes von Bäumen herangezogen werden?
2. Gibt es weitere Kenngrößen, die zur Beurteilung und Beschreibung des Zustandes der Wälder in Deutschland herangezogen werden sollten?
3. Ist es zulässig, die Kronenverlichtung für die Bestimmung der Schadstufen zu nutzen?
4. Halten Sie den Begriff „Schadstufen“ für angebracht?
5. Entspricht die derzeitige Einteilung in Schadstufen dem heutigen Erkenntnisstand der Baumphysiologie oder ist eine Änderung angebracht?
6. Derzeit wird die Öffentlichkeit über den Waldzustand im Bundesbericht mit folgenden Kennzahlen informiert: Anteil der Schadstufen 2–4 für alle Baumarten bzw. aufgliedert nach Baumarten, Bundesgebiet, Ländergruppen oder Ländern und in Jahren einer Vollstichprobe nach Wuchsgebieten.  
Halten Sie dieses Vorgehen für vertretbar?
7. Zusammenfassende Fragestellung:  
Auf welcher Datenbasis und mit welchen Kenngrößen und in welchem Turnus sollte künftig nach Ihrer Auffassung der Waldzustand ermittelt und beurteilt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen hat das BML in Abstimmung mit den Bundesressorts eine Experten-

gruppe Waldzustandserfassung einberufen. Dieser Expertengruppe gehörten an:

PD Dr. J. Eichhorn (Vorsitz)  
 Prof. Dr. E.-D. Schulze (stellvertretender Vorsitz)  
 Prof. Dr. S. Anders  
 Dr. J. Block  
 Prof. Dr. G. Gravenhorst  
 Dr. G. Hartmann  
 Prof. Dr. E.-E. Hildebrand  
 Prof. Dr. G. Hofmann  
 Prof. Dr. J. Hradetzky  
 Dr. R. Kallweit  
 Prof. Dr. K. Kreutzer  
 Prof. Dr. R. Matyssek  
 Prof. Dr. W. Nebe  
 Prof. Dr. H. Pretzsch

als Beobachter (Vertreter der auftraggebenden Ministerien):

MDir Dr. P. Breloh, BML (1. Bespr.)  
 MR Schulz, BMBF  
 MR P. Splett, BML  
 ORR Schmitz, BML

Schriftführung

Dr. T. Pröbsting  
 als Gäste für spezielle Fragen (einzelne Termine)  
 Prof. Dr. J. Saborowski  
 FAm. F. Körver

Nach 5 Beratungen im ersten Halbjahr 1997 formulierte die Expertengruppe nachstehende Stellungnahme und Empfehlung.

## 2. Konzept einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern

### 2.1 Gesamtkonzept

Zur Gestaltung künftiger Umwelt-, Wirtschafts- und Lebensverhältnisse sind aktuelle und verlässliche Informationen über die Entwicklung der Wälder des Landes eine wesentliche Voraussetzung.

Das Gesamtkonzept einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern umfaßt in der Bundesrepublik Deutschland drei verschiedene Ebenen der Informationsgewinnung. Zu unterscheiden sind entsprechend dem Manual des ICP-Forests<sup>22)</sup>:

- flächendeckende Übersichtserhebungen (z. B. **Level 1**)
- Flächen des „Intensiven Monitorings“ von Wäldern (z. B. **Level 2** Flächen) sowie
- Fallstudien bzw. Hauptmeßstationen, Waldökosystemforschung (vgl. Level 3 Konzept des ICP Forests).

Der methodischen Vergleichbarkeit der Daten für Wälder in der Bundesrepublik Deutschland mit den

<sup>22)</sup> Das „International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests)“ (Manual UN/ECE, 1997) unterscheidet drei Ebenen der Beobachtungsintensität:

Level 1: Large-scale survey of primary parameters of different forest compartments (crown condition, soil condition, element contents in leaves/needles). The aim is to achieve results related to the spatial and temporal development of forest condition. This is accomplished by means of a grid of systematically selected plots covering the forest area of a country (national grids of different densities) and of Europe (16 x 16 km grid) with low monitoring intensity per lot.

Level 2: Intensive Monitoring aimed at the recognition of key factors and processes in the functioning of forest ecosystems. This is principally accomplished by means of number of permanent monitoring plots, which were selected to be representative for their special region.

Level 3: Special forest ecosystem analysis aimed at gaining a deeper insight into cause-effect relationships with special regard to the effects of air pollutants. This will be accomplished by means of a number of permanent sample plots suitable for scrutinizing the complex interactions between all compartments of the ecosystem in detail (e. g. including ecosystem balances).

entsprechenden Programmen des ICP Forests und der EU mißt der Expertenkreis große Bedeutung bei.

Der Expertenkreis empfiehlt nachdrücklich, die Erfassung von Zustandsmerkmalen von Baumkronen und deren Entwicklung durch Einbeziehung und Nutzung weiterer punktbezogener Informationsquellen zu ergänzen. Zudem soll eine inhaltliche zahlenmäßige Verbindung zu den Informationen des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung erarbeitet werden.

## 2.2 Ebenen der Informationsgewinnung

### 2.2.1 Waldschadenserhebung – WSE

(einschl. Level 1 der EU und des ICP Forests, sowie „Immissionsökologischer Waldzustandsüberwachung-IWE“ versch. Bundesländer).

In der vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) herausgegebenen Broschüre „Terrestrische Waldschadenserhebung“ (1993) wird für die bisherige Zeit folgende Definition gegeben: „Die Waldschadenserhebung hat zum Ziel, mit vertretbarem Aufwand kurzfristig verfügbare Aussagen über den Waldzustand bereitzustellen. Dabei sollen neben der aktuellen Zustandsbeschreibung auch Schadensschwerpunkte lokalisiert und Entwicklungstendenzen des Waldzustandes aufgezeigt werden.“

Der Expertenkreis spricht sich jedoch mehrheitlich dafür aus (vgl. <sup>24)</sup>), daß **künftig** die in weiten Kreisen eingeführte Bezeichnung Waldschadenserhebung – WSE **integrierend** für die flächendeckenden, den Zustand der Wälder in der Bundesrepublik Deutschland beschreibenden Übersichtserhebungen verwendet wird. Hierzu zählen insbesondere die zu ergänzende Kronenzustandserhebung, die Bodenzustandserhebung im Wald und die Waldernährungserhebung (vgl. auch Übersicht 2.2.4 sowie 4.2). Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung werden in einem Waldschadensbericht zusammengefaßt.

#### Definition:

„Die **erweiterte Waldschadenserhebung – „WSE“** hat zum Ziel, mit vertretbarem Aufwand jährlich flächenbezogene Aussagen über den Waldzustand und seine Entwicklung bereitzustellen und diese anhand von Soll-Ist-Vergleichen integrierend zu bewerten (vgl. hierzu 4.2).

Die ergänzte Kronenzustandserhebung ermittelt hierzu punktbezogene Information zu Baumkronen, zur Bestandesgeschichte, zur Bestandesstruktur, zu biotischen Schäden (Mikroorganismen, Insekten) sowie zur ökologischen Einordnung der Einzelflächen (Ökologische Koordinate). Diese Daten sind mit Informationen aus anderen Übersichtserhebungen zu verknüpfen, um die Ergebnisse zusammenfassend be-

<sup>24)</sup> Oberbegriff für die Übersichtserhebungen: Waldschadenserhebung; Unterbegriff: erweiterte Kronenzustandserhebung. Hierzu erfolgte eine Abstimmung im Expertenkreis. Ergebnis: 9 „Ja“ zu 1 „Nein“ und 3 „Enthaltung“.

werten zu können. Hierzu zählen insbesondere die Bodenzustandserhebung im Wald und die Waldernährungserhebung. An einem Teil der Stichprobepunkte sind Informationen zur Wechselwirkung von Kronenverlichtung und Waldwachstum zu erarbeiten.

Die erweiterte WSE ist die Basis für eine regionale Aussage über den Waldzustand und seine Entwicklung sowie für die flächenbezogene Extrapolation der Informationen, die auf Flächen des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung gewonnen werden.“

Der Expertenkreis sieht in der künftig um neue Merkmale **ergänzten Kronenzustandserhebung** einen Teilbereich der erweiterten WSE. In der ergänzten Kronenzustandserhebung werden auf einem punktbezogenen Raster die wichtigen Merkmale der bisherigen WSE fortgeführt. Darüber hinaus wird die Einbeziehung neuer Parameter (vgl. Kap. 5) befürwortet.

#### Aufgabe von Übersichtserhebungen

Übersichtserhebungen, z.B. ergänzte Kronenzustandserhebung, Bodenzustandserhebung (Deutscher Waldbodenbericht, 1996) und Waldernährungsinventur, dienen der großräumigen Erkennung von Zuständen, Mustern und langjährigen Trends anhand ausgewählter Indikatoren auf der Basis systematischer Stichprobenverfahren.

Für Übersichtserhebungen ist eine Beschränkung auf wenig Merkmale am Einzelpunkt bei gleichzeitig hoher Anzahl beobachteter Punkte charakteristisch. Im Fall der Waldschadenserhebung wurde Anfang der 80er Jahre die Erfassung von Merkmalen des Kronenzustandes als wichtiges Indiz des Waldzustandes vereinbart<sup>25)</sup>. Im Rahmen des jetzt gültigen Inventurkonzepts der Kronenzustandserhebung ist bei der Auswahl von Beobachtungspunkten und Probestämmen die Objektivität gewahrt (vgl. auch Abschnitt 3). Die Ergebnisse sind ab einer gewissen Größe der Aussageinheit, die von der Gitterweite des Stichprobennetzes abhängt, raumbezogen repräsentativ. Schadschwerpunkte können abgebildet werden.

Derartige regionale Aussagen sind für die forstliche Praxis von erheblicher Bedeutung, sie werden auch vielfach von der Öffentlichkeit nachgefragt. Regionale Aussagen erfordern in der Regel eine Erfassung des Waldzustandes in einem relativ engen Raster (z.B. 4 × 4 km Netz der Waldschadenserhebung – „Vollstichprobe“). Bei Verwendung von Unterstichproben (z.B. 16 × 16 km) ist die raumbezogene Aussagekraft reduziert.

<sup>25)</sup> Die Kronenverlichtung (Definition Abschnitt 4.1), ein relativ empfindlicher Weiser des gegebenen Baumzustandes, stellt eine integrierende Größe von hoher raum-/zeitlicher Variabilität dar. Der Zustand der Baumkronen ist ein Parameter, der dem ökologischen Anliegen einer Übersichtserhebung sehr nahe kommt und wichtige Informationen für wirtschaftliche und waldbehandelnde Überlegungen darstellt.

Der Expertenkreis mißt langfristig Zeitreihen umweltbezogener Daten große Bedeutung zu. Zeitreihen helfen, die Variation der Meßwerte zu bewerten, Trends abzuleiten und jährlich variierende Einflüsse zu beschreiben. Sie sind Basis für Modelle und Prognosen.

Es wird nachdrücklich empfohlen, Übersichtserhebungen in Abständen zu wiederholen, die für die Erstellung von Zeitreihen der jeweiligen Merkmalsgruppen zweckmäßig sind. In diesem Zusammenhang sind neben der ergänzten Kronenzustandserhebung insbesondere die Bodenzustandserhebung sowie die Waldernährungserhebung zu nennen.

Der Expertenkreis empfiehlt im Hinblick auf eine regional und standörtlich differenzierte Aussage, auch die ergänzte Kronenzustandserhebung als Vollstichprobe mindestens alle drei Jahre zu veranlassen. Jährlich sind anhand einer Unterstichprobe (etwa im 8 × 8 km Netz) Veränderungen des Kronenzustandes festzuhalten.

Ein Konzept aus jährlichen Unterstichproben und periodischen Vollstichproben bzw. eine Reduzierung der aufgenommenen Satelliten je Stichprobenpunkt (vgl. Abschnitt 3; Saborowski, 1997) kann je nach Größe der erfaßten Regionen zur Kosteneinsparung beitragen.

Übersichtserhebungen ermöglichen darüber hinaus, Ergebnisse aus dem Intensiven Monitoring (vgl. 2.2.2) und von Fallstudien (2.2.3) auf die Fläche zu übertragen. Beispielsweise können Ergebnisse zu Prozessen der Bodenversauerung durch Informationen aus der Bodenzustandserhebung auf ihre raumbezogene Relevanz überprüft werden. Andererseits lassen sich aus ihren Ergebnissen Fragestellungen für die Ökosystemforschung ableiten.

