

WALDZUSTANDSBERICHT 2001
der Länder Brandenburg und Berlin

Impressum

Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg,
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Heinrich-Mann-Allee 103, 14469 Potsdam
Tel.: 03 31 / 8 66 70 16 oder - / 8 66 70 17, Fax: - / 8 66 70 18
Internet: www.brandenburg.de/land/mlur
E-Mail: pressestelle@mlur.brandenburg.de

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
Sonderbereich Kommunikation
Württembergische Straße 6, 10707 Berlin
Tel.: 030 / 90 12 68 69, Fax: - / 90 12 35 01
Internet: www.stadtentwicklung.berlin.de
E-Mail: oeffentlichkeit@senstadt.verwalt-berlin.de
Natur & Text in Brandenburg GmbH, Rangsdorf

Satz:

Druck und

buchbinderische Verarbeitung: Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam mbH

Auflage: 1000 Exemplare

ISBN: 3-933352-43-6

Potsdam und Berlin, im November 2001

Titelbild:

Naturreichtum, historische Kulturlandschaft und wieder erweckte Metropole – Werte der Region
Berlin-Brandenburg. Blick vom Belvedere auf dem Potsdamer Pfingstberg in Richtung Berlin
Foto: Uwe Engler, Berlin

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Kurzfassung	5
1 Einleitung	6
2 Monitoringkonzept für den Wald	9
3 Methodik der Waldschadenserhebung	12
<i>Messnetz, Aufnahmemerkmale, Auswertung</i>	
4 Ergebnisse der Waldschadenserhebung 2001	
4.1 Gesamtregion	14
4.2 Berlin	16
4.3 Brandenburg	19
4.4 Auswertung nach Wuchsgebieten, territoriale Schwerpunkte der Schäden	21
4.5 Differenzialmerkmale und ihr Einfluss auf die Kronenzustandserhebung	23
<i>Vergilbung, Intensität der Fruktifikation, Einflüsse auf den Kronenzustand der Kiefer</i> <i>durch männliche Blüten, Intensität erfasster biotischer Schäden,</i> <i>Humuszustandsmerkmale: Stickstoff- und Basensättigung,</i>	
4.6 Einordnung der Ergebnisse in die Entwicklung auf Ebene des Bundes und Europas (Stand 2000)	25
5 Einflüsse auf den Waldzustand	
5.1 Klimatische Rahmenbedingungen	28
5.2 Biotische Schaderreger und Waldbrandgeschehen 2000/2001	32
<i>Phytophage Insekten und Schäden an Nadelbäumen, Phytophage Insekten an</i> <i>Laubbäumen, Pilzliche Schaderreger und Komplexkrankheiten, Waldbrand</i>	
5.3 Analyse der stofflichen Belastung durch atmosphärische Einträge	34
5.3.1 Immissionssituation	34
<i>Schwefeldioxid und Stickoxide, Ozon</i>	
5.3.2 Entwicklung der Fremdstoffeinträge in Wälder	35
5.3.3 Critical Load – ein komplexer Indikator für die ökologische Bewertung der Wirkungen von Luftschadstoffeinträgen	36
<i>Ergebnisse der Critical Loads-Kartierung im Engeren Verflechtungsraum</i> <i>Brandenburg-Berlin</i>	
6 Schwerpunktthema Stickstoff im Ökosystem Wald	
6.1 Einschätzung der Immissionssituation	40
6.2 Wirkung von Stickstoffeinträgen auf Waldböden und Folgen	41
6.3 Zur physiologischen Wirkung des Stickstoffs	44
6.4 Ökologische Wirkungen erhöhter Stickstoffeinträge	45
6.5 Nationale und internationale Ziele für die zukünftige Minderung der Stickstoffemissionen	46
7 Schlussfolgerungen	48
Ziele zur Verminderung der waldschadensrelevanten Luftverschmutzung	48
Maßnahmen der Forstwirtschaft gegen „Neuartige Waldschäden“	48
Tabellenanhang: Ergebnisse der Waldschadenserhebung	50
Glossar	53
Umschlagseiten: Daten zum Wald in Brandenburg und Berlin	

Waldzustandsbericht 2001

Die Deutschen und ihr inniges Verhältnis zum Wald sind unendlicher Stoff für Gedichte, Märchen und ganze Romane. Aber kennen die Deutschen ihren Wald? Urlaub im Süden ist in. Das Wissen um Tiere und Pflanzen des Waldes scheint rückläufig zu sein. Stille Winkel, wo *der Wald steht schwarz und schweigend*, muss man inzwischen suchen.

Dennoch genießt der Wald auch heute noch hohe Wertschätzung. Der wissenschaftliche Waldzustandsbericht findet daher alljährlich großes öffentliches Interesse.

Nachdem in den Vorjahren Berlin und Brandenburg schon auf gemeinsamen Veranstaltungen ihre Erkenntnisse zum Waldzustand vorgestellt haben, geben beide Landesforstverwaltungen für 2001 erstmals auch einen gemeinsamen Bericht heraus.

Die Gründe liegen dafür auf der Hand. Beide Länder verbindet nicht nur die gemeinsame Region, sondern auch die besondere Nähe zum Thema.

Sowohl für Berlin als eine der walddreichen Metropolen der Welt als auch für Brandenburg – mit einem Anteil von 35 Prozent eines der walddreichen deutschen Bundesländer – hat der Wald eine herausragende Bedeutung.

Er bietet Erholung, frische Luft, wirkt ausgleichend auf das Lokalklima und ist Lebensraum für Tiere und Pflanzen, von denen einige auf den Roten Listen zu finden sind.

Neben diesen unverzichtbaren Funktionen liefern die Wälder den umweltfreundlichen Rohstoff Holz und sichern damit Arbeitsplätze sowie Einkünfte für die Waldbesitzer.

Die internationale Staatengemeinschaft verpflichtete sich auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro sowie im Folgeprozess, die Wälder der Erde zu schützen, nachhaltig zu entwickeln und zu nutzen. Hierzu gehören auch die stetige Überwachung von Waldökosystemen, die Kenntnis von Belastungen, denen die Wälder ausgesetzt sind und das Wissen um die Empfindlichkeit, mit der Wälder auf Belastungen reagieren.

Um unsere Wälder zukünftigen Generationen in einem gesunden und damit stabilen Zustand zu erhalten, sind politische Weichenstellungen zur weiteren Senkung der Luftschadstoffe und für einen effektiven Klimaschutz erforderlich. Außerdem müssen die forstlichen Maßnahmen einer naturnahen Waldentwicklung langfristig weitergeführt werden.

Dieser Bericht soll dazu beitragen, für jetzt anstehende Entscheidungen eine verlässliche Datengrundlage zur Verfügung zu stellen.



Wolfgang Birthler
Minister für Landwirtschaft, Umweltschutz
und Raumordnung des Landes Brandenburg

Peter Strieder
Senator für Stadtentwicklung
des Landes Berlin

Kurzfassung

Erstmals wurde im Jahr 2001 länderübergreifend von Brandenburg und Berlin unter Einbeziehung der Fachbehörden für Luftreinhaltung beider Länder ein gemeinsamer Waldzustandsbericht erarbeitet.

Die systematische Erhebung **des Zustandes der Baumkronen** ergab 52 % Flächenanteil ohne sichtbare Schäden und 8 % deutlich geschädigter Waldfläche in der Gesamtregion Berlin-Brandenburg. Damit wurde im Jahr 2001 etwa das Schadniveau der drei Vorjahre gehalten.

In **Berlin** bleiben 2001 12 % der Waldfläche ohne sichtbare Schadsymptome (Stufe 0), 59 % sind leicht geschädigt (Stufe 1) und 29 % weisen deutliche Schäden auf. Damit wurde der schlechteste Zustand seit 1992 erfasst.

Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung in **Brandenburg** entsprechen weitgehend denen der Gesamtregion (53 % ohne sichtbare Schäden, 8 % deutliche Schäden). Der Rückgang der mittleren Kronenverlichtung in der Zeitreihe ab 1991 ist seit etwa 5 Jahren zum Stillstand gekommen.

Gegenüber den Vorjahren bleibt damit in Brandenburg das Ergebnis nahezu konstant, während in Berlin die Waldschäden seit 1998 wieder ansteigen.

In beiden Ländern ist der Kronenzustand der Eichen besonders schlecht.

Nach einem Minimum im Jahr 1998 nehmen in Berlin die Anteile deutlicher Schäden in den letzten drei Jahren auch bei Kiefer zu. In Brandenburg ist eine ähnliche Entwicklung für die Kiefer absehbar. Im Jahr 2001 ist gleichzeitig der Flächenanteil der ungeschädigten und der stärker geschädigten Kiefernbestände zurückgegangen, der Zustand hat sich im Bereich der Schadstufe 1 (Warnstufe) konzentriert, ohne hier bisher die Grenze zu den deutlichen Schäden zu überschreiten.

In den kurzfristigen Veränderungen des Kronenzustandes zeigt sich zunächst der Einfluss der Witterung. Für die Kiefer bedeutete der milde und feuchte Winter 2000/2001 das fast völlige Fehlen der Vegetationsruhe. Dadurch wurden Reservestoffe verbraucht und fehlten dann zum Austriebszeitpunkt für die Nadeljahgangsneubildung. Der Austriebszeitraum Mai war extrem heiß und trocken. Speziell die Laubbäume haben entsprechend nur geringer belaubte Kronen entwickeln können.

Die reichlichen Niederschläge in diesem Jahr, besonders im 3. Quartal, könnten die Knospenentwicklung für die Belau-

bung im Jahr 2002 fördern, so dass für nächstes Jahr die Belaubungsvoraussetzungen gut sein sollten.

Für den Zustand der Wälder spielt insbesondere der **Schadstoffeintrag in die Ökosysteme** eine entscheidende Rolle; außerdem ist von Bedeutung, um welchen Betrag diese Einträge die kritischen Grenzen für ökosystemare Schädigungen (Critical Loads) überschreiten. Die Stickstoffeinträge liegen noch großflächig über den kritischen Eintragsraten für die Kiefernwälder.

Betrachtet man die positive Entwicklung des Waldzustandes im Zeitraum seit 1991 in der Gesamtregion, ist durch den signifikanten Rückgang der Emissionen aus Kraftwerken und Industrieanlagen sowie durch Schadstoffreduktion bei Fahrzeugen schon viel erreicht worden. Dies drückt sich beispielsweise dadurch aus, dass die neuen EU-Grenzwerte für vegetationsbezogene Konzentrationen von Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden in der Luft überall in Berlin und Brandenburg eingehalten werden.