Als Bindeglied zwischen der erweiterten Waldschadenserhebung und den Ebenen „Intensives Monitoring“ und „Waldökosystemforschung“ wird die Verwendung einer „ökologischen Koordinate“ empfohlen (vgl. 5.1).

Unter dem Begriff der „ökologischen Koordinate“ sind insbesondere Informationen zum forstlichen Standort und zum Bestand zu verstehen (z. B. Klima, Boden, aktuelle und potentiell natürliche Vegetation, Informationen zur Situation und zur Entwicklung des Baumbestandes – einschließlich der Waldgeschichte). Die „ökologische Koordinate“ soll auf instruktive aber einfache Variable beschränkt bleiben, deren Definitionen bundesweit einheitlich abgestimmt sind.

Mathematisch-statistische Analysen derartiger Daten können wichtige Beiträge zu einem ökologischen Monitoring liefern und stellen eine Brücke zu einem stärker ökosystemaren Ansatz dar.

## 2.2.2 Dauerbeobachtungsflächen des „Intensiven Monitorings“ (einschl. Level 2 der EU und des ICP Forests)

Wichtiges Instrument der langfristigen Dauerbeobachtung von Wäldern in Deutschland sind die europaweit angelegten **Level 2** Flächen.

Methodisch werden hier wesentliche Kenngrößen von Waldökosystemen – z. B. Witterung, Stoffeintrag und Stoffaustrag mit dem Sickerwasser, Boden, Zustand von Baumkronen, Mineralstoffgehalte in Blättern bzw. Nadeln, Waldwachstum sowie Bodenvegetation – mit europaweit abgestimmten Methoden erfaßt, dokumentiert und im Zusammenhang interpretiert. Die Ergebnisse von Level 2 Flächen sind für die Umweltüberwachung der Wälder insbesondere im Hinblick auf eine Analyse der Ursache-Wirkungsbeziehungen von Bedeutung.

Die Auswahl der Level Flächen ist nicht an ein systematisches Gitternetz gebunden, sondern repräsentiert die wichtigsten Waldökosysteme, die Hauptbaumarten und die häufigsten Wachstumsbedingungen. Darüber hinaus wurden Untersuchungsflächen in das Programm aufgenommen, von denen bereits mehrjährige Meßreihen zu Parametern des Programms vorliegen. **Level 2** Flächen lassen keine repräsentativen Aussagen für regionale Einheiten zu, sie können daher die Waldschadenserhebung (**Level 1**) nicht ersetzen.

In manchen Gebieten scheint es sinnvoll zu sein, weitere Level 2 Flächen einzurichten. Wichtige Kriterien der Lokalisierung sind hierfür vor allem kritische Lagen, also Ökosysteme mit hohem Belastungsrisiko und Standorte, die in großen Waldgebieten den regionalen Waldklimatyp (nach Waldklimastationen) repräsentieren.

Außerdem wäre es wünschenswert, die langfristigen Beobachtungsflächen der Waldwachstumskunde, zumindest z. T. in das intensive ökologische Monitoring einzubeziehen. Die waldwachstumskundlichen Dauerbeobachtungsflächen der Universitätsinstitute und Landesforstverwaltungen kommentieren seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts Struktur und Leistung von Rein- und Mischbeständen und bilden eine unverzichtbare Basis für ein intensives Monitoring. Viele der gegenwärtig diskutierten Trends in der Vitalitätsveränderung und Wachstumsstörung wurden bereits frühzeitig auf solchen Dauerbeobachtungsflächen identifiziert und so in die wissenschaftliche Diskussion hineingetragen.

## 2.2.3 Waldökosystemforschung (Fallstudien und Hauptmeßstationen im Forschungsnetz)

Fallstudien analysieren den Systemzustand und die Entwicklung ursächlicher Zusammenhänge zwischen Waldzustand und exogenen Faktoren am Beispiel von ausgewählten Waldökosystemen. Sie sind auf der Basis des Ökosystemgedankens Instrumente der experimentellen Forschung und können dabei punktuell auch langfristige Aufgaben der Dauerbeobachtung erfüllen.

Im Vordergrund stehen hier neben der Beschreibung von Strukturen Untersuchungen zu biogeochemischen Kreisläufen der Ökosysteme und ihr Zusammenhang mit dem Gedeihen der Organismen im Ökosystem. Dazu zählt die Bestimmung von Stoffmengen und -flüssen unterschiedlicher Trägheit in verschiedenen Kompartimenten.

Darüber hinaus werden Regelungsfunktionen quantitativ beschrieben. Die Daten ermöglichen Beschreibungen und Quantifizierungen von Strukturen und von Prozessen, dokumentieren Trends, erläutern Ursache-Wirkungsbeziehungen und geben Hinweis auf mögliche Maßnahmen zur Steuerung des Systems.

## 2.2.4 Übersicht

Der Expertenkreis empfiehlt nachfolgendes Konzept einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern:

<b>Gesamtkonzept einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern</b>	
Vernetzte Informationsgewinnung aus den Elementen Waldschadenserhebung, Intensives Monitoring und Waldökosystemforschung	
Vorhaben	Ziel
<p><b>Waldschadenserhebung – WSE (Level 1)</b> (flächenbezogene Übersichtserhebungen und deren integrierende Bewertung)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ergänzte Kronenzustandserhebung (Anzahl Flächen: Vollstichprobe mindestens 4 × 4 km Netz; einschl. Verdichtungen: ca. 7600; Unterstichprobe z. B. 8 × 8 km-Raster: 2200)</li> <li>– Kronenzustand (insbes.: Kronenverlichtung, -verfärbung, Verzweigungsstruktur)</li> <li>– Bestandesstruktur (weiterzuentwickeln)</li> <li>– biot. Faktoren (weiterzuentwickeln)</li> <li>– ökologische Koordinate</li> <li>– waldwachstumskundliche Untersuchungen auf Teilmenge der Level 1 Flächen</li> <li>– Bodenzustandserhebung</li> <li>– Waldernährungserhebung</li> </ul> <p>Datengewinnung zu Klima, Witterung, Immissionen sowie Depositionen aus anderen flächenbezogenen Informationssystemen</p>	<p>Übersichtserhebungen dienen der großräumigen Erkennung von Zuständen, Mustern und langjährigen Trends anhand ausgewählter Indikatoren. Auf der Basis systematischer Stichprobenverfahren sind flächenbezogene Auswertungen zu erarbeiten.</p>
<p><b>Intensives Monitoring</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Level 2 Flächen (Anzahl in Deutschland ca. 88)</li> <li>– Dauerbeobachtungsflächen der Forstlichen Versuchs- bzw. Landesanstalten und Universitäten</li> </ul>	<p>Wichtiges Instrument der langfristigen ökosystemaren Dauerbeobachtung;</p>
<p><b>Waldökosystemforschung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fallstudien bzw. Hauptstationen (Anzahl ca. 30 Flächen)</li> <li>– Level 3 Flächen (konzeptionell)</li> </ul>	<p>Instrumente der Intensivbeobachtung und Analyse von Strukturen sowie Speicher-Regelungs- und ressourcenbildenden Funktionen von Wäldern. Ursachenforschung durch Freiland- und Laborexperimente.</p>

## 2.3 Auswertung, Integration und Berichterstattung der Ergebnisse

Einzelne Inventuren ermöglichen in der Regel nur die Erhebung von Teilaspekten. Der integrierenden Auswertung verschiedener Informationsebenen ordnet der Expertenkreis daher zukunftsweisende Bedeutung zu.

Der Expertenkreis empfiehlt dringend, daß die Bundesländer dem BML künftig originäre Erhebungsdaten von Einzelpunkten der Untersuchungen Level 1 und Level 2 für eine bundesweite Auswertung zur Verfügung stellen.

Dies bietet die Grundlage für eine mathematisch-statistische Auswertung auf der Basis aller Meßpunkte des Bundesgebietes, die durch integrierende Auswertungen verschiedener Untersuchungsebenen wesentlich ergänzt werden kann und nicht durch Ländergrenzen beschränkt bleibt.

Eine Integration dieser Ergebnisse muß den raumzeitlichen Gültigkeitsbereich der jeweiligen Daten berücksichtigen.

Als Konzept für eine integrierende Auswertung im Rahmen des Gesamtkonzeptes einer ökologischen Dauerbeobachtung von Wäldern empfiehlt der Expertenkreis ein schrittweises Vorgehen:

### Schritt 1: Auswertung der erhobenen Daten auf Landesebene

- auf Landesebene: Plausibilitätsprüfung und Auswertung Level 1 und Level 2, Integration der Ergebnisse von Übersichtserhebungen und Intensivuntersuchungen. Länderberichte beinhalten Auswertungen, Informationen und Interpretationen, die sich insbesondere auch auf landesbezogenen, regionale sowie standorts- bzw. bestandesbezogene Besonderheiten beziehen. Ergebnisse verschiedener mehrjähriger Projekte zur Ausschöpfung des Informationspotentials von Inventurdaten belegen, daß die Probleme zur Auswertung der zeitlich und räumlich strukturierten Boniturdaten, die mit Standort und Störgrößen auf nominalem, ordinalem und matrischem Skalierungsniveau vorliegen, nicht durch einfache Korrelationen zwischen univariaten Zustandsgrößen gelöst werden können. Solide methodische Grundlagen für ein vertiefte Auswertung bilden beispielsweise marginale Modelle, wie sie Bäumler und Quednau für die Daten in Bayern angewendet haben.

### Schritt 2: Datenübermittlung an Bund, Bundesauswertung der WSE

Lieferung der geprüften Originaldaten Level 1 und Level 2 an das BML für eine bundesweite Auswertung. Länderberichte stellen eine wichtige Grundlage für weiterführende Auswertungen und Interpretationen der bundesweiten Daten dar.

Die Auswertung auf Bundesebene hat insbesondere die Aufgabe einer mathematisch-statistischen Analyse der großräumigen Erkennung von Zuständen,

Mustern und langjährigen Trends anhand ausgewählter Indikatoren auf der Basis systematischer Stichprobenverfahren. Sie prüft darüber hinaus, inwieweit landesbezogene Ergebnisse und Interpretationen überregional zu bestätigen oder zu falsifizieren sind.

Im einzelnen wird empfohlen,

- auf die Darstellung von Mittelwerten über alle Baumarten zu verzichten, da in den ökologischen Ansprüchen und Reaktionen verschiedener Baumarten große Unterschiede bestehen
- in Ergebnisdarstellungen raumbezogen mögliche Schwerpunkte der Belastungen aufzuzeigen<sup>26)</sup>
- mit mathematisch-statistischen Methoden Daten verschiedener flächenbezogener Übersichtserhebungen mit dem Ziel einer integrativen Auswertung zu verbinden.

### Schritt 3: Integrierende Auswertung verschiedener Ebenen der ökologischen Dauerbeobachtung

Auf der Basis der dem BML zur Verfügung gestellten Daten:

- baumartenbezogene, länderübergreifende Aufarbeitung der Informationen aus **Level 2**
- Überprüfung, inwieweit **Level 1** und **Level 2** Flächen ein ökologisch gleichgerichtetes Verhalten erkennen lassen
- mögliches Konzept einer Verbindung verschiedener Ebenen:
  - Transformation der Information Level 1/Level 2 z.B. nach Kenngrößen der „ökologischen Koordinate“, Baumart, Wuchsgebiet
  - Faktorenabhängigkeit **Level 2**
  - Experimentelle Untersuchung von Mechanismen mit Methoden und Ansätzen der Waldökosystemforschung
- Deutung und Bewertung des Ergebnisses hinsichtlich primärer und sekundärer Faktoren erfolgt durch die Bund/Länder-Arbeitsgruppe der Inventurleiter der Waldschadenserhebung unter Hinzuziehung von externen Experten.

### Schritt 4: Veröffentlichung der Waldschadenserhebung

- Das BML faßt die Ergebnisse der erweiterten Waldschadenserhebung – WSE (siehe neue Definition Kap. 2.1) unter Berücksichtigung der Ergeb-

<sup>26)</sup> Punktdarstellung ermöglichen Informationen über räumliche Schadensschwerpunkte. Übergänge zwischen Regionen werden abgestuft dargestellt, die Gefahr von Informationsverlusten aufgrund von Mittelwertbildung wird begrenzt. Es besteht allerdings auch das Problem möglicher Fehlinterpretationen durch unterschiedliche Baumarten bzw. Baumalter benachbarter Punkte. Eine Darstellung in Form von Isolinien gleichen Kronenzustandes wird dagegen mehrheitlich kritisch bewertet.

nisse forstlicher Versuchs- und Landesanstalten sowie unter Einbeziehung von zur Verfügung gestellten Ergebnissen des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung integrierend zusammen und veröffentlicht diese. Im Sinne einer Kontinuität der Ergebnisdarstellung sollen dabei alle inhaltlich wichtigen, bisherigen Statistiken fortgeführt werden.

- Der Expertenkreis spricht sich grundsätzlich für einen jährlichen Bundesbericht aus, da andernfalls Interessengruppen aus den in der Regel jährlich vorgelegten Landesergebnissen Bundeswerte ableiten, bewerten und veröffentlichen könnten. Im Interesse der Qualität des Berichtes soll jedoch genügend Bearbeitungszeit bleiben, selbst wenn da-

bei die Veröffentlichung nicht mehr im Erhebungsjahr erfolgen kann. Der Expertenkreis empfiehlt mehrheitlich, im Bundesbericht von Jahr zu Jahr thematische Schwerpunkte zu bilden. Die Erarbeitung und Benennung der thematischen Schwerpunkte ist Aufgabe der entsprechenden Bund-/Länderarbeitsgruppe beim BML.

#### Schritt 5:

#### Bereitstellung der Datenbasis für die Wissenschaft

- Bereitstellung der Datenbasis vom Bund nach Abstimmung mit Bundesländern für wissenschaftliche Arbeiten zur weiterführenden, integrierenden Auswertung.

### 3. Statistische Grundlagen der Kronenzustandserhebung

Die Ansprache der Belaubungs- bzw. Benadelungsdichte von Baumkronen ist ein zentrales Element der Waldschadenserhebung. Als Grundlage für eine Bewertung dieses Merkmals werden nachfolgend die Fragen statistischer Grundlagen des Verfahrens, Begriff und Bewertung des Merkmals Kronenverlichtung, Begriff und Anwendung von Schäden im biologischen Sinn sowie Möglichkeiten der Abstufung kurz erläutert. Weiterführende Erläuterungen der mathematisch-statistischen Grundlagen vgl. Schöpfer, W. und Hradetzky, J. 1983, 1984 und 1988 sowie Saborowski, 1997.

#### Auswahlverfahren, Aussageinheit

Das Inventurverfahren der ergänzten Kronenzustandserhebung basiert grundsätzlich auf einer Rastererhebung unter Berücksichtigung des Zufallprinzips.

Das systematische Netz des Auswahlverfahrens umfaßt in der Regel

- eine systematische Verteilung von Kreuzpunkten eines geographischen Quadratgitternetzes
- an Kreuzpunkten jeweils 4 Kreise unterschiedlicher Flächengröße (Satelliten) mit „6 Baum-Stichproben“ nach Prodan (1968), wobei vom Mittelpunkt der Satelliten gerechnet die jeweils 6 nächsten Bäume der herrschenden Baumschicht (Baumklassen 1–3 nach Kraft, 1884) aufgenommen werden.

Bei Übersichtserhebungen im Wald sollen flächenrepräsentative Aussagen erarbeitet werden. Im Falle einer regionaltypisch standortbezogenen Erhebung auf Referenzflächen wäre dagegen eine Hochrechnung auf die Gesamtfläche großer Einheiten nicht angebracht. Im Zuge von Auswertungsarbeiten bietet die Stratifizierung nach standörtlichen Kriterien

die Möglichkeit, durch mathematisch-statistische Analysen Erkenntnisfortschritte zu erlangen (vgl. 5.1.2.1).

#### Sicherheit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse

Mit dem Inventurverfahren werden Anteile der Waldfläche geschätzt, auf der Bäume bestimmter Ausprägung des Kronenzustandes stehen. Dabei wird

- die gesamte Waldfläche einschließlich der Bestandeslücken auf die Probebäume aufgeteilt und
- allen Probenbäumen einer 6er Gruppe jeweils die gleiche Standfläche zugewiesen.

Der Flächenanteil einer Ausprägungsstufe kann dem Anteil der Probebäume in einer Ausprägungsstufe gleichgesetzt werden. Es ist aber unzulässig, den Flächenanteil dem Anteil der Bäume gleichzusetzen: Auf gleicher Fläche wachsen wesentlich mehr kleine und möglicherweise auch besser belaubte bzw. benadelte Bäume als große Bäume.

In Bayern wird der Flächenanteil mit Hilfe des Spiegelrelaskops erfaßt.

Der Expertenkreis stellt fest, daß das angewandte Stichprobenverfahren der Kronenzustandserhebung zu statistisch gesicherten Ergebnissen führt, wenn sich die Darstellung auf Anteile der Waldfläche bezieht, auf der Bäume bestimmter Ausprägung des Kronenzustandes stehen.

Am Beispiel der Daten des Landes Niedersachsen konnte nachgewiesen werden, daß die Stichprobendichte des  $4 \times 4$  km-Rasters in größeren Flächenländern für landesweite Aussagen nach Hauptbaumarten ausreicht. Veränderungen der Kronenverlichtung sind hier in der Regel statistisch gesichert, sie sind nicht zufallsbedingt. Auch bei einer Unterscheidung

nach Altersklassen sind in Niedersachsen Veränderungen der Hauptbaumarten statistisch abgesichert, wenn sie mehr als 3 %-Punkte Differenz aufweisen (Saborowski, 1997).

Der Expertenkreis empfiehlt, in mehrschichtigen Beständen künftig den schichtbezogenen Anteilen der einzelnen Baumarten ein stärkeres Gewicht beizumessen (vgl. Kap. 5.1.2).

## 4. Das Merkmal Kronenverlichtung

### 4.1 Begriff und Bewertung

#### 4.1.1 Begriff

Als Kronenverlichtung wird die jeweilige Belaubungsdichte eines Baumes im Bereich der nicht konkurrenzbeeinflussten Lichtkrone im Vergleich zu einem lokalen, d. h. wuchsplatzbezogenen Referenzbaum bezeichnet. Unter Verlichtung versteht man dabei sowohl den tatsächlichen materiellen Verlust von Nadeln bzw. Laub infolge vorzeitigem Abwurf als auch die Nichtausbildung von Nadeln oder Laub. Die Verlichtung wird ohne Rücksicht auf ihre Ursache eingeschätzt.

Die Verwendung des Begriffs Kronenverlichtung steht im Einklang mit der europaweiten Definition für Level 2 Flächen im „Manual ICP on Assessment and Monitoring of air pollution effects on Forests“ (4. Auflage 1997): „Defoliation is defined as needle/leaf loss in the assessable crown as compared to the local reference tree. Defoliation is assessed regardless of the cause of foliage loss (for example it includes damage by insects). Defoliation may also include thin crowns caused by a lack of foliage, as this may be indistinguishable from true defoliation“.

Bei der Einschätzung der Kronenverlichtung werden neben der Verlichtung weitere morphologische Merkmale, z. B. Verzweigungsanomalien, berücksichtigt. Der Kronenzustand kann daher nicht mit der physikalisch meßbaren Lichtdurchlässigkeit als Maß der Kronentransparenz gleichgesetzt werden.

Anzusprechen ist jeweils der Teil der aktuell vorhandenen Lichtkrone, der nicht durch die Konkurrenz von Nachbarbäumen beeinträchtigt ist.

#### 4.1.2 Referenzbaum (Vergleich mit potentiell maximaler Belaubungsdichte)

Für jeden Baum wird die wuchsplatzbezogen maximal mögliche Belastung bzw. Benadelung zugrunde gelegt (0 %-Kronenverlichtung). Die Vorstellung der lokalen Referenz berücksichtigt den jeweiligen Kronenaufbau und die Entwicklungsphase des Baumes. Die Kronenverlichtung des Probebaumes wird in Prozent der imaginären Vollbelaubung/-benadelung geschätzt.

Für einen räumlichen oder zeitlichen Vergleich bzw. als Schätzmaßstab für Taxatoren ist die Vorstellung bestmöglicher Bäume einer Art bzw. eines Genotyps unabhängig von den konkreten Bedingungen des

Plots hilfreich („Absolute Referenz“). Fotoführer geben Eindruck vom Aussehen dieser Bäume (z. B. EVERS et al.; 1997).

Da Vergleichsdaten über die Häufigkeitsverteilung von Kronenzuständen unbelasteter Wälder nicht vorliegen, kommt der Analyse zahlenmäßiger Veränderungen des Kronenzustandes über die Zeit große Bedeutung für die Auswertung und Interpretation zu.

#### 4.1.3 Bewertung des Merkmals Kronenverlichtung

(1) In einem ersten Schritt hat die Expertengruppe erörtert, ob der Parameter Kronenverlichtung sensibel auf äußere Stressoren reagiert und ob ihm ein Signalcharakter zuzuordnen ist.

Nach den Arbeiten physiologischer Arbeitsgruppen kann für Fichte auf einer Vielzahl unterschiedlicher Freilandstandorte eine Beziehung zwischen biochemischen Streßanzeigern und dem Merkmal Kronenverlichtung nachgewiesen werden (WILD und SCHMIDT, 1995; WILD, A. et al. 1996a und b). Als Beispiel auf der Ebene der Zellchemie kann die Aktivität des Enzyms Phosphoenolpyruvat-Carboxylase (PEPC) als Maß für eine streßbedingte Intensivierung des Stoffwechsels dienen. Die PEPC-Aktivität steigt mit steigendem Nadelverlust bis hin zu über 60 % an. Mit Änderung in der PEPC-Aktivität können Verschiebungen im  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Isotopenverhältnis einhergehen (SAURER et al. 1995). Allerdings sind solche Änderungen nicht streßspezifisch. Ähnliche Zusammenhänge bestehen auch bei dem Gehalt an Photosynthesepigmenten, Komponenten der photosynthetischen Elektronentransportkette sowie bei antioxidativ wirksamen Schutzsubstanzen. Mathematisch-statistische Auswertungen zwischen dem Ausmaß des okular geschätzten Nadelverlustes und biochemischen Streßindikatoren können am Beispiel von Experimenten Wirkungszusammenhänge überprüfen.

Beziehungen wurden auch zwischen dem Bodenzustand, den Nadelspiegelwerten und dem Kronenzustand gefunden. Die Strukturkoeffizienten einer statistischen Analyse aus Rheinland-Pfalz belegen, daß mit einer Verschlechterung des Humuszustandes, zunehmender Versauerung des Mineralbodens und abnehmenden Kalium- und Calciumgehalten am Austausch der mittlere Nadelverlust des Probebaumkollektives zunimmt (BLOCK und WUNN, 1995). Für Hessen wurden anhand kanonischer Korrelationsanalysen nachgewiesen, daß der Nadelverlust bei zunehmender Manganmobilisierung in Fichtenwäldern steigt (GÄRTNER et al. 1990).

Untersuchungen über die Wirkung zunehmender Ozonkonzentrationen auf sommergrüne Pflanzen belegen, daß in Abhängigkeit von der jeweiligen Nährstoffversorgung die Produktionsleistung gerichtet abnimmt (MAURER et al. 1997; MAURER und MATTYSEK, 1997). Dies geht einher mit der Ausbildung kleinerer Blätter, einer Reduktion der Mengen an Seitenästen und zunehmender Kronenverlichtung (MATTYSEK et al., 1992). Änderungen in der Blatt- und Kronenmorphologie sind Ausdruck einer veränderten pflanzeninternen Stoffverteilung und beeinflussen das Konkurrenzverhalten der Bäume (MATTYSEK et al., 1995 und 1997). Den derzeitigen Kenntnisstand zu Ozonwirkungen auf Bäume und Waldbestände faßt ein kürzlich erschienener Reviewband zusammen (SANDERMANN et al., 1997).

Zuwachs ist ähnlich wie die Kronenverlichtung eine integrierte Größe, die Signale zur Wirkung äußerer Faktoren liefert. Während der letzten Jahrzehnte stieg der Gesamtwuchs von Holz auf Waldflächen deutlich über die Prognosewerte der Ertragsstabeln an. Möglicherweise haben die hohen anthropogenen Stickstoffeinträge das Produktionsniveau im allgemeinen angehoben. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß jedoch in Relation zu voll belaubten Bäumen solche mit Nadel- bzw. Blattverlusten schlechter wachsen. Die Biomasseproduktion kann also mit dem Grad der Kronenverlichtung korrelieren. Zusammenhänge zwischen der Kronenverlichtung und Kenngrößen des Zuwachses müssen allerdings regionalisiert betrachtet werden. Beispielsweise gibt es unterschiedliche Reaktionsmuster bei Bäumen der Hochalpen im Vergleich zu den Tallagen Süddeutschlands.