Aber insbesondere die in Berlin in den letzten drei Jahren zunehmenden Kronenschäden sowie das Ausbleiben einer weiteren Zustandsverbesserung in den letzten fünf Jahren in Brandenburg deuten auf anhaltende und tiefer liegende Probleme der Waldökosysteme hin. Die Bodenzustandsveränderungen schreiten, zwar deutlich gebremst, in der Gesamtregion weiter fort.

Im Großstadtgebiet Berlin sind neben den langfristig wirkenden Faktoren wie schleichende Bodenversauerung und Eutrophierung, mit Grundwasserabsenkungen, aber auch Bodenversiegelung und Zerschneidung der Waldgebiete, so ungünstige Wuchsbedingungen entstanden, dass die Bäume bei ungünstiger Witterung sofort stark darauf reagieren. In Berlin besteht insbesondere die Verpflichtung zur weiteren Reduktion der Stickstoffemissionen um mehr als ein Drittel bis 2010, um EU-seitige und im Rahmen der Erstellung des Berliner Stadtentwicklungsplans Verkehr formulierte Luftreinhaltziele zum Gesundheitsschutz zu erreichen. Dies wird mittel- und langfristig, vor allem für die ballungsraumnahen Waldökosysteme eine weitere Entlastung auf dem Weg zur langfristigen Vermeidung von Überschreitungen der kritischen Belastungsschwellen mit sich bringen.

Das Waldzustandsmonitoring wird, auch bei aktuell relativ gutem Waldzustand in Brandenburg, für die Region als notwendige Vorsorge betrachtet und in bestehender Intensität in beiden Ländern fortgeführt.

Die internationalen und nationalen Maßnahmen der Luftreinhaltung, ergänzt um lokale Programme, stützen sich in ihren Zielstellungen auch auf die Sicherung der nachhaltigen Entwicklung der Wälder. Sie bilden die Voraussetzung für einen Erfolg der Maßnahmen zur ökologischen Waldentwicklung durch standortgerechte, naturnahe Waldwirtschaft.

1 Einleitung

In weiten Teilen Europas ist Wald die potenziell dominierende Vegetationsform.

Ohne menschlichen Einfluss, wüchsen auf über 99 % der gesamten Landfläche Berlins und Brandenburgs Wälder. Sommergrüne Laubwälder wären die vorherrschenden Vegetationsformen. In Nordbrandenburg und im Hohen Fläming mit über 580 mm Jahresniederschlag würden Rotbuchen, in den südlichen Landesteilen mit geringeren Niederschlägen Eichenmischwälder vorherrschen. Natürliche reine Kiefernwälder wären auf die ärmsten und trockensten Böden, die für das Gedeihen von Laub- und Laub-Nadelmischwäldern zu ungünstig sind, beschränkt.

Bereits sehr früh hat der Mensch in Waldökosysteme eingegriffen und diese gravierend verändert. In Zentraleuropa erreichten diese Eingriffe seit dem Mittelalter eine landschaftsprägende Dimension. Die Rodungen zwischen dem 7. und 13. Jahrhundert führten zur Auflösung der bis dahin noch großen geschlossenen Waldgebiete. Bei Rodungen für Ackerkulturen erhielten nährstoffreichere Böden in ebener Lage den Vorzug. Dadurch verschob sich die heutige Waldfläche, gemessen am Durchschnitt der Gesamtgebietsfläche, ökologisch in Richtung des nährstoffärmeren, weniger durchfeuchteten Bodensubstrates.

Nachdem sich Ende des 18. Jahrhunderts die Mehrheit der noch vorhandenen Waldfläche in einem devastierten Zustand befand, wurde mit Beginn der geregelten Forstwirtschaft um 1800 gleichzeitig ein tiefgreifender Wandel in der Baumartenzusammensetzung und in der Struktur der Wälder vollzogen.

Die verwüsteten Flächen wurden vorrangig mit anspruchslosen Kiefern wiederaufgeforstet. Es entstanden großflächig gleichaltrige, im Kahlschlagbetrieb bewirtschaftete Nadelbaum-Reinbestände. Der Begriff der „Nachhaltigkeit der Holzproduktion“ etablierte sich. Das war für die damaligen Verhältnisse und aus heutiger Sicht ein großer Fortschritt.

Durch den großflächigen Nadelbaumanbau kam es zu einer starken Beeinflussung und Veränderung des Oberbodenzustandes. Die ständige Einwirkung saurer Nadelstreu führte zur Verarmung an wichtigen Nährelementen, zu weiterer zusätzlicher Versauerung und Nährstoffverlagerung im Boden, zum Rückgang der Tiefendurchwurzelung und zur Ausbreitung weniger günstiger Rohhumusformen mit weitem Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis und geringer Basensättigung. Zudem wurde der Humus in seiner Menge im Mineralboden verringert, hingegen auf der Bodenoberfläche vermehrt.

Waldfunktionen

Die waldbezogenen Nutzungen und Funktionen mussten mit der Zeit ständig veränderten, neuen Ansprüchen gerecht werden. Wald ist wichtig als Lieferant des umweltfreundlichen und vielseitig verwertbaren Rohstoffes Holz, als Schutzfaktor für Boden, Wasser, Luft und Klima sowie Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten. Er schützt darüber hinaus Menschen vor Naturgefahren und bietet ihnen vielfältige Möglichkeiten für Entspannung und Erholung. Die Waldbewirtschaftung schafft Arbeitsplätze in der Forstwirtschaft und in nachgelagerten Bereichen sowie Einkommen für die Waldbesitzer.

Die künstliche Wiederbegründung der Wälder durch Forstleute war als Übergangslösung zu einem gesunden stabilen Mischwald mit natürlicher Baumartenzusammensetzung gedacht. Doch die weitere Entwicklung der praktischen Forstwirtschaft in ihren gesellschaftlichen Rahmenbedingungen hat es nicht vermocht, diesem Ziel wesentlich näher zu kommen. So beträgt noch heute der Anteil der Nadelbaumarten in Brandenburg trotz der erheblichen Anstrengungen der Forstleute naturnahe Laubmischwälder zu entwickeln ca. 80 %.

Wälder erfüllen eine Vielzahl von bedeutsamen Schutz- und Regelungsfunktionen für Boden, Wasser, Klima und Biosphäre sowie als wichtigste Ressource für erholungssuchende Menschen.

Stand in der Vergangenheit die Nutzfunktion des Waldes im Vordergrund entwickelte die deutsche Forstwirtschaft das Leitbild einer multifunktionalen Waldnutzung.

Der Begriff der Nachhaltigkeit wurde erweitert auf die dauerhafte Bereitstellung aller Waldfunktionen, d. h. der ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen und Leistungen des Waldes. Als nachhaltig gilt heute eine Entwicklung/Bewirtschaftung, wenn sie mit den ökologischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen einer Region als verträglich bewertet wird.

Mit der Industrialisierung kam besonders im 20. Jahrhundert eine zusätzliche Belastung der Forstökosysteme über Luftverunreinigungen hinzu, die zunächst örtlich bis regional in Emittentennähe zu direkten Schäden an Bäumen führten. Dies waren die klassischen Rauchschäden.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen

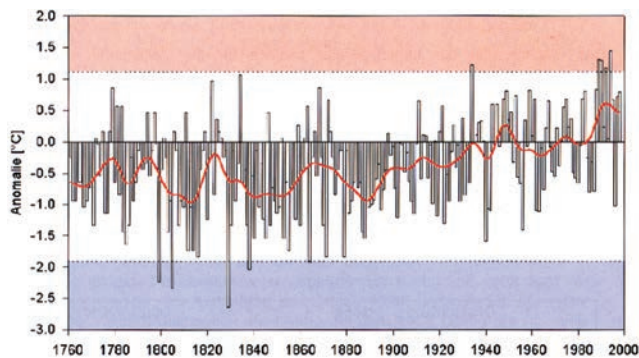
Aus dem Umweltgutachten 2000

Die Waldschadensdiskussion „war Auslöser zahlreicher Umweltschutzmaßnahmen sowie intensivster Waldökosystemforschung. Im Ergebnis wurde das Wissen über Waldökosysteme, insbesondere mit Blick auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen, deutlich verbessert.

Nicht nur aktuelle beziehungsweise neuere anthropogene Einflüsse wie Depositionen von Luftschadstoffen verursachen Waldschäden, sondern auch historische Landnutzungen auf ökosystemarer Ebene haben zu erheblichen Degradationen geführt, die teilweise noch heute nachwirken. Dabei geriet die offensichtliche Instabilität zahlreicher Wirtschaftswälder zusehends ins Blickfeld.

Da Degradationen von Waldökosystemen häufig auf mehrere Ursachen zurückzuführen sind, betont der Umweltrat mit Nachdruck, dass Sanierungsmaßnahmen in der Regel weit über Bodenmeliorations- und Düngungsmaßnahmen hinausgehen müssen. Derartige Eingriffe sind grundsätzlich in ein forstwirtschaftliches Gesamtkonzept einzubinden, in dem neben ernährungs- und bodenkundlichen sowie nutzungs-geschichtlichen Gesichtspunkten auch waldbauliche, ökologische und landschaftspflegerische Ziele zu berücksichtigen sind. Immer aber müssen diese Maßnahmen an die spezifischen Standortbedingungen angepasst werden und sind deshalb von Fall zu Fall neu zu bestimmen.“

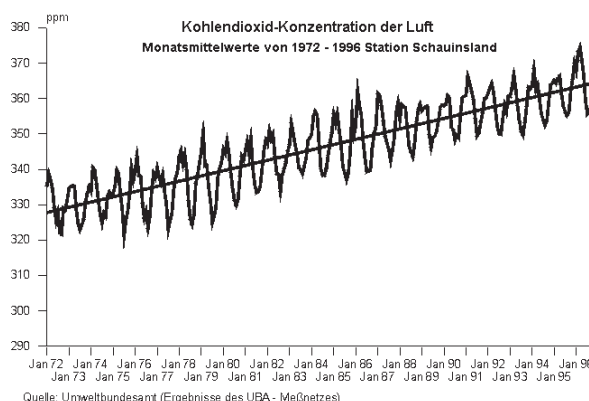
Beispiele für den Wandel der Umweltbedingungen für den Wald



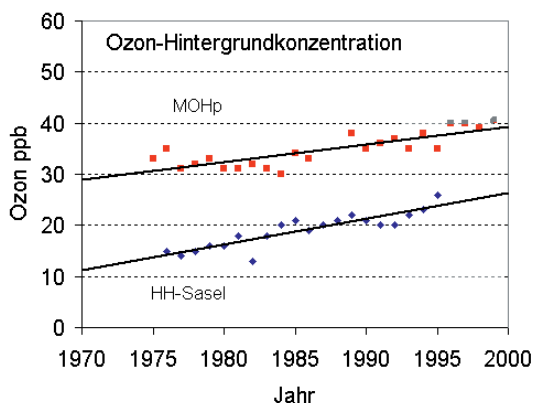
Zeitlicher Verlauf der **Lufttemperatur** in Deutschland zwischen 1761 und 1998, dargestellt als Anomalie in °C