Der Expertenkreis stellt fest, daß die Kronenverlichtung ein vielfach empfindlich auf unterschiedliche äußere Einflüsse reagierendes Merkmal ist, aus dem jedoch nicht unmittelbar auf die Wirkung einzelner spezifisch wirksamer Stressoren geschlossen werden kann. Die Ausprägung der Kronenverlichtung ist mathematisch-statistisch überprüfbar und kann mit anderen sensitiven Merkmalen korrelieren. Sie ist daher ein Indikator, der geeignet ist, in einer Übersichtserhebung allgemeine Belastungen der Wälder aufzuzeigen.

(2) Zweitens hat die Expertengruppe erörtert, ob die Richtigkeit der Erhebung des Merkmals anhand anderer Verfahren überprüft werden kann.

Versuche zu Anfang der WSE, z.B. in Baden-Württemberg, haben gezeigt, daß die Schätzung der Kronenverlichtung die tatsächliche Laub- bzw. Nadelmasse recht zuverlässig bewertet (SCHÖPFER und HRADETZKY, 1988). Zur Validierung der Kronenverlichtungsansprachen haben ganz wesentlich auch die in den 80er Jahren in großem Umfang ausgeführten Pärchenuntersuchungen beigetragen. Solche Pärchenuntersuchungen wurden in vielen Bundesländern aufgeführt, um vitale und unterschiedlich stark geschädigte Bäume aller Baumarten mit Blick auf Benadelung, Zuwachs, Holzqualität, Wurzelentwicklung (EICHHORN, 1987, SCHMIDT-HAAS [1994]:) usw. zu vergleichen. Im Rahmen solcher Pärchenuntersuchungen erfolgten auch umfangreiche

Biomasseanalysen, die es dann erlaubten, den terrestrisch am stehenden Baum angesprochenen Laub- und Nadelverlust mit dem wirklichen Laub- bzw. Nadelverlust zu vergleichen. Solche Untersuchungen (z.B. in Bayern) ergaben durchweg gute Zusammenhänge zwischen okularer Verlichtungsansprache und gemessenen Biomasse-Differenzen.

Nach Angaben aus Baden-Württemberg bestehen gute Übereinstimmungen zwischen der Ansprache von Waldbäumen aus dem Luftbild und der terrestrischen Ansprache (SCHÖPFER und HRADETZKY, 1984).

Langjährige Daten der Fichtenfläche in Solling deuten – unabhängig von mittelfristigen Trends – auf eine jährliche Variabilität der Belaubungsdichte in einer Größenordnung von etwa 10 % hin. Veränderungen der Kronenverlichtung, die über diese Spanne hinausgehen, können am Beispiel dieser Fläche daher nicht allein durch natürliche Variabilität erklärt werden. Inwieweit dies auch für andere Standorte gilt, wurde bislang noch nicht nachgewiesen.

Ein Aufnahmeteam wird grundsätzlich aus zwei forstlich ausgebildeten Personen gebildet. Bei der Durchführung der Kronenzustandserhebung kennen die Aufnehmenden das jeweilige Vorjahresergebnis nicht. Die Teams werden beispielsweise in Rheinland-Pfalz so eingesetzt, daß immer mindestens zwei Teams ein Wuchsgebiet bearbeiten, nie ein Team allein ein komplettes Wuchsgebiet. Die Erhebung wird mit Blick auf die Dynamik der Kronenentwicklung des Laubholzes stets in einem möglichst engen Zeitraum durchgeführt. Entscheidend zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse trägt auch die bundesweite Vereinbarung über den jeweils anzusprechenden Kronenbereich bei, die im Grunde auf die Kronenansprache im europäischen Level 2 Netz übertragen werden konnte. Umfangreiche Maßnahmen der Qualitätssicherung und -kontrolle sind unerlässlich für eine zufriedenstellende Sicherheit der Merkmalerhebung. Dafür ist erforderlich, daß jährlich etwa 10 % der Aufnahmepunkte unabhängig kontrolliert werden.

Als Schätzverfahren kommt der Qualitätssicherung der Bonituren besondere Bedeutung zu. Hierzu dienen landesbezogene, nationale und internationale Abstimmungskurse für Inventurleiter. Nach einer in der Regel einwöchigen Schulungsphase erfolgt jeweils ein Praxistest als Abschluß der Schulung. Die Anspracheergebnisse verschiedener Aufnahmeteams stimmten bisher dabei recht gut überein und blieben auch im Laufe der Zeit konsistent.

Vergleiche der Ermittlung tatsächlicher Blatt- bzw. Nadelmassen mit Luftbildanalysen belegen, daß das Merkmal der Kronenverlichtung operational einsetzbar ist. Die Bonitur der Kronenverlichtung ist ein relatives Maß, das im Vergleich zu einer gedanklichen Referenz praktikabel zu erheben ist.

Der Expertenkreis stellt fest, daß das Merkmal der Kronenverlichtung im Rahmen von Übersichtserhebungen zuverlässig angesprochen werden kann.

Die integrierte Funktion des Merkmals steht jedoch auch in unmittelbarem Zusammenhang mit unspezifischen, u. U. auch zeitverzögerten bzw. entkoppelten Reaktionen der Kronenverlichtung auf verschiedene Stressoren. Wie bereits ausgeführt, erfordert die Interpretation der Ergebnisse daher einerseits eine stärkere Betonung der Analyse zeitlicher Trends, andererseits eine vernetzte Informationsgewinnung im Kontext der Ergebnisse anderer Informationsebenen der Waldökosystemforschung.

## 4.2 Schadensbegriff

„Schaden“ ist rechtlich als die unfreiwillige Einbuße an Rechtsgütern zu verstehen, die eine Person infolge eines Ereignisses erleidet. Zu einem Anspruch auf Schadenersatz führt ein entstandener Schaden dann, wenn er einer anderen Person rechtlich zuzuordnen ist und eine Schadenersatzpflicht besteht (MEIER'S GROBES TASCHENLEXIKON, 1983).

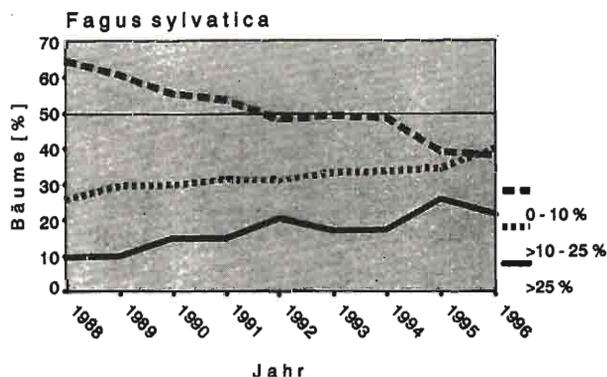
In diesem Sinne kann Schaden als die Differenz zwischen dem Soll-Zustand und dem Ist-Zustand verstanden werden. In der Terminologie der Waldkrankheiten (SCHWERDTFEGGER, 1981) wird Schaden entsprechend als negative Abweichung vom normalen Verlauf der Lebensvorgänge verstanden.

Der Schadbegriff ist zunächst abstrakt, d. h. unabhängig von einer möglichen Klassifizierung und Bewertung des Schadens zu sehen.

Es ist davon auszugehen, daß Bäume im Zuge der Evolution aus Gründen der Konkurrenzkräft Strategien entwickelten, die es erlauben, grundsätzlich ein dichtes Kronendach auszubilden.

Während der letzten 10 Jahre hat jedoch vor allem der Anteil vollbelaubter Buchen und Eichen in der Bundesrepublik – wie auch in Europa – statistisch gesichert deutlich abgenommen (für Hessen: vergl. EICHHORN et al., 1995).

Die nachstehende Darstellung belegt am Beispiel der Buche für Daten aus 7 Staaten der EU bei gleichbleibendem Stichprobenkollektiv eine deutliche Abnahme des Anteils vollbelaubter Buchen zwischen 1988 (ca. 65 %) und 1996 (unter 40 %).



Veränderung des Kronenzustands der Buche in Europa 1988 bis 1996:

Linien: dick gestrichelt: 0–10 %, gepunktet: >10–25 %, durchgezogen: >25 % Kronenverlichtung.

FOREST CONDITION IN EUROPE, EXECUTIVE REPORT UN-ECE/EC, 1997

Die festgestellte Kronenverlichtung ist gegenüber der Vorstellung wuchsplatzbezogener vollbelaubter Bäume als Kronenzustand zu klassifizieren.

## Bewertung von Schäden

Die Fragen: „Kann man über einen Soll-Ist-Vergleich von Übersichtserhebungen zu einer Bewertung des Schadens im Wald kommen?“, wurde vom Expertenkreis mehrheitlich<sup>27)</sup> bestätigt.

Der Expertenkreis bestätigt einstimmig<sup>28)</sup> die Richtigkeit folgender Aussage:

„Prinzipiell kann man aus Kronenverlichtung-, vergilbung und Zweiganomalien auf das Vorhandensein von Waldschäden schließen. Für eine Quantifizierung, d. h. für eine zahlenmäßige Bewertung des Schadens sind jedoch besondere Recherchen notwendig.“

Vitalität kann nach unterschiedlichen Bewertungsmaßstäben beurteilt werden. So nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten (z. B. hinsichtlich Stammzuwachs), dem Erscheinungsbild (z. B. Kronenzustand) oder nach ökophysiologischen Kriterien. So kann Vitalität auch als Anpassungsvermögen von Organismen an einwirkende Umweltbedingungen betrachtet werden, wobei eher daß Ausmaß der erzielten Streßtoleranz als der resultierenden Biomasseproduktion für die Existenz der Pflanze entscheidend ist. Die Befähigung der Pflanze zu veränderter Stoffwechselregulation und hierdurch zur Existenzsicherung unter Streß kann somit bedeutender sein als das Zuwachsverhalten. Vitalität resultiert daher auch aus der Konkurrenzfähigkeit, der Resistenz gegenüber Krankheiten und anderen limitierenden Einflüssen sowie der Regenerationsfähigkeit und Fertilität und ist damit Ausdruck der ökologischen Fitness insgesamt. Auf Vitalität in diesem umfassenden Sinne kann aus dem Kronenzustand allein nicht geschlossen werden.

Schaden kann unterschieden und bewertet werden beispielsweise nach der Intensität (Trivialschaden, Totalschaden), nach der Zeitdauer (vorübergehende Schäden/Dauerschäden), nach der Chance zur Wiederherstellung der Ausgangssituation (heilbare/nicht heilbare Schäden) bzw. nach deren Ursache (z. B. endogen, exogen).

Abweichungen zwischen Soll- und Istzustand müssen in verschiedenen Kompartimenten festgestellt und analysiert werden. Für eine Bewertung des Zustandes von Wäldern muß daher eine Integration der Befunde verschiedener Übersichtserhebungen geleistet werden. Um eine Integration auf der ökosystemaren Ebene zu ermöglichen ist darüber hinaus eine inhaltliche Vernetzung mit Ergebnissen des Intensiven Monitorings und der Ökosystemforschung notwendig (vgl. 2.2.4).

In dieser Weise umrissene Schäden bleiben auch für die Erfüllung von Waldfunktionen nicht ohne Belang.

<sup>27)</sup> Abstimmungsergebnis in der Expertengruppe: 8 „Ja-“ zu 5 „Nein-“ Stimmen

<sup>28)</sup> Abstimmungsergebnis in der Expertengruppe: 13 „Ja-“ zu 0 „Nein-“ Stimmen

Nachfolgend Beispiele für konkrete Situationen, in denen Waldfunktionen durch Kronenschäden beeinflusst werden:

1. Zunehmende Kronenverlichtung schränkt waldbauliche Handlungsmöglichkeiten ein (Waldfunktionen: Schutz der Stoffkreisläufe, Nutzen für den Waldeigentümer).  
Beispiel: Mit zunehmender Kronenverlichtung kommt in frisch – eutrophen Buchenwäldern mehr Licht auf den Waldboden, die Lichtsteuerung durch Beibehaltung eines Altholzschirmes wird wesentlich beeinträchtigt. In der Folge wird die Entwicklung der Naturverjüngung durch nitrophile Bodenvegetation gehemmt.
2. Zunehmende Kronenverlichtung beeinträchtigt wirtschaftliche Ziele der Holzproduktion.  
Beispiel: Mit zunehmender Kronenverlichtung wird die Wahrscheinlichkeit eingeschränkt, daß „Z-Bäume“ oder Bäume, die für Astung vorgesehen sind, das Wirtschaftsziel erreichen. Der relative Zuwachs wird gemindert.

Zunehmende Kronenverlichtung beeinträchtigt ökologische Ziele (Schutzfunktionen) der Waldwirtschaft.

Beispiel: Durch erhöhten Licht- und Wärmeeinfluß auf den Waldboden kann die Mineralisation erhöht sein. Daraus folgen Wirkungen auf die Höhe des Nitrataustrages mit dem Sickerwasser.

### 4.3 Klassifikation des Kronenzustandes

Für eine Klassifikation des Kronenzustandes ist es zunächst notwendig, die Merkmale eines möglichen Kronenschadens wie z. B. Kronenverlichtung, Vergilbung, Veränderungen der Verzweigungsstruktur sowie Veränderungen infolge von biotischen Schadfaktoren jeweils getrennt zu erheben, zu dokumentieren und auszuwerten:

- Die 1984 getroffene Entscheidung, Kronenverlichtung in den Stufen 0–10 %, > 10–25 %, 25–60 %, > 60–95 % und 100 % einzuteilen, entstammte zunächst praktischen Gesichtspunkten der visuellen Einschätzung des Kronenzustandes. Eine Reihe von Untersuchungen bestätigen die 1984 getroffene Einteilung als operational und auch als geeignet, z. B. biochemische Gradienten zu erarbeiten (vgl. 4.1.3). Manuale des ICP-Forests übernahmen die Einteilung z. B. in das Europäische Monitoring Level I.

Die Mehrheit des Expertenkreises befürwortet, die 1984 eingeführten Klassen zunächst zu erhalten, da eine lückenlose Darstellung von Ergebnissen der bisherigen Zeitreihe in anderer Form nicht möglich ist. Dies ist im Sinne einer Wahrung der Kontinuität der Ergebnisse der europäischen Erhebung von Bedeutung.

- Die ungleich großen Stufenbreiten begrenzen jedoch die Auswertungsmöglichkeiten und auch die Transparenz der Daten.
- Um die Auswertung der Daten wesentlich zu verbessern, empfiehlt der Expertenkreis, daß die Bundesländer künftig Originaldaten in 5 %-Stufen an

das BML weitergeben. Zur Wahrung der Zeitreihen sollte dies auch rückwirkend – zumindest ab 1990 – erfolgen. Ein Problem der bisherigen Auswertung lag darin, daß die Länder lediglich Schadstufenverteilungen an das BML weitergaben. Dies behinderte eine Regionalisierung der Ergebnisse. Diese Datenbasis versetzt den Bund künftig in die Lage, in Berichten Ergebnisse verstärkt in Form von Mittelwerten mit Streuungsangaben bzw. als Häufigkeitsverteilungen über Klassen mit gleicher Stufenbreite – etwa 20 %-Stufen – anzugeben<sup>29)</sup>.

- Insbesondere für die Stufe mit >25 bis 60 % Blatt-/Nadelverlust führte in der Vergangenheit die Größe der Stufenbreite und die darin enthaltene Variabilität zu einer Vorstellung, eine weitere Unterteilung vorzunehmen, etwa in eine Stufe 2a: 25 %–45 % und 2b: >45 % bis 60 %. Bei Verwendung der Originaldaten bzw. von Zusammenfassungen in 20 %-Stufen erscheint eine derartige Unterteilung der bisherigen Stufe > 25 bis 60 % jedoch nicht als vordringlich.

Grundlage einer Klassifikation des Kronenzustandes sollen künftig Originaldaten in 5 %-Stufen sein. Der Expertenkreis hält es für notwendig, daß die Bundesländer dem BML diese Datenbasis zur Verfügung stellen. Dieses soll vom frühest möglichen Zeitpunkt an erfolgen, zumindest ab 1990.

Die bisherige Klassifikation ist aus Gründen der europäischen Vergleichbarkeit und der Kontinuität zunächst beizubehalten.

Künftig soll eine Darstellung der Ergebnisse in Form von Mittelwerten mit Streuungsangaben bzw. als Häufigkeitsverteilungen über Klassen mit gleicher Stufenbreite – etwa 20 %-Stufen – angestrebt werden.

Aufbauend auf den Analysen einzelner Merkmale des Kronenzustandes sollen Verknüpfungen vorgenommen werden. Einen derartigen Ansatz verfolgte bereits die 1984 eingeführte und nachstehend aufgeführte Kreuztabelle<sup>30)</sup>. Diese Art der Datenzusammenfassung war in der Vergangenheit Grundlage für eine Vielzahl von Berichten in Deutschland und in Europa.

Nach heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen ist die Art der Zusammenführung der beiden Merkmale Kronenverlichtung und -vergilbung jedoch kritisch zu hinterfragen. Wichtige Aufgabe weitergehender Forschung ist es, die Wechselwirkungen verschiede-

<sup>29)</sup> Die Auswertung kann um die mittlere Kronenverlichtung der einzelnen Baumarten je Rasterpunkt erweitert werden, wenn eine ausreichende Besetzung der einzelnen Baumarten gegeben ist. Das Ergebnis bildet für jeden Stichprobepunkt einen abgeleiteten Meßwert, der mit üblichen statistischen Verfahren ausgewertet und dargestellt werden kann. Aggregierte Werte sind grundsätzlich mit Genauigkeitsangaben (Angabe des Standardfehlers) zu versehen.

<sup>30)</sup> Das „Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analyses of the effects of air pollution on forests“ des ICP Forests der UN/ECE, 1994, das die Handlungsanweisung für das Level I-Programm in Europa darstellt, gibt folgende Klassifikation:

ner Meßgrößen des Kronenzustandes in ihrer jeweiligen Intensität im Hinblick auf die Bewertung von Kronenschäden zu untersuchen. Dies hat zum Ziel, die bisherige Verknüpfung von Kronenverlichtung und -vergilbung zu verbessern.

Ergebnisse dieser Forschungsbemühungen sollten auch den europäischen Partnern mit dem Ziel zur Kenntnis gegeben werden, europaweit an Stelle der bisherigen „Kreuztabelle“ neue Verknüpfungsregeln zur Bewertung von Schäden zu stellen.

Die Ergebnisdarstellung von Meßwerten auf der Basis der „Kreuztabelle“ soll nur solange beibehalten werden, bis – unter Wahrung bestehender Zeitreihen – neue Erkenntnisse zur Wechselwirkung verschiedener Kronenparameter vorliegen.

Vom Expertenkreis wurde die Frage der Bezeichnung von Verknüpfungsstufen als „Schadstufen“ oder als „Zustandsstufen“ kontrovers diskutiert, ohne daß eine einvernehmliche Empfehlung formuliert werden konnte.

Class	Discolouration	Percentage of needles/leaves discoloured
0	None	0–10 %
1	Slight	> 10–25 %
2	Moderate	> 25–60 %
3	Severe	> 60 %

„Kreuztabelle“

Combination of defoliation and discolouration classes				
Defoliation class	Discolouration class			
	0	1	2	3
	Resulting damage class			
0	0	0	1	2
1	1	1	1	2
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3

Class	Degree of Defoliation	Percentage of needle/leaf loss
0	not defoliated	0–10 %
1	slightly defoliated	> 10–25 %
2	moderately defoliated	> 25–60 %
3	severely defoliated	> 60 %
4	dead	

## 5. Weiterentwicklung der Kronenzustandserhebung

Der Expertenkreis empfiehlt nachdrücklich einen Waldschadensbericht, in dem Ergebnisse verschiedener Übersichtserhebungen (z. B. ergänzte Kronenzustandserhebung, Bodenzustandserhebung, Waldernährungserhebung sowie Daten aus anderen flächenbezogenen Informationssystemen) integrierend berücksichtigt werden. Weiterhin sollen in die Übersichtserhebungen neue Merkmale aufgenommen bzw. die Erhebung intensiviert werden. Die Umset-

zung der Empfehlung bedarf zusätzlicher öffentlicher Mittel des Bundes und der Länder.

Hierbei sind zwei Bereiche zu unterscheiden:

- a) Merkmale, die zu einer Verknüpfung verschiedener Netze oder Erhebungen beitragen können (z. B. die „ökologische Koordinate“)
- b) Merkmale mit einem hohen Wert für die Interpretation der Ergebnisse.

### 5.1 Intensivierung und Erweiterung zu berücksichtigender Merkmale

#### 5.1.1 Übersicht

Merkmalsgruppe	Merkmal	Erfassung im Rahmen der ergänzten Kronenzustandserhebung Priorität 1: notwendig, Priorität 2: empfohlen			im Rahmen anderer Übersichtserhebungen <sup>31)</sup>
		Grundaufnahme (einmalig)	periodische Erfassung	periodische Erfassung in Pilotprojekt (Unterstützung)	periodisch
<b>Ökologische Koordinate</b> a) Boniturgößen, Wachstumsfaktoren	a) Ansprache von – Wasserhaushalt – Nährstoffhaushalt – Wärmehaushalt – aktuelle und potentiell natürliche Vegetation in qualitativer Skalierung	wenn nicht vorhanden: notwendig nachzureichen.			
b) Meßwerte zur standörtlichen Situation	b) jahresbezogener Witterungsverlauf				notwendig: meteorologisches Informationssystem Basis: Daten Deutscher Wetterdienst und anderer Institutionen
	jahresbezogene Information zur Situation (Konz. gasförmiger Luftschadstoffe)				notwendig: Geogr. Informationssystem Basis: Messung Bundesländer und Bund

<sup>31)</sup> Im Sinne einer Verknüpfung verschiedener Meßebenen empfiehlt der Expertenkreis, daß sämtliche Merkmale, die im Rahmen von Level I erhoben werden, auch im Intensiven Monitoring bzw. der Waldökosystemforschung erhoben werden.

Merkmalsgruppe	Merkmal	Erfassung im Rahmen der ergänzten Kronenzustandserhebung Priorität 1: notwendig, Priorität 2: empfohlen			im Rahmen anderer Übersichts-erhebungen <sup>32)</sup>
		Grundaufnahme (einmalig)	periodische Erfassung	periodische Erfassung in Pilotprojekt (Unterstichprobe)	
	jahresbezogene Information zur luftbürtigen Depositionssituation				notwendig: Erfassung, Modellierung Basis: Level II Netz der Bundesländer
	variable bodenchemische Kenngrößen (z. B. pH, AKe C/N)			empfohlen	notwendig: Bodenzustandserhebung 2
<b>Bestand allg.</b>	Informationen zur Situation und zur Entwicklung des Baumbestandes (Bestandes- und Waldgeschichte)	wenn nicht vorhanden: notwendig nachzureichen			
<b>Bestandesstruktur</b>  Dichtedaten für Bestand am Stichprobenpunkt	<p>a) qualitative Schätzgrößen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Kronenschlußgrad</li> <li>– Stufigkeit</li> <li>– Pflegezustand</li> </ul> <p>b) gemessene Werte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dichte aus Abstand zum 6-Baum, wenn Mittelpunkt markiert</li> <li>– Anzahl Bäume je ha nach Schichten aus neuen Probekreisen ermittelt, erfordert zus. Inform. zu Bonität, Ertragsniveau</li> <li>– Pflegezustand aus Probeauszeichnung</li> </ul> <p>c) Fish-Eye-Fotodokumentation</p>		<p>a) notwendig</p> <p>b) notwendig</p>	<p>empfohlen</p> <p>empfohlen</p> <p>empfohlen</p>	
<b>Waldwachstum</b>	Baumzuwachs			<p>a) dringend empfohlen<sup>33)</sup></p> <p>b) dringend empfohlen; einzelbaumweise</p>	

<sup>32)</sup> Im Sinne einer Verknüpfung verschiedener Meßebenen empfiehlt der Expertenkreis, daß sämtliche Merkmale, die im Rahmen von Level I erhoben werden, auch im Intensiven Monitoring bzw. der Waldökosystemforschung erhoben werden.