Datenbasis: DWD

aus J. Rapp, Klimastatusbericht DWD, 1998



Anstieg der **CO₂-Konzentration der Luft**, hier dargestellt anhand der Monatsmittelwerte an der Messstelle des Umweltbundesamtes Schauinsland (Baden-Württemberg)

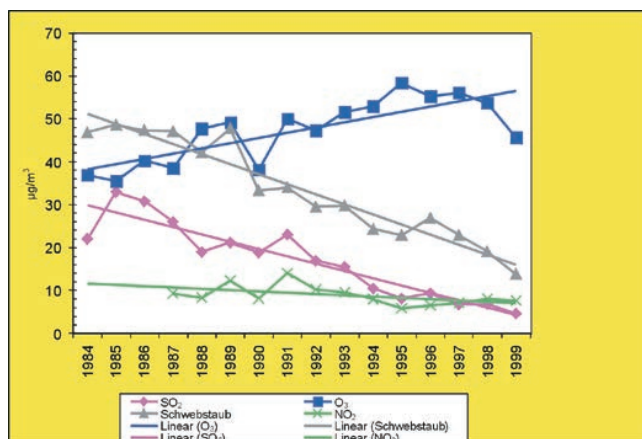


Trend der **Ozon-Hintergrundkonzentration**

MOHp: Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg

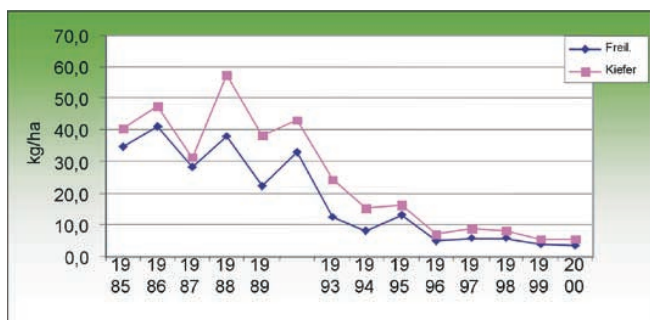
HH-Sasel: Hamburg

Quelle: U. Kaminski; St. Gilge; DWD, Ozonbulletin 75



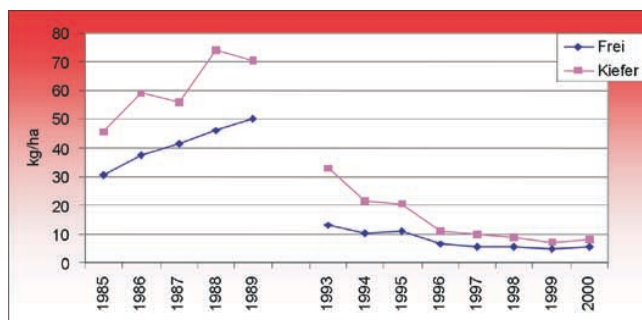
Trends der **Immissionsbelastung** SO₂, NO₂, Schwebstaub und O₃ in Waldgebieten Brandenburgs 1984 – 1999

Daten: UBA, LFE (Einert, 2001)

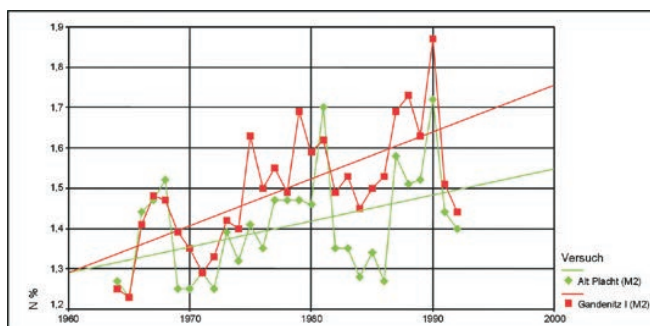


Entwicklung der **Sulfat-Schwefel Einträge**

in emittentfernen Waldgebieten Brandenburgs an Freiflächen und unter Kiefernbeständen (kg S / (ha-a))



Entwicklung der **Kalzium-Einträge** in emittentfernen Waldgebieten Brandenburgs an Freiflächen und unter Kiefernbeständen (kg Ca / (ha-a))



Verbesserung der Stickstoff-Ernährung (Nadelanalysen) von 2 Kiefernbeständen auf mittleren Sandstandorten in Brandenburg ohne Nahbereichsimmissionen von 1964 bis 1992 (LFE)

Das Schwerpunktthema des diesjährigen Waldzustandsberichtes behandelt die Situation der Stickstoffbelastung der Wälder in der Region Berlin-Brandenburg (s. Kapitel 6).

Mit zunehmender Luftverunreinigung wurde zur Entlastung der betroffenen Menschen die Emission in größere Höhen abgeleitet, was zu geringeren Konzentrationsspitzen aber großflächiger Verteilung der Schadstoffe führte, die auch in so genannten Reinluftgebieten fernab von Industrieanlagen in die Wälder eingetragen wurden. Letztlich waren große Teile Europas durch „sauren Regen“ betroffen und „Neuartige Waldschäden“ rückten den Wald in einer bis dahin unbekanntem Intensität in den Blickpunkt umweltpolitischer Diskussion.

Das zu Beginn der 80er-Jahre befürchtete, großflächige Waldsterben ist nicht eingetreten. Die im Zusammenhang mit dem Begriff „Neuartige Waldschäden“ durchgeführten umfangreichen Forschungsarbeiten zur Waldökologie und die etablierten Monitoringprogramme führten zu der Erkenntnis, dass sich die ökosystemaren Bedingungen für die Wälder in den vergangenen Jahrzehnten bis heute relativ schnell änderten.

Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung, der Nadel-/Blattanalen zur Kontrolle des Ernährungszustandes der Bäume, der Bodenzustandserhebungen sowie bodenkundliche, vegetations- und standortkundliche und waldwachstumskundliche Befunde verdeutlichen eine hohe Dynamik der Veränderung von Waldökosystemen. Die physiologisch-genetische Reaktionsnorm der Bäume und der durch sie ge-

prägten Waldökosysteme kann durch diese schnelle Veränderung ihrer Standortbedingungen überfordert werden, ihre Vitalität wird eingeschränkt.

In dem Ursachenkomplex, der zu Belastungen der Vitalität der Gehölze und Stabilität der Wälder führt, nehmen Luftverunreinigungen eine Schlüsselrolle ein, z. B. durch:

- Eutrophierung der Waldstandorte durch Stickstoffeinträge,
- Versauerung der Waldböden durch Säureeinträge (Schwefel- und Stickstoffeinträge),
- phytotoxische Wirkung steigender Ozonimmissionen,
- Anstieg der Kohlendioxidkonzentration der Luft und der Folgen für die Klimaerwärmung.

Gerichtete Veränderungen des Zustandes der Waldökosysteme auf physikalischer und chemischer Ebene können zeitlich entkoppelt von der biologischen Wirkung dieser Störungen auftreten, z. B. durch die Pufferfunktion des Bodens vorübergehend kompensiert werden. Prognosen über die Entwicklung von Waldökosystemen können auf Grund der hohen Dynamik sowohl der Fremdstoffbelastung in den letzten Jahrzehnten als auch der Klimabedingungen mit forstlichem Erfahrungswissen allein nicht erstellt werden.

Eine nachhaltige, standortgerechte und naturnahe Forstwirtschaft erfordert deshalb die kontinuierliche wissenschaftliche Überwachung von einzelnen Indikatoren der Waldökosystementwicklung.

Die Waldverteilung und die Waldstruktur sind durch den Menschen geprägt.

Durch stoffliche Belastungen über Luftverschmutzung werden instabile Wälder zusätzlich belastet und ihre Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen langfristig gefährdet.

Das Ziel der „Nachhaltigen Entwicklung“ erfordert die dauerhafte Bereitstellung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen und Leistungen des Waldes.

Waldökosysteme entwickeln sich in langen Zeiträumen, unterlagen aber in historischer Zeit einem ständigen Wandel. Die Umweltbedingungen und die gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald werden auch in Zukunft nicht konstant sein. Ziel ist es, die Wälder durch die ökologische Waldentwicklung zu stabilisieren damit sie gegenwärtige und künftige Belastungen besser verarbeiten können. Dies hat nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn die stofflichen sowie die klimatischen Belastungen der Wälder auf das Maß reduziert werden, das sie langfristig ohne negative Folgen verarbeiten können.

Von beiden Zielen weist der Wald in Brandenburg und Berlin noch einen deutlichen Abstand auf.

2 Monitoringkonzept für den Wald

Um sicherzustellen, dass Wald auch künftig die Gesamtheit der vielfältigen Funktionen erfüllen kann, werden verlässliche Aussagen über die ökologische Situation des Waldes und seine Entwicklung benötigt.

Da die Ursachen der Waldschäden länderübergreifend wirken, wurde 1985 ein europaweites Monitoring-Programm unter Verantwortung der Europäischen Union und der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen ins Leben gerufen. Grundlagen waren die Ratsverordnung Nr. 3528 (1986) der Europäischen Union sowie die Genfer Luftreinhaltkonvention (1979), eine Konvention der Vereinten Nationen über weitreichende Luftverunreinigungen.

Seit 1986 werden der Waldzustand und seine Entwicklung unter den Programmen der UN/ECE und der EU-Kommission im europäischen Maßstab überwacht. Im gleichen Jahr wurde auch in der DDR die „Ökologische Waldzustandskontrolle“ eingeführt. Gegenwärtig sind 36 europäische Staaten, die USA und Kanada an diesem Programm beteiligt.

Da nicht nur direkte Reaktionen auf Umweltveränderungen, sondern auch langfristige Folgen und Wechselwirkungen in Waldökosystemen von Bedeutung sind, wurde ein mehrstufiges aufeinander abgestimmtes Untersuchungsprogramm unterschiedlicher Intensitätsebenen (Level) entwickelt, um ein ausreichend differenziertes Bild vom Zustand des Waldes und seiner Beziehungen zur Umwelt zu gewinnen.

Das forstliche Umweltmonitoring umfasst drei Elemente:

- Erhebungen auf einem systematischen Stichprobennetz, die flächenrepräsentative Informationen über den Waldzustand und dessen Entwicklung bereitstellen (Level I),
- Intensive Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren auf Dauerbeobachtungsflächen (Level II),
- Waldökosystemforschung zur Synopse und Erweiterung der bisher verfügbaren Kenntnisse zu Prozessabläufen.

Sämtliche Methoden des Programms – von der Erhebung genau definierter, charakteristischer Parameter im Gelände bis hin zur Analyse im Labor – sind in umfangreichen Manualen festgelegt. Sie werden ständig mit Blick auf den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt überprüft und auf nationaler und internationaler Ebene harmonisiert.

Level I

Die Erhebungen auf dem systematischen Stichprobennetz umfassen die jährliche Waldschadenserhebung (WSE) und die bisher einmalige Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald. Die **Waldschadenserhebung** dient dazu, mit vertretbarem Aufwand zeitnahe Aussagen über die Vitalität der Wälder und deren Entwicklung bereitzustellen. Erhebungen auf dem systematischen Stichprobennetz erlauben die sichere Schätzung der erhobenen Parameter für die gesamte Waldfläche.

Bei der Waldschadenserhebung wird der Kronenzustand (die Kronenverlichtung und Vergilbung von Nadeln und Blättern) von Stichprobenbäumen als Weiser für die Vitalität der Wälder ermittelt.

Der notwendige Stichprobenumfang für die Waldschadenserhebung ist von der Flächengröße der Wälder und der gewünschten statistischen Sicherheit des Ergebnisses abhängig. So ist auf Ebene des Bundes und Europas ein Gitternetz von 16 x 16 km festgelegt, für das Land Brandenburg

erfolgt die WSE im Gitternetz von 4 x 4 km und für Berlin ist die Gitterweite auf 2 x 2 km reduziert, um zu einem aussagefähigen Landesergebnis zu kommen.

Zur Erfassung des aktuellen Waldbodenzustandes und dessen Veränderungen im Laufe der Zeit wurde von den Ländern zwischen 1987 und 1993 die erste bundesweite **Bodenzustandserhebung** im Wald an einer Unterstichprobe des WSE-Netzes (8 x 8 km) durchgeführt. Diese Erhebung wurde mit einer Inventur des Ernährungszustandes anhand von **Nadel-/Blattanalysen** verbunden. Die Ergebnisse sind in Länderberichten veröffentlicht und wurden vom Bund im „Deutschen Waldbodenbericht 1996“ zusammengestellt.

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

Level II

Sowohl bei der Waldschadenserhebung als auch im Basisnetz der ökologischen Waldzustandskontrolle werden nur Zustandserhebungen auf der Seite der Wirkungen (Kronenzustand, Ernährungszustand, Zuwachs und Bodenzustand) durchgeführt, ohne die auslösenden Ursachen näher zu beleuchten.

Daher wurde innerhalb des Gesamtkonzeptes „Forstliches Umweltmonitoring“ im Jahr 1994 europaweit die zusätzliche Einführung einer weiteren Intensitätsstufe (Level II) initiiert. Diese fachlich besonders umfassende Ebene verfolgt u.a. das Ziel, wesentliche **ökosystemare Einflussgrößen** wie z. B. Luftverunreinigungen, klimatische und andere Stressfaktoren sowie deren Wirkungen an repräsentativ ausgewählten Waldökosystemen zu untersuchen. Hierzu werden europaweit einheitliche Methoden verwendet.

Von den europaweit eingerichteten 860 Level II Dauerbeobachtungsflächen stellt die Bundesrepublik Deutschland 89 Flächen. Hiervon entfallen 21 Monitoringflächen auf die Baumart Kiefer, die im Nordostdeutschen Tiefland konzentriert sind (BML, 1997).

So befinden sich unter Berücksichtigung der Baumartenrepräsentanz alle sechs Flächen des Landes Brandenburg in Kiefernreinbeständen im Altersbereich über 60 Jahre in klimatisch und immissionsökologisch verschiedenen Regionen. Die Flächenauswahl konnte sich auf den äußeren Entwicklungsraum beschränken, da durch das Land Berlin drei weitere Flächen mit der Baumart Kiefer bzw. Kiefer in Mischung mit Eiche als Level II-Flächen eingerichtet wurden, um den Einfluss der Großstadt auf den Waldzustand zu beobachten. Besonders wertvoll war hier die Übernahme von zwei Beobachtungsflächen in das Level II-Programm, die bereits seit 1986 im Projekt Ballungsraumnahe Waldökosysteme bzw. Monitoringprogramm Naturhaushalt des Landes Berlin bestehen.

Das Untersuchungsprogramm umfasst die für die Intensitätsstufe „Level II“ vorgesehenen Schwerpunkte, die nach den international abgestimmten Methoden des „Internationalen Kooperativprogramms Forsten“ der UN-Wirtschaftskommission für Europa bearbeitet werden. Das Programm wird im Land Brandenburg durch spezifische Untersuchungen zur biochemisch-ökophysiologischen Vitalitätsdiagnostik, zur genetischen Vielfalt und zur Forstschutzkontrolle ergänzt.

Komponenten des Untersuchungsprogramms auf den Dauerbeobachtungsflächen Level II

	Teilprogramm	Frequenz der Aufnahmen
Komponenten des Energie- und Stoffhaushaltes	Immission	halbstündlich
	Deposition	wöchentlich
	Meteorologie	stündlich
	Bodenzustand	10-jährig
	Sickerwasser	14-tägig
Biologische Systemreaktionen	Grundwasser	jährlich
	Kronenzustand	jährlich
	Biochemische Vitalitätsdiagnostik	jährlich
	Phänologie	wöchentlich
	Bestandeswachstum	5-jährig
	Einzelbaumwachstum	14-tägig
	Nadel-/Blattanalysen	jährlich
	Streufall, Streuanalyse	monatlich
	Bodenvegetation; Verjüngung	jährlich
	Biotische Schaderreger	2–4 mal jährlich
Genetik	einmalig	

Ökosystemforschung

Über das Standardprogramm hinaus haben sich die Dauerbeobachtungsflächen zu Kristallisationspunkten für eine praxisnahe Ökosystemforschung entwickelt. Die hohe Datendichte über die ökosystemaren Rahmenbedingungen erlaubt eine kostengünstige Erweiterung der Untersuchungen zu speziellen Fragestellungen.

So wird im Rahmen eines Verbundprojektes des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) seit 1998 an der Entwicklung eines Diagnostikprogramms zur Vitalitätsbewertung von Kiefern auf der Grundlage pflanzenchemischer und -physiologischer Parameter gearbeitet.

Da die im Zuge der forstlichen Umweltkontrolle betrachteten äußeren Merkmale von Bäumen, wie z. B. von Wachstums- und Vitalitätsmarkern, nicht nur von den Standortfaktoren, sondern auch von der genetischen Reaktionsnorm der Einzelindividuen bestimmt werden, werden die Kiefern des Oberstandes auf der Grundlage von Isoenzymen genetisch charakterisiert. Im Vordergrund des Interesses standen zunächst die genetische Vergleichbarkeit der Bestände, die genetischen Vielfaltsmaße sowie das Vorkommen seltener Allele.

Darüber hinaus wurden in enger räumlicher Nähe zu zwei Level II Flächen in Brandenburg Versuchsfelder zur Untersuchung der Potenziale und Grenzen von Eichen- und Buchen- Voranbauten unter Kiefernschirm angelegt. Dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt widmet sich gleichfalls den Folgewirkungen des Waldumbaus auf den verbleibenden Kiefernbestand und die Bodenvegetation.

Die Ergebnisse der forstlichen Umweltkontrolle finden ebenso Berücksichtigung in der Naturwaldforschung des Landes Brandenburg. Fünf Naturwaldreservate

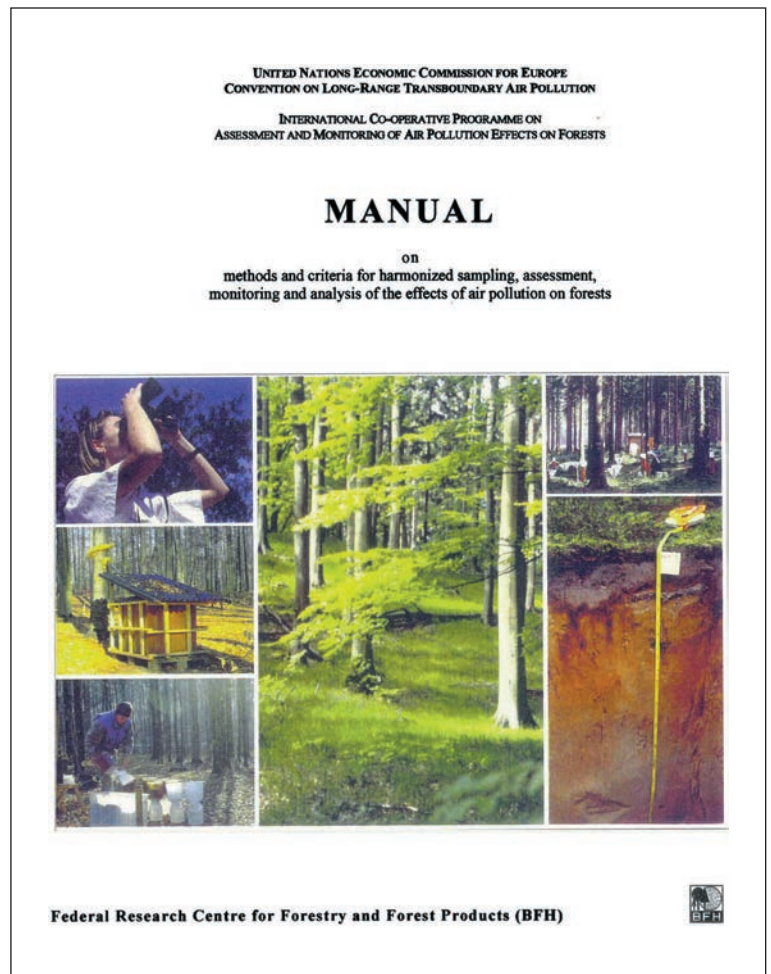


Abb. 1: Methodenhandbuch des Internationalen Programms zur Zusammenarbeit bei der Bestimmung und Beobachtung von Wirkungen der Luftverunreinigung auf Wälder (ICP Forests Manual) im Rahmen der Konvention zu weitreichender grenzüberschreitender Luftverunreinigung der UN-Wirtschaftskommission für Europa

Brandenburgs haben regionalen Bezug zu forstlichen Monitoringflächen.