<sup>33)</sup> nur im Wald der öffentlichen Hand

Merkmalsgruppe	Merkmal	Erfassung im Rahmen der ergänzten Kronenzustandserhebung Priorität 1: notwendig, Priorität 2: empfohlen			im Rahmen anderer Übersichtserhebungen <sup>34)</sup>
		Grundaufnahme (einmalig)	periodische Erfassung	periodische Erfassung in Pilotprojekt (Unterstichprobe)	periodisch
<b>Weitere Daten zum Kronenzustand</b>	Verzweigungsstruktur (insbes. Buche)		notwendig mind. alle 5 Jahre		
	Fruktifikation			dringend empfohlen insbes. bei schwerfrüchtigen Baumarten	
	Nadel-/Blattanalysen			empfohlen	notwendig: mehrjährig wiederkehrende Waldernährungsinventuren
	Enzymuntersuchungen			empfohlen für Level II Flächen	
<b>Biotische Schadeinflüsse</b>	a) Laub-/Nadelansprache b) Stammschäden c) Ursachenanalyse an abgestorbenen Probebäumen		a) notwendig bei Hinweis auf überreg. Fraßereignisse b) notwendig c) notwendig, wenn Stämme verfügbar		
<b>Wurzeluntersuchungen</b>				empfohlen für Level II Flächen	
<b>Farbinfrarot-Luftbild</b>	Textur- und Farbwerte von Baumkronen			notwendig	
<b>Satellitendaten</b>	Spektralsignatur abh. von geom. Auflösung der Daten, aber: Kronenverlichtung, -vergilbung und -struktur nicht direkt ansprechbar		derzeit nicht empfohlen		

<sup>34)</sup> Im Sinne einer Verknüpfung verschiedener Meßebenen empfiehlt der Expertenkreis, daß sämtliche Merkmale, die im Rahmen von Level I erhoben werden, auch im Intensiven Monitoring bzw. der Waldökosystemforschung erhoben werden.

## 5.1.2 Merkmale im einzelnen

### 5.1.2.1 Standort

Daten zum Standort sind zu unterteilen in Informationen, die über längere Zeit konstant bleiben und deren Erhebung zur Grundaufnahme der Wachstumsfaktoren zählt, sowie in Informationen, die geeignet sind, dynamische Veränderungen aufzuzeigen.

#### Konstante Grundinformationen zum Standort („Ökologische Koordinate“)

Standörtliche Grundinformationen geben integrierend qualitative Einstufungen der Wachstumsbedingungen wieder. Hierzu zählen beispielsweise folgende Angaben zur Probestfläche:

- Wärmehaushalt<sup>35)</sup>
- Nährstoffhaushalt<sup>36)</sup>
- Wasserhaushalt einschl. Information zu Grund- oder Stauwassertiefe<sup>37)</sup>
- Vegetation<sup>38)</sup>
- Klimastufe bzw. Höhenstufe oder Klimaform
- Wuchsgebiet<sup>39)</sup> sowie
- geologisches Substrat und Bodentyp.

<sup>35)</sup> Wärmehaushalt: Meßgrößen z. B.: mittl. Lufttemperatur des Jahres bzw. der Monate Mai–September.

<sup>36)</sup> Nährstoffhaushalt: Qualitative Einstufung z. B. nach Basensättigung, pH, Austauschkapazität, Humusform.

<sup>37)</sup> Wasserhaushalt: Meßgrößen z. B.: mittl. Niederschlagssumme Jahr bzw. der Monate Mai–September, Klimafeuchte: mm VZ/t VZ + 10, Geländewasserhaushalt: erfaßt Boden- und Reliefkomponente des Standorts. Indikatoren sind Speicherkapazität im Wurzelraum, wasserstauende Bodenschichten, Grundwassereinfluß und geländeklimatische Einflüsse des Reliefs.

<sup>38)</sup> Für die Kennzeichnung der „ökologischen Koordinate“ ist in erster Linie die aktuelle Vegetation erforderlich. Diese steht im Einklang mit dem Standort bzw. Umweltbedingungen, die potentiell natürliche Vegetation läßt natürlich die umweltbedingten Veränderungen außer acht. Aus dem Vergleich der aktuellen mit der potentiellen natürlichen Vegetation lassen sich wichtige Hinweise auf den stattgehabten Standortswandel, die Konsequenzen für den Waldzustand ableiten. „Heutige potentielle natürliche Vegetation“: gedachte höchstentwickelte Vegetation, die mit den gegenwärtigen Standortbedingungen im Einklang steht; „reale Vegetation“: die heute vorzufindende Vegetation (FORSTL. STANDORTAUFNAHME, 1996).

<sup>39)</sup> Auswertungen, die sich räumlich ausschließlich an Verwaltungsgrenzen orientieren, lassen vorhandenes Informationspotential ungenutzt. Es wird daher vorgeschlagen, bundesweit Naturräume oder natürlich definierte Regionen (z. B. Wuchsgebiete) als Aussageeinheit zu verwenden. Das 4 x 4 km-Netz gibt hierzu gute Regionalisierungsmöglichkeiten. Eine Zusammenfassung von Wuchsgebieten erscheint vor allem im Flachland möglich. Nach sächsischen Erfahrungen könnte es notwendig sein, innerhalb der Wuchsgebiete Bereiche unterschiedlicher Immissionsbelastungen abzugrenzen. In diesem Zusammenhang kommt einer Kennzeichnung der Naturräume durch Standorte der Leitgesellschaften Bedeutung zu. Azonale Standorte (Gleye, Moore, Auen, Ranker, Rendzinen) zeigen dagegen oft nur schwache Bindungen an den Naturraum.

Im Sinne bundesweiter Auswertungsansätze kommt einheitlichen begrifflichen Definitionen große Bedeutung zu (z. B. gemäß FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME, 1996). Derartige Informationen liegen für Flächen der Kronenzustandserhebung in der Regel bereits vor. Falls nicht oder nicht einheitlich vorhanden, empfiehlt der Expertenkreis eine nachträgliche Erarbeitung.

#### Zeitlich variable standörtliche Informationen

Der Expertenkreis hält eine Einbeziehung von Informationen zu jährlich bzw. periodisch variierenden Rahmenbedingungen der Waldentwicklung in die Waldschadenserhebung für notwendig. Die Gewinnung und raumbezogene Aufbereitung dieser Informationen ist in der Regel die Aufgabe anderer Übersichtserhebungen. Wichtige Kenngrößen sind insbesondere:

- **Witterungsverlauf**  
In den Waldschadensgebieten sollen Informationen über den jährlichen Witterungsverlauf und seine Ausprägung im Bodenwasserhaushalt aufgenommen werden. Ein „Meteorologisches Informationssystem“ auf der Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes und anderer Institutionen kann dazu beitragen, Witterungsbedingungen an den Stichproben gutachtlich zu kennzeichnen.
- **Belastung mit luftgetragenen Spurenstoffen (z. B. O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) sowie Inhaltsstoffen der Deposition in Waldgebieten**  
Für die Immissions- und Depositionssituation soll aus den Ergebnissen der großräumig verteilten luftchemischen Meßstationen ein raumbezogener Jahresverlauf erarbeitet werden, so daß die Depositionsraten und die Konzentrationsdosis in einzelnen Regionen mit kritischen Werten verglichen werden können.
- **Variable bodenchemische Kenngrößen des bodenchemischen Zustandes**  
Der Expertenkreis empfiehlt eine Verknüpfung der Daten zum erweiterten Kronenzustand mit Kenngrößen des chemischen Bodenzustandes. Hierzu bietet sich in erster Linie der Datensatz der bundesweit durchgeführten Bodenzustandserhebung – (DEUTSCHER WALDBODENBERICHT, 1996) an. Die große Punktzahl der BZE bietet die Möglichkeit einer nachträglichen Stratenbildung und Differenzierung der Kronenzustandsdaten nach standortsbezogenen Kriterien. Der Expertenkreis hält eine periodische Wiederholung der BZE für notwendig.  
Darüber hinaus wird die periodische Erhebung einfacher Kenngrößen (z. B. pH, C/N) an einer Teilstichprobe des Level I Netzes in kürzeren Zeitabständen als sinnvoll erachtet.

Eine raumbezogene Zuordnung von Standorts-, Boden-, Witterungs- und Immissionsinformationen ergibt im Sinne einer „ökologischen Koordinate“ eine mögliche Brücke zu einem stärker ökosystemaren Ansatz. Dabei ist es aus mathematisch-statistischer Sicht unerheblich, ob man als Eingangsgröße den mittleren Nadel- bzw. Blattverlust oder Häufigkeits-

verteilungen beobachteter Merkmalsklassen verwendet. Auch ohne deterministisch auf bestimmte Erklärungen hinzuarbeiten, kann untersucht werden, welche Einflußgrößen prägend sind oder auch ausgeschlossen werden können. Forstliche Versuchs- und Landesanstalten verschiedener Bundesländer haben bereits entsprechende Literaturbeiträge vorgelegt. Es wird vorgeschlagen, derartige Berichte der Bundesländer in den Waldzustandsbericht der Bundesregierung zu integrieren.

### 5.1.2.2 Bestand (Bezug: Stichprobenpunkt)

#### Wald- und Bestandesgeschichte

Der Expertenkreis ordnet der Dokumentation der bisherigen Bestandes- und auch der Waldgeschichte früherer Baumgenerationen große Bedeutung zu.

#### Bestandesstruktur

Die Einbeziehung von Informationen zur Bestandesdichte und Bestandesstruktur ist notwendig, um Kronenveränderungen in Beziehung zur Dynamik der Bestandesstruktur zu bringen und sie einer Ursachenanalyse zuzuführen.

Somit kann eine Anbindung der primär baumbezogenen Kronenansprache an die Bestandesebene erreicht werden. Der Expertenkreis empfiehlt daher nachdrücklich, Informationen zur Bestandesstruktur zu erarbeiten und in der Auswertung zu nutzen.

Verschiedene Landesforstverwaltungen verwirklichen seit mehreren Jahren waldbauliche Konzepte, die naturnahe bzw. vielfach dauerwaldähnliche Strukturen verwirklichen. Der Expertenkreis weist darauf hin, daß die Beschränkung der Probebaumauswahl auf den herrschenden Bestand zunehmend Probleme für die Aussagefähigkeit hinsichtlich des Gesamtwaldes aufwirft. Vorschläge für mögliche Verfahrensweisen zur Überwindung dieses Problems sollten rechtzeitig erarbeitet werden.

#### Qualitative Boniturwerte

Zu erfassen sind als qualitative Boniturgrößen insbesondere:

- Kronenschluß
- Stufigkeit bzw. Schichtung
- Kronenprozent (Bekronungsgrad) von Einzelbäumen
- Pflegezustand.

Aus diesen Meßzahlen können wesentliche Informationen zur Bestandesstruktur abgeleitet werden (PRETZSCH, 1996 b).

#### Gemessene Werte

Die Mehrheit des Expertenkreises empfiehlt darüber hinaus **gemessene Werte zur Bestandesdichte** bzw. zur Bestandesstruktur.

- Aus 6-Baum-Stichproben können unter der Voraussetzung, daß der Mittelpunkt bei der Anlage der Stichprobe markiert wurde und dieser bis heute erkennbar ist, insbesondere folgende Daten abgeleitet werden:
  - Bestandesgrundfläche je ha nach Baumarten getrennt
  - Stammzahl je ha nach Baumarten getrennt. In stufigen Beständen kann eine Darstellung der Anzahl der Individuen in Abhängigkeit vom Durchmesser Aufschluß über die Mehrschichtigkeit des Bestandes geben.
- Falls der 6-Baum-Stichprobenmittenpunkt fehlt: Herleitung der o.g. Dichtemaße aus anderen Stichprobenverfahren (z.B. feste Probekreise in der Nähe des ehemaligen Stichprobenmittelpunktes)
- Pflegezustand aus Probeauszeichnung: Maßzahl: ausscheidende Grundfläche je ha
- Quantitative Auswertung zur Bestandesstruktur auf der Basis von himmelwärts gerichteten „Fish-Eye“-Fotoaufnahmen.

#### Ausscheidende Probebäume

Die Stichprobenpunkte der WSE unterliegen der üblichen forstlichen Bewirtschaftung. Wenn Bäume aus der Stichprobe ausscheiden oder absterben, verändert sich der Standraum verbleibender Bäume. Der Expertenkreis begrüßt die in der bisherigen Kronenzustandserhebung bereits eingeführte Praxis einer Dokumentation nach Ursachen des Ausscheidens.

Die Darstellung einer jährlichen Mortalitätsrate absterbender Bäume wird als zweckmäßig angesehen, nicht jedoch eine über längere Beobachtungszeiträume akkumulierte Zahl der abgestorbenen bzw. entnommenen Bäume. Da die Untersuchungsflächen der normalen forstlichen Bewirtschaftung freigegeben sind, ist die Häufigkeit toter bzw. fehlender Bäume in der Stichprobe letztlich eine Folge der Bewirtschaftungsmaßstäbe der Forstbetriebe.