Als Bestandteil eines umfassenden, europaweiten Monitoringkonzeptes ist das forstliche Umweltmonitoring an den besonderen Bedingungen des Ökosystems Wald ausgerichtet. Es ordnet sich ein in weitere Inventurprogramme der Landesforstverwaltungen, der Umweltbehörden der Länder, Naturschutzverwaltungen und ist z. B. in Brandenburg Teil der **Integrierenden Ökologischen Dauerbeobachtung**

des Landes und trägt damit fachspezifisch zu verantwortungsbewusster Landnutzung bei.

Die Ergebnisse der standardisierten Erhebungen bilden die wissenschaftliche Grundlage für politische Entscheidungen zur Luftreinhaltung und zu anderen Bereichen der Umweltpolitik unter der Genfer Luftreinhaltkonvention. Sie haben außerdem Bedeutung für die Gesetzgebung der Europäischen Kommission und der in das Programm eingebundenen Staaten.

3 Methodik der Waldschadenserhebung

Die Waldschadenserhebung dient dazu, mit vertretbarem Aufwand kurzfristig Aussagen über die Vitalität der Wälder und deren Entwicklung bereitzustellen. Daneben trägt sie dazu bei, Schadensschwerpunkte zu lokalisieren und baumartenspezifische Vitalitätsentwicklungen zu erkennen.

Sie liefert im Zusammenhang mit weiteren flächenrepräsentativen Erhebungen zum Bodenzustand, zu Luftverunreinigungen und Witterungsdaten Ansätze für regionalstatistische Untersuchungen, die zur Überprüfung von Modellen genutzt werden können.

Zur Klärung der Ursachen der „Neuartigen Waldschäden“ ist die Waldschadenserhebung alleine jedoch nicht geeignet, da die wesentlichen Aufnahmemerkmale Kronenverlichtung und -vergilbung unspezifische Reaktionen auf vielfältige Stressfaktoren sind. Kronenverlichtungen sind jedoch in jedem Fall ein Indikator für Belastungen. Zunehmende Kronenverlichtungen sind ein Alarmsignal, das eine Gefährdung der Wälder anzeigt.

Messnetz

Die Waldschadenserhebung erfolgt in einem Stichprobenverfahren auf Rasterbasis, die flächenbezogene Aussagen über den Waldzustand liefert.

Die Stichprobenpunkte werden durch die Schnittpunkte eines systematischen geografischen Gitternetzes bestimmt. Als Mindestdichte dieses Netzes wurde in Brandenburg ein Raster von 4 x 4 km, in Berlin von 2 x 2 km festgelegt.

Ziel der Vollstichprobenerhebung ist es, Aussagen über den Zustand der Hauptbaumarten auf Wuchsgebietsebene zu erhalten.

Auf der Grundlage des auf Forstkarten übertragenen Gitternetzes wurden an jedem auf Wald fallenden Gitternetz-schnittpunkt permanente Kontrollstichproben (überwiegend Kreuztrakt mit 4 im Abstand von 25 m nach den Haupthimmelsrichtungen orientierten 6 Baum-Satellitenstichproben) eingerichtet.

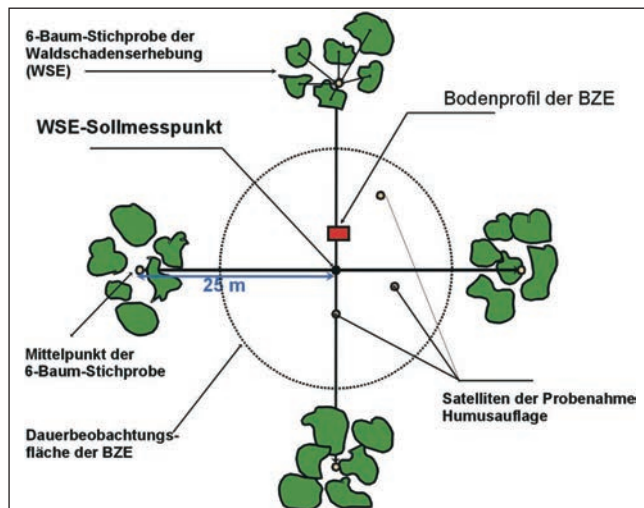


Abb. 2: Stichprobenpunkt der Waldschadenserhebung im Kreuztrakt

Als Wald im Rahmen der WSE gelten alle auf Forstgrund fallenden Gitternetzpunkte, wenn auf der Fläche Bäume in der Dichte stehen, dass sie im Umtriebsalter wenigstens 20 % der Fläche überkronen, die Bestandesgröße wenigstens 0,5 Hektar beträgt und die Bestandesmittelhöhe größer als 60 cm ist. In die Netzkonstruktion wurde die gesamte Landesfläche einbezogen, unabhängig von den Eigentumsverhältnissen der jeweiligen Waldfläche.

Die WSE-Kontrollflächen unterliegen keinen aus ihrem Status als Kontrollfläche begründeten wirtschaftlichen Beschränkungen.

Werden durch notwendige Maßnahmen der Bestandespflege einzelne Probenbäume entnommen, so werden diese durch wiederum systematisch auszuwählende Bäume ersetzt. Entfallen ganze Probenflächen durch planmäßige Einschläge, abiotische (z. B. Feuer) oder biotische Schäden (z. B. Borkenkäfer), so ruht der entsprechende WSE-Punkt, bis der Folgebestand eine Bestandeshöhe von mehr als 60 cm erreicht hat.

Aufnahmemerkmale

Mit der Neuanlage eines WSE-Punktes wird ein Stammdatenblatt einschließlich Kartenskizze ausgefüllt und in 5jährigen Perioden aktualisiert. Es enthält Adressdaten, Standortsangaben, Bestockungsdaten und Bewirtschaftungsmaßnahmen, die für die Bewertung der Kronenzustandsdynamik des Punktes von Bedeutung sein können.

Im jährlich aktuell auszufüllenden Aufnahmeformular werden für jeden Baum erfasst: Baumnummer/Ersatzbaumnummer, Ausfallgrund, Baumart, Alter, soziologische Stellung, Kronenverlichtung in 5 %-Stufen, Vergilbungsstufe der Krone, Benadelungsdichte von 4 Nadeljährgängen in 25 %-Stufen bei Kiefer, Intensität der männlichen Blüte bei Kiefer, Intensität der Fruktifikation, Insektenschäden nach Art und Intensität, Pilzschäden nach Art und Intensität, Kronenbrüche und andere abiotische Schäden (Dürre, Wind, Frost, Feuer, Fäll- und Rückeschäden, Harzung).

Die Waldschadenserhebung erfolgt jährlich in der kurzen Zeitspanne zwischen der vollen Ausbildung der Belaubung und vor Beginn der Herbstverfärbung im Zeitraum Juli und August durch qualifiziertes Forstpersonal.

Der Kronenzustand jedes einzelnen Probenbaumes wird durch eine visuelle Schätzung:

- der Kronenverlichtung 'relativer Nadel- bzw. Blattverlust' im Vergleich zu einem voll belaubten Referenzbaum in 5 %-Stufen und
- des Grades der Vergilbung der Nadeln bzw. Blätter in den Stufen 0 = 0–10 %, 1 = 11–25 %, 2 = 26–60 % und 3 = 61–100 % Stufen erhoben.

Dabei werden nur die Bereiche der Baumkrone berücksichtigt, die sich ohne störende Einflüsse durch benachbarte Baumkronen oder Lichtmangel entwickeln konnten.

Alle 5 Jahre, beginnend 1991 werden zusätzlich an den WSE-Punkten in Brandenburg, die im Kreuztrakt angelegt sind und den Brusthöhendurchmesser (BHD) von 7cm überschritten haben, Messungen des BHD und der Baumhöhe aller numerierten Probeebäume durchgeführt. Außerdem wird die Stammzahl des herrschenden Bestandes in einem Probekreis mit 10 m Radius um den Sollmesspunkt bestimmt.

Auswertung

Die Auswertung der WSE beruht auf der mit der Stichprobe erfassten Waldfläche. Somit entspricht jeder auf Wald (im Sinne der o. a. Definition) fallende Gitterpunkt einer Waldfläche in Brandenburg von 1600 ha, in Berlin 400 ha. Da an jedem Punkt 24 Bäume aufgenommen werden, repräsentiert jeder Probenbaum 66,67 ha, bzw. 16,67 ha Wald. Deshalb treten sowohl hinsichtlich der Gesamtwaldfläche (Ausschluss von Blößen und Kulturen bis 60 cm Höhe) als auch

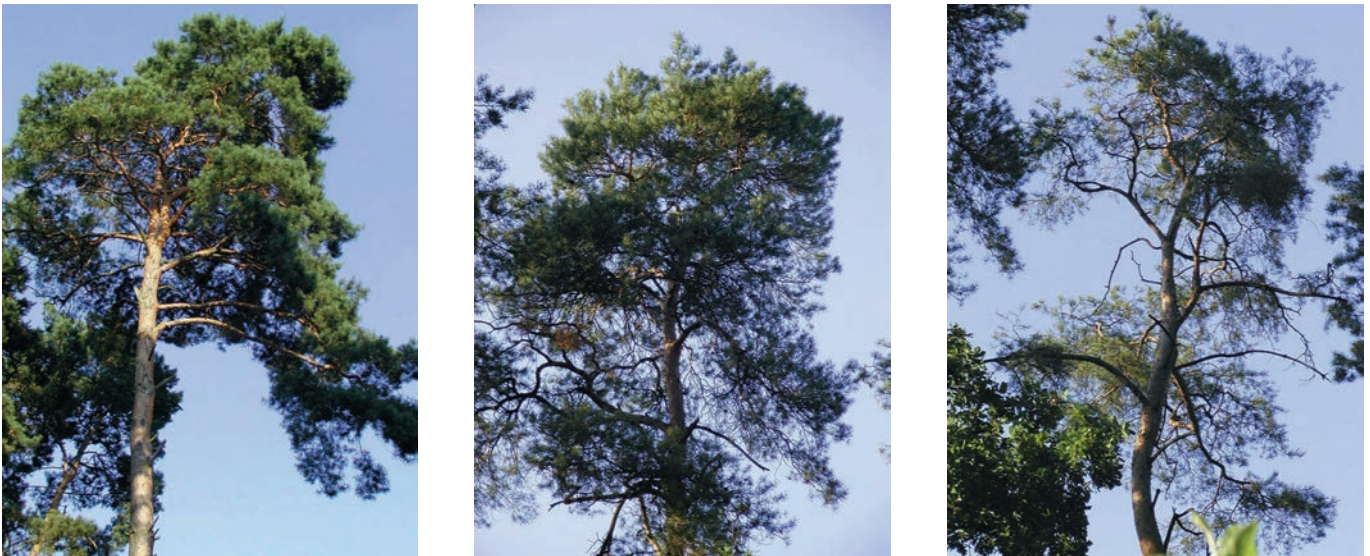


Abb. 3: Kiefernkrone mit differenzierter Kronenverlichtung (links: 0 %, Mitte: 20 %, rechts: 45 %)

der Baumartenstruktur und der Altersklassenverteilung Differenzen zur realen Waldstruktur auf, die mit geringer werdender Stichprobenzahl (z. B. Auswertungen auf Ebene der Wuchsgebiete oder der Ämter für Forstwirtschaft) zunehmen. Zur Ergebnisdarstellung werden die Erhebungen der Kronenverlichtung zu „Schadstufen“ zusammengefasst.

Definition der Schadstufen Nadel-/Blattverlust

Verlichtungsstufen	Kronenverlichtung	Aufnahmestufen
0 „ohne Schadmerkmale“	bis 10 %	0, 5, 10
1 „schwach geschädigt“	11–25 %	15, 20, 25
2 „mittelstark geschädigt“	26–60 %	30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
3 „stark geschädigt“	über 60 %	65, 70, 75, 80, 85, 90, 95
4 „abgestorben“	100 %	100

Ableitung der 'Kombinierten Schadstufe'

Verlichtungsstufe	Vergilbungsstufe			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3			3	
4			4 (abgestorben)	

Treten an einem Probenbaum mittlere oder starke Vergilbungen auf, wird die Schadstufe zur „kombinierten Schadstufe“ erhöht.

Es hat sich in der Ergebnisdarstellung die Anwendung der „kombinierten“ Schadstufe durchgesetzt. Auch ohne ausdrücklichen Verweis auf die Merkmalskombination wird unter Schadstufe die kombinierte Schadstufe verstanden. Das Merkmal Vergilbung hat in Brandenburg und Berlin bisher keine große Bedeutung; merklichen Differenzen zwischen Schadstufe Kronenverlichtung und kombinierter Schadstufe traten bisher nicht auf. Das Merkmal Vergilbung wird zusätzlich gesondert ausgewertet.

Daneben wird die **mittlere Kronenverlichtung** einer Stichprobeneinheit (aller Bäume einer Auswertungseinheit) als zusätzliches Instrument der Ergebnisdarstellung genutzt. Sie hat den Vorteil das Ergebnis unabhängig von den festgelegten, unterschiedlich breiten Schadstufengrenzen in einem Wert zu integrieren. Allerdings ist aus ihr nicht die Bandbreite der Verlichtungsgrade ersichtlich.

Schadstufen

Die Bezeichnung der Verlichtungsstufen als Schadstufen beinhaltet bereits eine Wertung. Ob die Anpassung der Kronendichte an variable Umweltbedingungen als Schaden oder eher Ausdruck der Reaktionsfähigkeit (Vitalität) eines Baumes gewertet werden sollte, wird mit der Konvention über die Bezeichnung der Verlichtungsstufen nicht entschieden. Wesentlich ist die Gruppierung in differenzierte Kronenzustände. Die Erfahrungen und Untersuchungen haben gezeigt, dass die natürlichen Schwankungen der Benadelungs- bzw. Belaubungsdichte in die ‚Schadstufe 1‘ hineinreichen. Die Stufe 0 „gesund“ oder „ohne Schadmerkmale“ wurde mit 0–10 % Verlichtung eng gefasst. Die Bäume der Stufe 1 mit 11–25 % werden als ‚kränkelnd‘ oder „schwach geschädigt“ bezeichnet. Erst ab Schadstufe 2, d. h. mehr als 25 % Kronenverlichtung werden eindeutige Schäden angenommen. Die Schadstufen 2 bis 4 werden zusammengefasst als „deutliche Schäden“ dargestellt.

Die **Häufigkeitsverteilung** der in 5 %-Stufen angesprochenen **Kronenverlichtung** ermöglicht im Vergleich mit dem Vorjahr eine detaillierte Aussage zum Bereich der Veränderungen.

Auswertungseinheiten sind auf Landesebene das Land insgesamt, die forstlichen Wuchsgebiete, Ämter für Forstwirtschaft und Kreise. Auf Landesebene ist eine weitere Differenzierung nach zwei Altersgruppen (bis 60 Jahre; über 60 Jahre) und Hauptbaumarten bzw. Baumartengruppen (Kiefer, sonstige Nadelbaumarten, Buche, Eiche, sonstige Laubbaumarten) möglich. In kleineren Aufnahmeeinheiten kann nur noch eine Gliederung nach Laub- und Nadelbaumarten erfolgen.

Neu ist die Zusammenfassung der Landesergebnisse von Berlin und Brandenburg zu einem Wert für die gemeinsame Region.

Die kleinste Stichprobeneinheit ist der WSE-Aufnahmepunkt. Er repräsentiert entsprechend der Stichprobenanlage generell einen Bestand. Auf dieser Ebene können Beziehungen des Kronenzustandes zu Standorts-, Witterungs- und Bestandesdaten geprüft werden.

Der Verlauf der Kronenzustandsentwicklung kann auch an Einzelbäumen von Interesse sein.

4 Ergebnisse der Waldschadenserhebung 2001

4.1 Gesamtregion

Mit der erstmaligen Vorlage eines gemeinsamen Waldzustandsberichtes der Länder Berlin und Brandenburg wird die Darstellung der Waldzustandsentwicklung für diese Region eingeführt. Dabei gehen die Daten der Landeserhebungen von Berlin und Brandenburg entsprechend ihrem Waldanteil gewichtet in das Gesamtergebnis der Region ein.

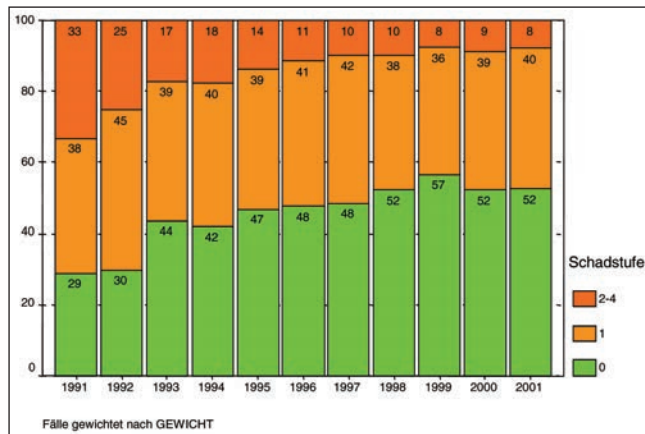


Abb. 4: Schadstufenentwicklung 1991 – 2001 in Prozent

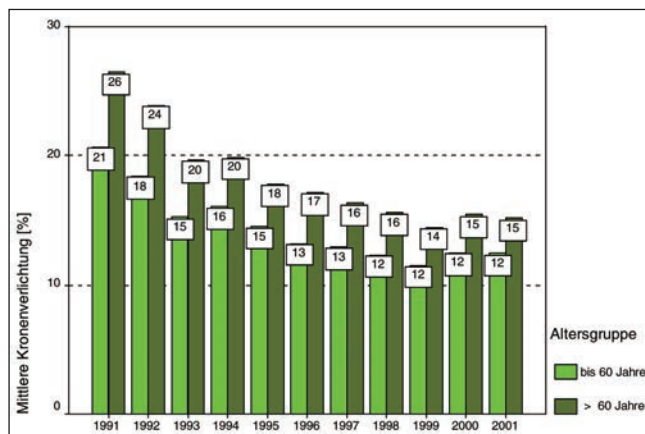


Abb. 5: Mittlere Kronenverlichtung nach Altersgruppen (bis 60 Jahre, über 60 Jahre)

In der Gesamtregion nahm der Flächenanteil deutlicher Schäden in der zusammenfassenden Betrachtung aller Baumarten gegenüber dem Vorjahr geringfügig um 1 %-Punkt auf 8 % ab.

Damit bestätigte sich in der Summe der relativ gute Vitalitätszustand der Wälder seit 1998 mit Flächenanteilen deutlicher Schäden unter 10 %. Gegenüber dem Beginn vergleichbarer Erhebungen in beiden Ländern hat sich der Kronenzustand der Waldbäume erheblich verbessert. Der Rückgang der deutlichen Schäden findet in einer entsprechenden Zunahme des Flächenanteils der Wälder ohne Schäden seine Entsprechung, während der Anteil der Waldfläche in der Schadstufe 1 relativ konstant bei 40 % lag.

Die Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung entspricht dieser Entwicklung. Sowohl die Altersgruppe der bis 60-jährigen Bäume als auch die Altersgruppe der über 60-jährigen Bäume weisen eine stetige Zunahme der Kronendichte bis 1998 auf. Seither ist eine Konstanz der mittleren Kronenverlichtung festzustellen. Ältere Bäume bleiben im Mittel höher verlichtet als die jüngere Altersgruppe.

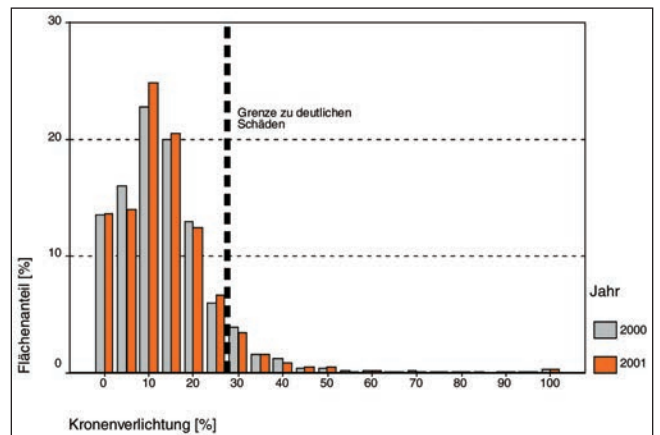


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für alle Baumarten (Vergleich mit Vorjahr)

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Kronenverlichtung in 5 %-Stufen für die Jahre 2000 und 2001 weist einen Rückgang des Anteils von Bäumen mit 5 % und eine entsprechende Zunahme von Bäumen mit 10 % Kronenverlichtung aus. Da beide Verlichtungsgrade in die Schadstufe 0 fallen, kommt diese Veränderung nicht in der Schadstufenverteilung zum Ausdruck. Die deutlichen Schäden konzentrieren sich auf die Verlichtungsgrade 30 %, 35 % und 40 %. Die Flächenanteile mit Kronenverlichtungen über 40 % lagen jeweils unter 1 % und in der Summe im Jahr 2000 bei 2,2 % und 2001 bei 2,0 %. Der Flächenanteil toter Bäume betrug im Jahr 2001 wie im Vorjahr 0,3 %.