### 5.1.2.3 Waldwachstum

Zuwachs ist eine integrierende Größe, die als zusätzliches Merkmal Informationen zur Präzisierung des Schadbildes liefert. Der Kronenzustand kennzeichnet das Produktionspotential von Bäumen. Der Zuwachs bzw. das Wuchsverhalten des Baumes ist im Vergleich dazu ein Indiz, das die Ausschöpfung des Potentials beschreibt. Kronenzustand und Zuwachs stehen in enger Wechselwirkung (PRETZSCH, 1992 und 1996).

Der Expertenkreis sieht es als notwendig an, Zusammenhänge zwischen dem Kronenzustand und dem Zuwachs bei verschiedenen Baumarten und unter verschiedenen standörtlichen Verhältnissen herauszuarbeiten<sup>40)</sup>. Eine Verknüpfung der beiden Größen kann dazu beitragen, Schadtypen zu identifizieren, regionale Differenzierungen zu beschreiben und Beiträge zur Aufklärung von Reaktionsnormen zu leisten (PRETZSCH UND UTSCHIG, 1989, UTSCHIG, H. [1989]).

Der Expertenkreis empfiehlt, im Rahmen einer Pilotstudie mehrerer Bundesländer – etwa als Unterstichprobe der Flächen der ergänzten Kronenzustandserhebung oder auf Flächen des Intensiven Monitorings – Dauerumfangmeßbänder zur jährlichen Aufzeichnung des Durchmesserzuwachses an Bäumen zu verwenden, von denen die mittelfristige Entwicklung des Kronenzustandes bekannt ist. Das Beprobieren einer Teilmenge von Bäumen mit dem Zuwachsbohrer kann wichtige ergänzende und auch retrospektive Informationen liefern.

#### 5.1.2.4 Weitere Daten zum Kronenzustand

##### Verzweigungsstruktur

Charakteristisch für Situationen erhöhter Kronenverlichtung sind vielfach Veränderungen in der Kronenstruktur, insbesondere in der Verzweigung. Veränderungen in der Kronenstruktur lassen sich über mehr als ein Jahrzehnt zurückverfolgen, sie repräsentieren also relativ langfristige Entwicklungen. Die Bewertung der Verzweigungsstruktur von Laubbäumen im Winterzustand ergänzt die sommerliche Kronenverlichtungsansprache zweckmäßig. Es wird empfohlen, mindestens alle 5 Jahre eine derartige Winteransprache durchzuführen.

##### Fruktifikation

Die Bildung von Blüten und Früchten steht insbesondere bei schwerfrüchtigen und reservestoffreichen Baumarten vielfach in einem engen Zusammenhang mit der jeweiligen Kronenverlichtung und dem Ausmaß des Stammzuwachses. Es ist zu bedenken, daß der Zeitpunkt der Kronenansprache z. B. bei der Eiche zur Bewertung der Fruktifikation ungünstig liegt. Der Expertenkreis empfiehlt daher die Fruktifikationsbonitur auf einer Unterstichprobe des Level 1-Netzes. Falls eine derartige Zusatzbonitur aus Kostengründen nicht möglich ist, sollten diese Zusammenhänge durch entsprechende Untersuchungen auf den Flächen des Intensiven Monitorings erfaßt werden.

<sup>40)</sup> Diese Aufgabe kann von der Bundeswaldinventur – BWI nicht geleistet werden. Das der BWI zugrundeliegende Aufnahmeraster ist gegenüber dem der WSE verschoben. Darüber hinaus wird der Kronenzustand in der BWI nicht erfaßt und das lange Wiederholungsintervall wäre auch nicht geeignet. Zeitreihen des Kronenzustandes zu dokumentieren. Andererseits ist es nicht die Aufgabe der WSE, Auskunft über den aktuellen Zuwachs in der Bundesrepublik zu geben.

#### Nadel-/Blattanalysen

Der Expertenkreis empfiehlt, zur Bestimmung der Ernährungssituation von Waldbäumen und zur Klärung möglicher Wechselwirkungen mit dem Kronenzustand, Nadel- bzw. Blattanalysen von bundesweiten Ernährungserhebungen zu nutzen. Um diese Ergebnisse mit dem Netz der ergänzten Kronenzustandserhebung verknüpfen zu können, wird empfohlen, vergleichbare Untersuchungen auf einer Unterstichprobe des Level 1-Netzes durchzuführen.

Bei Blattanalysen sollten auf dieser Unterstichprobe Stoffgehalte auch in der Einheit „Menge pro Organ“ über die Bestimmung des 100 Blattgewichtes angegeben werden und nicht nur als Konzentration pro Gramm Trockengewicht.

Nadelanalysen sind mindestens zweimal im Jahr durchzuführen: Im Juni nach Ende des Streckungswachstums und im Herbst bzw. in der Vegetationsruhe. Zweckmäßig ist die Beprobung des 1. und des 3. Nadeljahrgangs.

#### Enzymuntersuchungen

Untersuchungen zu Streßenzymen wie PEPC oder dem 12C/13C-Isotopenverhältnis in der Biomasse können Beiträge zur Konkretisierung externer Belastungen leisten. Der Expertenkreis empfiehlt derartige Erhebungen in erster Linie im Rahmen des Intensiven Monitorings bzw. auf Flächen der Waldökosystemforschung.

#### 5.1.2.5 Biotische Schadeinflüsse

Das Absterben von Probebäumen steht vielfach in unmittelbarem Zusammenhang mit einem Befall durch biotische Schaderreger. Ohne biotisch verursachte Schäden (Mikroorganismen, Insekten) kann ein prädisponierter Baum/Bestand oft jahrelang weiterexistieren. Auf stark destabilisierten Probeflächen kommt daher der Dokumentation biotischer Faktoren im Absterbevorgang von Probebäumen besondere Bedeutung zu. Der Expertenkreis empfiehlt, abgestorbene Stämme – soweit verfügbar – näher auf biotische Faktoren zu untersuchen.

Eine Intensivierung der Ansprache von biotischen Faktoren im Kronenbereich lebender Bäume, etwa im Sinne einer zusätzlichen Frühjahrsansprache von Probeflächen, wird nur empfohlen, wenn Hinweise auf überregionale Fraßereignisse bestehen. Falls eine Zusatzbonitur im Frühjahr aus Kostengründen nicht möglich ist, sollte der Zusammenhang zwischen Insektenschäden und Kronenzustand eingehend auf den Flächen des Intensiven Monitorings untersucht werden.

#### 5.1.2.6 Wurzelzustand

Belastungen der Waldböden durch Stoffeinträge und Pathogene legen nahe, daß ein ökologisches Monitoring auch den Wurzelraum erfassen muß. Die Bedeutung derartiger Untersuchungen wird durch vielfältige wissenschaftliche Arbeiten belegt.

Der Expertenkreis empfiehlt derartige Erhebungen in erster Linie im Rahmen des Intensiven Monitorings bzw. auf Flächen der Waldökosystemforschung.

### 5.1.2.7 CIR-Luftbild, Satellitendaten

Die Kronenverlichtung wird nach einer einfachen aber gut reproduzierbaren Methode beurteilt. Als ergänzende Informationsquelle bietet sich die Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern an. Die Ansprache des Kronenzustandes aus Luftbildern ist ein eingeführtes, gut praktikables Verfahren und dient sowohl

der Dokumentation als auch für Detailinformationen. Sie ermöglichen den direkten Vergleich von Kronenzuständen. Die Datengrundlage bleibt über Jahre erhalten.

Die Entwicklung hochauflösender Satellitendaten und Verfahren der digitalen Photogrammetrie lassen vermuten, daß digitale Bildverarbeitung künftig verstärkt für die Beobachtung von Waldzuständen eingesetzt werden kann. Derzeit können Satellitendaten allerdings nicht die Aufgaben der Kronenzustandserhebung übernehmen.

## 6. Literaturverweise

- BÄUMLER, A.; QUEDNAU, H.-D.: Untersuchungen des Zusammenhangs von Zuwachs und Kronenzustand mit marginalen Modellen. Tagungsband 9. Tagung der Sektion Biometrie und Informatik in Oybin.
- BLOCK, J. und WUNN, U. (1995): Beziehungen zwischen Bodenparametern, Nadelinhaltsstoffen und Kronenzustand. In: Block et al.: Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung. Mitt. d. Forstl. Vers. Anst. Rheinland-Pfalz. Nr. 35/96, S. 15–42
- DEUTSCHER WALDBODENBERICHT, (1996) Band 1 und 2 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- EICHHORN, J. (1987): Vergleichende Untersuchungen von Feinwurzelsystemen bei unterschiedlich geschädigten Altlichen (*Picea abies* KARST.). Forschungsberichte Hess. Forstl. Versuchsanstalt, Bd. 3; unveränderte Neuauflage 1991, Hann. Münden: 179 S.
- EICHHORN, J., PAAR U. und SCHÖNFELDER, E. (1995): 10 Jahre Waldschadenserhebung: Ergebnisse, Folgerungen, Perspektiven. Allg. Forstz. 50, 791–794
- EVERS, J.; FRANZ, C.; KÖRVER, F.; ZIEGLER, C. (1997): Waldbäume, Bilderserien zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. AG Dauerbeobachtungsflächen der Länder und des Bundes in Deutschland. Verlag Faste, Kassel, 160 S.
- FOREST CONDITION IN EUROPE, EXECUTIVE REPORT UN-ECE/EC (1997)
- FORSCHUNGSBEIRAT WALDSCHÄDEN/LUFTVERUNREINIGUNGEN (1989): 3. Ber. KfK Karlsruhe, 611 S.
- FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME (1996) 5. Aufl. 1996. Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, IHW-Verlag, Echting bei München, S. 352
- GÄRTNER, E. J.; URFER, W.; EICHHORN, J.; GRABOWSKI, H. und HUSS, H. (1990): Die Nadelverluste mittelalter Fichten (*Picea abies* (L.) KARST.) in Hessen in Abhängigkeit von Nadelinhaltsstoffen, Bodenelementgehalten und Standortsfaktoren. For. Ber. Hess. Forst. Vers. Anst. Bd. 10, 192 S.
- INTERNATIONAL COOPERATIVE PROGRAMME ON ASSESSMENT AND MONITORING AIR POLLUTION EFFECTS ON FORESTS (ICP FORESTS) (1997): Manual UN/ECE, 4. Auflage
- KRAFT, G. (1984): Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben, Hannover
- MATYSSEK, R.; GÜNTHARDT-GOERG, M. S.; SAURER, M.; KELLER, T. (1992): Seasonal growth,  $\delta^{13}\text{C}$  in leaves and stem, and phloem structure of birch (*Betula pendula*) under low ozone concentrations. Trees 6; 69–76
- MATYSSEK, R.; REICH, P. B.; OREN, R.; WINNER, W. E. (1995): Response mechanisms of conifers to air pollutants. In: Smith, W. K.; Hinckley, T. H. (eds.): Physiological Ecology of Coniferous Forests. Physiological Ecology Series, Academic Press, New York, 255–308
- MATYSSEK, R.; HAVRANEK, W. M.; WIESER, G.; INNES, J. L. (1997): Ozone and the forests in Austria and Switzerland. In: Sandermann, H. jr.; Wellburn, A. R.; Heath, R. L. (eds.): Forest decline and ozone: a comparison of controlled chamber and field experiments. Ecological Studies 127, Springer-Verlag, Berlin, 95–134
- MAURER, S.; MATYSSEK, R.; GÜNTHARDT-GOERG, M. S.; LANDOLT, W.; EINIG, W. (1997): Nutrition and the ozone sensitivity of birch (*Betula pendula*), I. Responses at the leaf level. Trees (in press)