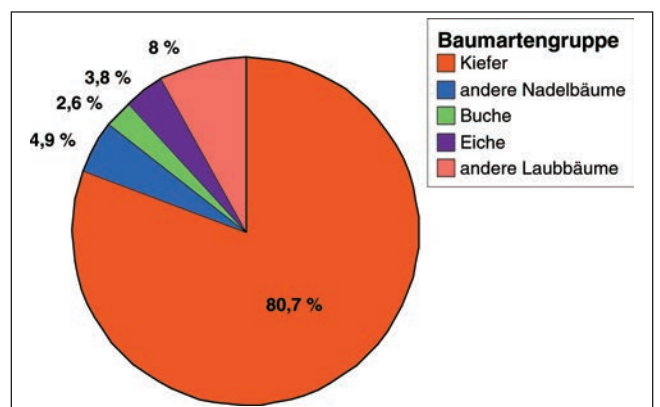


Abb. 7: Anteile der Baumartengruppen in der WSE-Stichprobe der Region Berlin-Brandenburg 2001

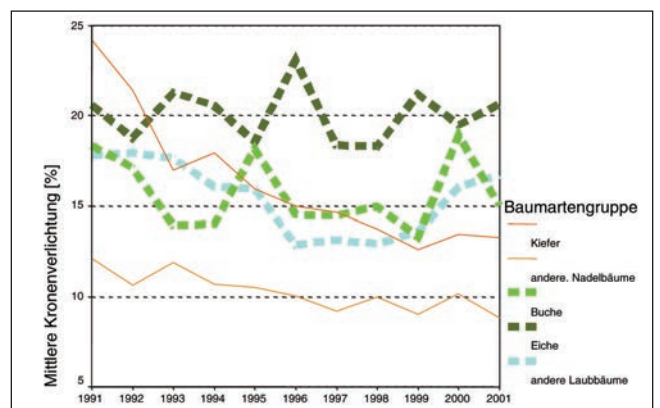


Abb. 8: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Baumartengruppen in der Region Berlin-Brandenburg

Die **Kiefer** dominiert mit 81 % Flächenanteil das Gesamtergebnis in der Region. Mit 7 % Flächenanteil deutlicher Schäden und 52 % Flächenanteil ohne Schäden ist ihr Zustand geringfügig besser als das Gesamtergebnis über alle Baumarten. Gegenüber dem Vorjahr ist der Anteil deut-

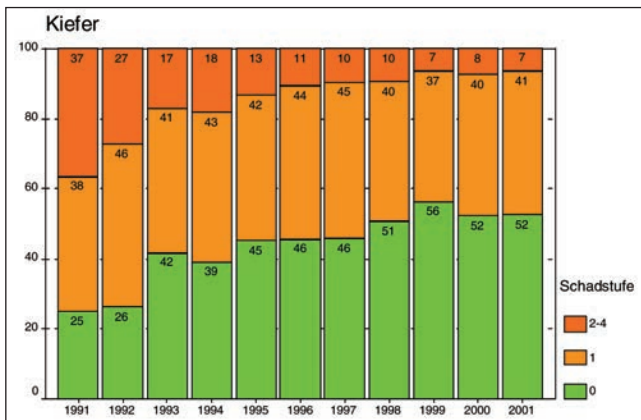


Abb. 9: Schadstufenentwicklung bei der Kiefer 1991 – 2001 in Prozent

Die fast 5 % **anderen Nadelbäume** der WSE-Stichprobe (Fichte, Lärche, Douglasie u. a.) weisen seit Beginn der Erhebungen in der Summe einen noch besseren Zustand als die Kiefer auf. Mit 70 % Flächenanteil ohne Schäden und

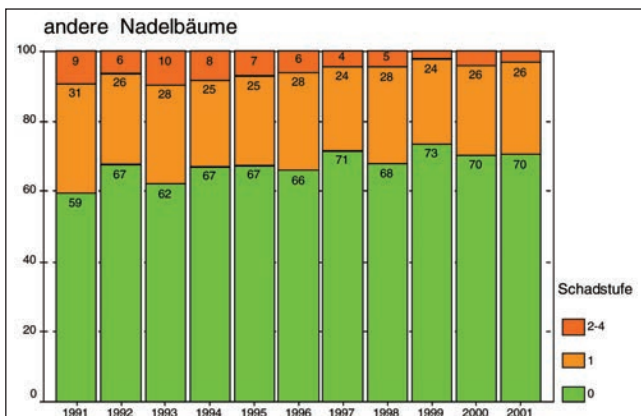


Abb. 10: Schadstufenentwicklung der anderen Nadelbäume 1991 – 2001 in Prozent

Die **Buche** ist mit gegenwärtig unter 3 % Waldflächenanteil eine Hauptbaumart, deren Anteil im Zuge des Waldumbaus eine größere Bedeutung zukommen soll. Bundesweit war die Buche im Jahr 2000 die Hauptbaumart mit der höchsten Kronenverlichtung (40 % deutliche Schäden). Die wenigen Buchen in der WSE-Stichprobe der Region hatten im Vorjahr mit 28 % Flächenanteil deutlicher Schäden den schlechtesten Kronenzustand seit Beginn der Erhebungen. Im Jahr 2001 ist

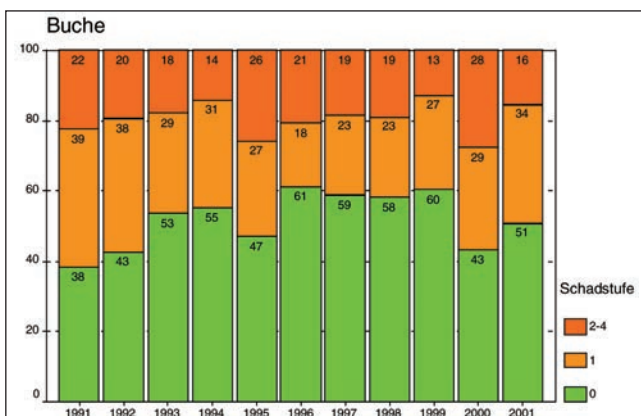


Abb. 11: Schadstufenentwicklung bei der Buche 1991 – 2001 in Prozent

licher Schäden um 1 %-Punkt auf 7 % zurückgegangen. Der Vitalitätszustand der Kiefern hat sich seit Beginn der systematischen Kontrolle erheblich verbessert. Die mittlere Kronenverlichtung sank von 24 % im Jahr 1991 auf 13 %.



nur 4 % deutlichen Schäden ist diese Baumartengruppe nur gering von Kronenverlichtungen betroffen. Die Entwicklungstendenz der mittleren Kronenverlichtung ist seit 1991 kontinuierlich fallend.



der Anteil der Schadstufen 2–4 um 12 %-Punkte auf 16 % zurückgegangen. Als eine Ursache für die hohe Kronenverlichtung im Jahr 2000 wurde die starke Fruktifikation älterer Buchen erkannt. Die Kronendichte hat im Jahr 2001 (noch) nicht wieder das Niveau des Jahres 1999 erreicht. Eine generelle Tendenz der Kronenzustandsentwicklung der Buche seit 1991 lässt sich nicht ableiten. Die mittlere Kronenverlichtung schwankt um 15 %, in Mastjahren steigt sie auf 20 %.



Auch die **Eiche** mit gegenwärtig 3,8 % Flächenanteil soll entsprechend der ökologischen Waldentwicklungsplanung einen höheren Anteil an der Waldfläche in der Region erhalten. Das Schadniveau der Eichen stieg bundesweit zwischen 1984 und 1997 kontinuierlich auf 47 % deutliche Schäden an und sank bis 2000 auf 35 %. In der Region bleibt die Eiche mit einem Flächenanteil von 28 % deutlichen Schäden die Hauptbaumart mit der höchsten Kro-

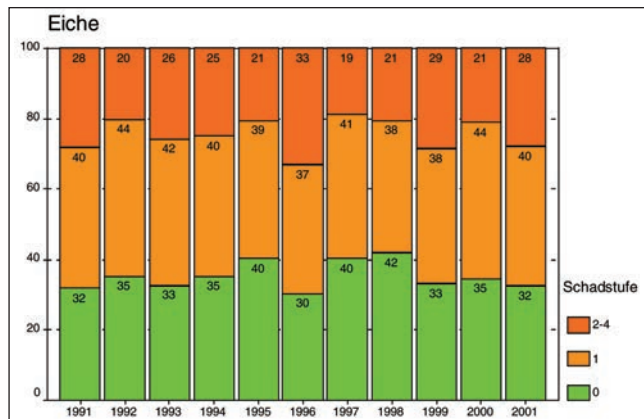


Abb. 12: Schadstufenentwicklung bei der Eiche 1991 – 2001 in Prozent



Andere Laubbaumarten (Birke, Erle, Robinie, u. a.) haben einen Flächenanteil von fast 8 % in der Gesamtregion. Ihr Zustand ist gegenüber den Hauptbaumarten Buche und Eiche deutlich besser, bleibt aber schlechter als der Zustand der Nadelbaumarten. Nach einer Zustandsverbesserung im Zeitraum 1991 bis 1996 blieb die mittlere Kronenverlichtung in dieser Baumartengruppe bis 1999 bei 13 % konstant, steigt aber seitdem wieder an. Im Jahr 2001 wurde ein Flächenanteil von 13 % in den Schadstufen 2–4 festgestellt. Gegenüber dem Vorjahr ist das ein Zuwachs von 1 %-Punkt, gegenüber dem besten Kronenzustand der Baumartengruppe im Jahr 1997 eine Verschlechterung um 5 %-Punkte.

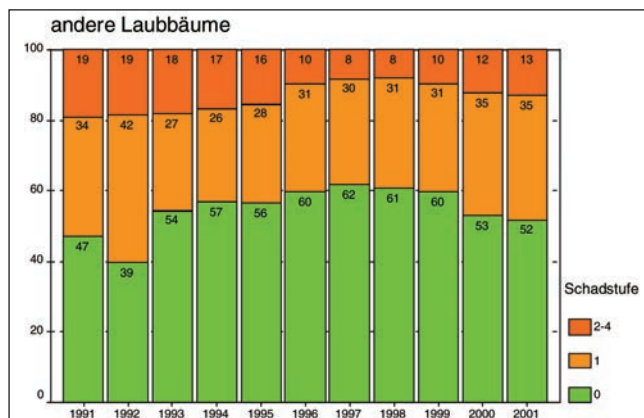


Abb. 13: Schadstufenentwicklung bei anderen Laubbäumen 1991 – 2001 in Prozent



4.2 Berlin

Die Waldzustandsentwicklung wurde auch in Berlin ab 1991 in einem einheitlichen neu angelegten Stichproben-Netz beobachtet.