- MAURER, S.; MATYSSEK, R. (1997): Nutrition and the ozone sensitivity of birch (*Betula pendula*), II. Carbon balance, water-use efficiency and nutritional status as the whole plant. *Trees* (in press)
- MEIER'S GROßES TASCHENLEXIKON IN 24 BÄNDEN (1983): Band 19, aktualisierte Neuausgabe, Bibliographisches Institut Mannheim, Meier's Lexikon Verlag
- PRETZSCH, H.; UTSCHIG, H. (1989): Das „Zuwachstrend-Verfahren“ für die Abschätzung krankheitsbedingter Zuwachsverluste auf den Fichten- und Kiefern-Weiserflächen in den bayerischen Schadgebieten. *Forstarchiv*, 60. J., J. 5, 188 bis 193
- PRETZSCH, H. (1992): Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. *Forstw. Cbl.*, 111 Jg., 366 bis 382
- PRETZSCH, H. (1996A): GROWTH TRENDS OF FORESTS IN SOUTHERN GERMANY. IN: SPIEKER, H.; MELIKÄINEN, K.; KÖHL, M.; SKOVSGARRARD, J. P. (Hrsg.): GROWTH TRENDS IN EUROPEAN FORESTS, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 107–131
- PRETZSCH, H. (1996B): Erfassung des Pflegezustandes von Waldbeständen bei der zweiten Bundeswaldinventur. *AFZ/Der Wald*, 51. Jg., 15, 820–823
- PRODAN, M. (1968): Punktstichprobe für die Forsteinrichtung. *Der Forst- und Holzwirt*, 225–226
- SABOROWSKI, J.; DAHM, S. (1997): Waldzustandserhebung Niedersachsen. Abschlußber. Nds. Forstl. Vers. Anst. Göttingen; S. 32
- SANDERMANN, H. JR.; WELLBURN, A. R.; HEATH, R. L. (eds. 1997): Forest decline and ozone: a comparison of controlled chamber and field experiments. *Ecological Studies* 127
- SAURER, M.; MAURER, S.; MATYSSEK, R.; LANDOLT, W.; GÜNTHARDT-GOERG, M. D.; SIEGENTHALER, U. (1995): The influence of ozone and nutrition on  $\delta^{13}C$  in *Betula pendula*. *Oecologia* 103: 397–406
- SCHMIDT-HAAS, P. (1994): Kronenverlichtung der Fichte als Indiz für mangelhafte Gesundheit und Stabilität; Fäule an Stützwurzeln als eine der Ursachen. *Schweizerische Z. Forstwesen*, 145 5; 371 bis 387
- SCHÖPFER, W.; HRADETZKY, J. (1983): Zielsetzungen, Methoden und Probleme der terrestrischen Waldzustandsinventur in Baden-Württemberg 1983. *Mitt. aus d. Forstl. Versuchs- und Forschungsanst. Baden-Württemberg*, Heft 106, 26 S. und Anlagen
- SCHÖPFER, W.; HRADETZKY, J. (1984): Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983 mit Infrarot-Farbluftbildern. *Mitt. d. FVA Baden-Württemberg*, H. 111
- SCHÖPFER, W.; HRADETZKY, J. (1988): Vergleich von Kronenkennwerten für Fichte und Tanne. *Forst und Holz*, Heft 6
- SCHRÖCK, H. W. (1994): Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz – Entwicklung und Einflußfaktoren. *Mitt. d. Forstl. Vers. Anst. Rheinland-Pfalz*. Nr. 28/94, 229 S. und Anhang
- SCHWERDTFEGGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes. Paul Parey, Hamburg
- UTSCHIG, H. (1989): Waldwachstumskundliche Untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. Auswertung der Zuwachstrendanalyseflächen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde für die Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.). Bayer. Forstl. Forschungsber. München Nr. 97, 198 S.
- WILD, A. und SCHMITT, V. (1990): Physiologische und cytomorphologische Untersuchungen an ungeschädigten und geschädigten Fichten im Nord-schwarzwald (Freudenstadt). In: 8. Statuskolloquium des PEF vom 17.–19. März 1992 im Kernforschungszentrum Karlsruhe. *KfK-PEF Ber.* 94: 47 bis 60
- WILD, A.; SCHMITT, V. (1995): Diagnosis of damage to Norway spruce (*Picea abies*) through biochemical criteria. *Physiol. Plant.* 93, 375–382
- WILD, A.; SCHMITT, V., EIS, U.; STROBEL, P.; WILKSCH, W.; WOHLFAHRT, S. (1996A): Okulare und biochemische Schadensdiagnose bei Fichten und Weißtannen. Ein Vergleich beider Diagnoseverfahren an Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg. Abschlußber. eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Projektes „Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung“ (KfK: PEF 1 93 003). Mainz, 1996
- WILD, A. SABEL, P.; WILD-PETERS, L.; SCHMIEDEN, U. (1996B): Photosynthesis and transpiration in damaged and undamaged spruce trees. *Z. Naturforsch.* 51 c, 200–210

## 7. Zusammenfassung der Empfehlungen der Expertengruppe Waldzustandserfassung

### Frage 1:

Inwieweit kann und sollte auch künftig die visuelle Erfassung der Kronenverlichtung (des sog. „Nadel- bzw. Blattverlustes“) als wesentliches Merkmal zur Beurteilung der Vitalität bzw. des Zustandes von Bäumen herangezogen werden?

Änderungen in der Blatt- und Kronenmorphologie sind Ausdruck einer veränderten pflanzeninternen Stoffverteilung, die das Konkurrenzverhalten der Bäume und die Stabilität der Bestände beeinflussen.

Der Expertenkreis stellt fest, daß die Kronenverlichtung häufig rasch und empfindlich auf unterschiedliche äußere Einflüsse reagiert. Die Reaktion kann aber nicht unmittelbar auf die Wirkung einzelner oder eine Gruppe bestimmter Stressoren zurückgeführt werden. Dazu sind weitere Recherchen notwendig.

Das Inventurverfahren der Kronenzustandserhebung basiert auf einem regelmäßigen Raster unter Berücksichtigung des Zufallsprinzips. Das Merkmal der Kronenverlichtung kann im Rahmen der Übersichtserhebung sicher und zuverlässig angesprochen werden.

Der Expertenkreis stellt fest, daß das angewandte Stichprobenverfahren zu statistisch gesicherten Ergebnissen führt. Die ergänzte Kronenzustandserhebung ist ein wichtiger Indikator für den Waldzustand und für die Waldschadensforschung.

Die großräumige Aufnahme der Kronenverlichtung sollte deshalb auch weiterhin vorgenommen werden, ihre Auswertung und Interpretation jedoch auf eine bessere statistische und ökologisch differenziertere Basis gestellt werden.

### Frage 2:

Gibt es weitere Kenngrößen, die zur Beurteilung und Beschreibung des Zustandes der Wälder in Deutschland herangezogen werden sollten?

Der Expertenkreis befürwortet – auf der Ebene von Übersichtserhebungen – den Merkmalskatalog der visuellen Erfassung des Kronenzustandes zu erweitern durch:

- baumbezogene Parameter wie Verzweigungsstruktur, Fruktifikation sowie intensiver zu erfassende biotische Schadeinflüsse. An einer Unterstichprobe soll das Wachstum der Probestämme in Relation zu ihrem Kronenzustand erfaßt und Ernährungserhebungen an Assimilationsorganen durchgeführt werden.
- die Erhebung bestandesbezogener Kennwerte und das Konzept so zu einem starken ökosystemaren Ansatz zu entwickeln. Hierzu zählen Informationen zur Wald- bzw. Bestandesgeschichte sowie zur Bestandesstruktur. Neben den qualitativen

Schätzgrößen Kronenschlußgrad, Schichtung und Pflegezustand empfiehlt der Expertenkreis insbesondere die zahlenmäßige Erfassung der Bestandesdichte aus Stichprobenaufnahmen.

- standörtliche Grunddaten. Dies beinhaltet sowohl langfristig unveränderliche Boniturgrößen als auch zeitlich variable Meßgrößen.
- Einbeziehung und Nutzung weiterer flächenbezogener Informationsquellen wie Bodenzustandserhebung, Waldernährungserhebung, Geographische Informationssysteme, meteorologische Daten, Immissions- und Depositionsdaten.
- eine inhaltliche und zahlenmäßige Verbindung zu den Informationen des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung.

Eine Integration der Ergebnisse verschiedener Meßebenen muß jedoch jeweils den raum-zeitlichen Gültigkeitsbereich der einbezogenen Daten berücksichtigen.

### Frage 3:

Ist es zulässig, die Kronenverlichtung für die Bestimmung der Schadstufen zu nutzen?

Diese Frage wurde vom Expertenkreis mehrheitlich bejaht. Einstimmig wurde festgestellt, daß man prinzipiell aus Kronenverlichtung, Blatt-/Nadelvergilbung und Zweiganomalien auf Waldschäden schließen kann. Für eine Quantifizierung, d.h. für eine zahlenmäßige Bewertung des Schadens sind jedoch weiterführende Recherchen notwendig.

Eine zusätzliche Kronenverlichtung schränkt waldbauliche Handlungsmöglichkeiten ein, beeinträchtigt wirtschaftliche Ziele der Holzproduktion und die ökologischen Ziele der Waldwirtschaft. Darüber hinaus kann sie die Mineralisation des Waldbodens erhöhen mit Auswirkungen auf den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser.

### Frage 4:

Halten Sie den Begriff „Schadstufen“ für angebracht?

Der Expertenkreis hat die Bezeichnung „Schadstufen“ oder „Zustandsstufen“ kontrovers diskutiert. Es kam zu keiner einvernehmlichen Empfehlung.

### Frage 5:

Entspricht die derzeitige Einteilung der Schadstufen dem heutigen Erkenntnisstand der Baumphysiologie oder ist eine Änderung angebracht?

Die Mehrheit der Experten befürwortet die 1984 eingeführten Klassen aus Gründen der europäischen Vergleichbarkeit und der Kontinuität zunächst zu erhalten. Sie empfehlen darüber hinaus, daß die Bun-

desländer künftig dem BML die Originaldaten in 5 %-Stufen zur Verfügung stellen. Dieses soll vom frühest möglichen Zeitpunkt an erfolgen, zumindest ab 1990.

Eine Darstellung der Ergebnisse in Form von Mittelwerten mit Streuungsangaben bzw. als Häufigkeitsverteilungen über Klassen mit gleicher Stufenbreite (z. B. 20 %) wird angestrebt.

**Frage 6:**

Derzeit wird die Öffentlichkeit über den Waldzustand im Bundesbericht mit folgenden Kennzahlen informiert: Anteil der Schadstufen 2–4 für alle Baumarten bzw. aufgegliedert nach Baumarten, Bundesgebiet, Ländergruppen oder Ländern und in Jahren einer Vollstichprobe nach Wuchsgebieten. Halten Sie dieses Vorgehen für vertretbar?

Der Expertenkreis empfiehlt, die geprüften Originaldaten aus Level I und Level II für eine bundesweite Auswertung weiterzuleiten. Die Länderberichte stellen eine wichtige Grundlage für weiterführende Auswertungen und Interpretationen der bundesweiten Daten dar.

Im einzelnen wird empfohlen, auf die Darstellung von Mittelwerten über alle Baumarten zu verzichten. In Ergebnisdarstellungen sind raumbezogene Schwerpunkte der Belastungen aufzuzeigen und mit mathematisch-statistischen Methoden Daten verschiedener flächenbezogener Übersichtserhebungen zu verbinden.

Das BML faßt die Ergebnisse der erweiterten Waldschadenserhebung unter Einbeziehung der Ergeb-

nisse des Intensiven Monitorings und der Waldökosystemforschung integrierend zusammen und veröffentlicht diese jährlich. Dabei wird empfohlen, jeweils thematische Schwerpunkte zu bilden.

**Frage 7:**

Auf welcher Datenbasis und mit welchen Kenngrößen und in welchem Turnus sollte künftig der Waldzustand ermittelt und beurteilt werden?

Die Datenbasis ergibt sich aus den Ergebnissen der Waldschadenserhebung, dem Intensiven Monitoring und der Waldökosystemforschung. Die künftig erweiterte Waldschadenserhebung umfaßt dabei neben der Erhebung des Kronenzustandes, der Bestandesstruktur, biotischer Faktoren, der ökologischen Koordinate, des Bodenzustandes, der Waldernährung auf einer Unterstichprobe waldwachstumskundliche Untersuchungen. Daten anderer flächenbezogener Informationssysteme sind insbesondere im Hinblick auf Witterung, Immissionen und Depositionen zu nutzen.

Der Expertenkreis mißt langfristigen Zeitreihen umweltbezogener Daten große Bedeutung zu. Zeitreihen helfen, die Variation der Meßwerte zu bewerten, Trends abzuleiten und jährlich variierende Einflüsse zu beschreiben. Es wird empfohlen, Übersichtserhebungen in zweckmäßigen Abständen zu wiederholen.

Der Expertenkreis spricht sich prinzipiell für einen jährlich zu erstattenden Bundesbericht aus.