Gegenüber der Entwicklung in Brandenburg ist für die in den Grenzen des Landes Berlin gelegenen Waldflächen keine Tendenz einer Erholung des Waldzustandes im Beobachtungszeitraum festzustellen. Der Flächenanteil deutlicher Schäden liegt im Jahr 2001 mit 29 % auf dem gleichen Niveau wie 1991, der Waldflächenanteil ohne Schäden ist

gegenüber der Erstaufnahme von 23 % auf 12 % im Jahr 2001 zurückgegangen. Damit wurde im Jahr 2001 der schlechteste Kronenzustand seit 1991 erfasst. Gegenüber dem Vorjahr stieg der Anteil der Schadstufen 2–4 von 24 % um 5 %-Punkte auf 29 %. Die mittlere Kronenverlichtung über alle Baumarten hat mit 24 % den bisherigen Höchststand erreicht. Gegenüber dem Vorjahr ist ein Anstieg von 2 %-Punkten festzustellen.

Die Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung im Jahr 2001 weist gegenüber dem Vorjahr eine Abnahme in den Verlichtungsstufen 0 %, 5 % und 10 % (Schadstu-

fe 0) aus, der eine Zunahme in den Verlichtungsstufen 20 % bis 35 % gegenübersteht (Schadstufen 1 und 2). Der Flächenanteil des Waldes mit Kronenverlichtungen über 40 % hat gegenüber dem Vorjahr nicht zugenommen. Er sank von 5,8 % im Jahr 2000 auf 4,7 % im Jahr 2001. Der Anteil toter Bäume in der WSE-Stichprobe lag mit 0,9 %

im Jahr 2000 und 1,1 % im Jahr 2001 deutlich höher als in der Gesamtstichprobe der Region. Die Baumartenzusammensetzung im Land Berlin ist gegenüber der in Brandenburg und damit in der Gesamtregion durch deutlich geringere Anteile der Nadelbaumarten und einen höheren Anteil von Eichen und anderen Laubbaumarten gekennzeichnet.

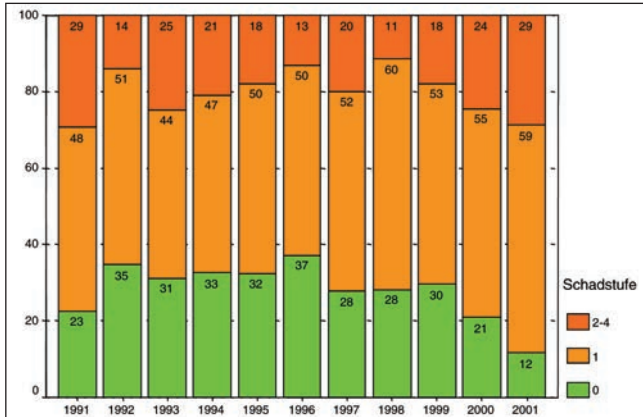


Abb. 14: Entwicklung der Schadstufenanteile für alle Baumarten 1991 – 2001 in Prozent

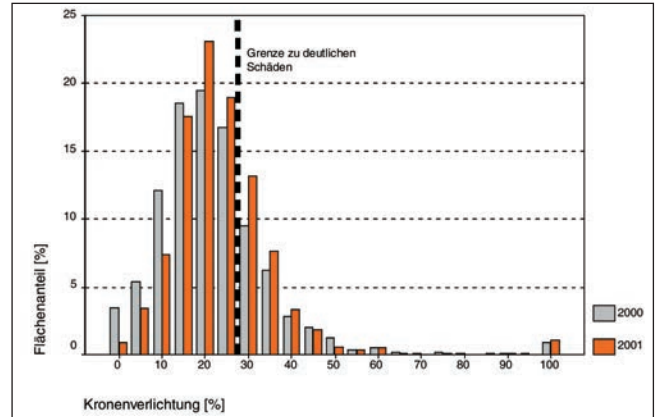


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung über alle Baumarten

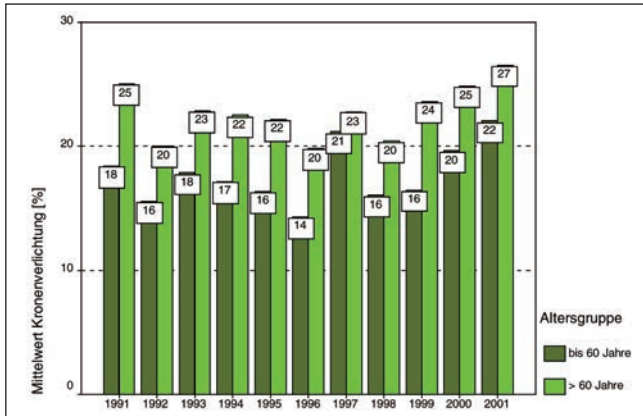


Abb. 15: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten

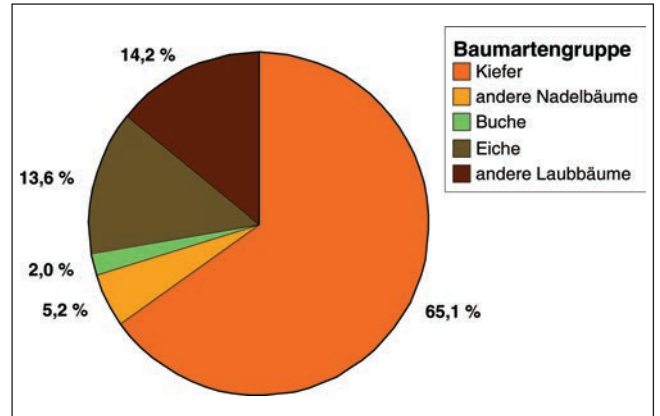


Abb. 17: Anteile der Baumartengruppen in der WSE-Stichprobe des Landes Berlin 2001

Die **Kiefer** hat mit 27 % Flächenanteil deutlicher Schäden im Jahr 2001 eine weitere Verschlechterung des Kronenzustandes erfahren. Die Zunahme der deutlichen Schäden seit 1999 ist begleitet von einem Rückgang des Flächenanteils der Kiefern ohne Schäden (Schadstufe 0). Die mittlere Kro-

nenverlichtung liegt im Jahr 2001 mit 23 % auf dem gleichen Niveau wie zu Beginn der Erhebungen im Jahr 1991. Damit ist im Gegensatz zur Entwicklung in Brandenburg keine Zustandsverbesserung der Kiefern im Stadtgebiet Berlins feststellbar.

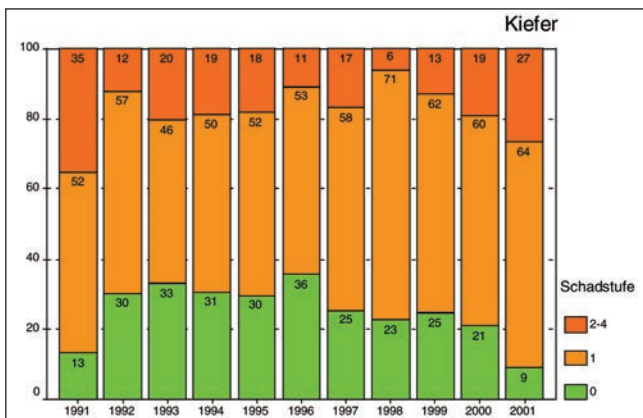


Abb. 18: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Kiefer in Prozent

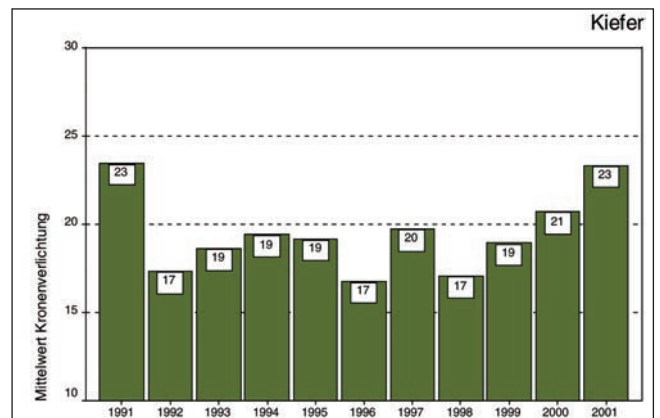


Abb. 19: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Kiefern

Die wenigen **Buchen** in der Stichprobe der WSE erlauben keine statistisch vertretbaren Aussagen für das Land Berlin. Ihr Zustand ordnet sich in das Gesamtergebnis der Region

ein. Gegenüber dem Vorjahr ist eine tendenzielle Zustandsverbesserung erkennbar, für die Zeitreihe seit 1991 ist keine Tendenz nachweisbar.

Die **Eichen** haben mit fast 14 % Baumartenflächenanteil in Berlin eine besondere Bedeutung. Ihr Kronenzustand ist nach dem Trockenjahr 1992 im Jahr 1993 mit 51 % Flächenanteil deutlicher Schäden aufgenommen worden. In den Jahren 1994 bis 1998 war eine Zustandsverbesserung und Stabilisierung des Kronenzustandes erkennbar. Diese positive Entwicklung hat sich seither aber wieder umgekehrt. Seit

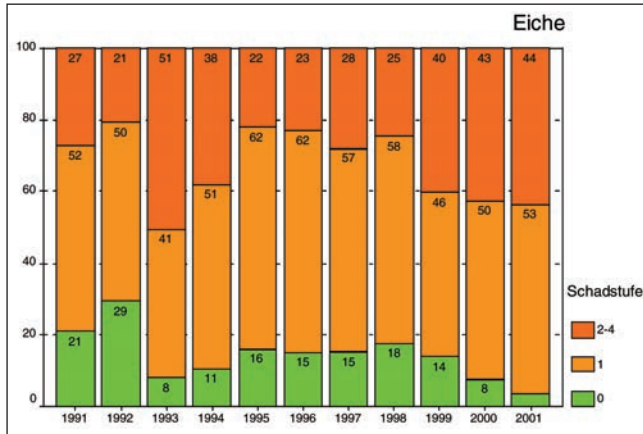


Abb. 20: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Eiche in Prozent

1999 nimmt der Anteil deutlich verlichteter Eichen wieder zu, der Anteil von Eichen ohne Schäden dagegen weiter ab. Mit nur 4 % Flächenanteil in Schadstufe 0 und 44 % Flächenanteil deutlicher Schäden wurde im Jahr 2001 die höchste Kronenverlichtung seit 1993 festgestellt. Die mittlere Kronenverlichtung liegt in der Zeitreihe über 25 %, seit 1999 ist sie mit 28 % konstant.

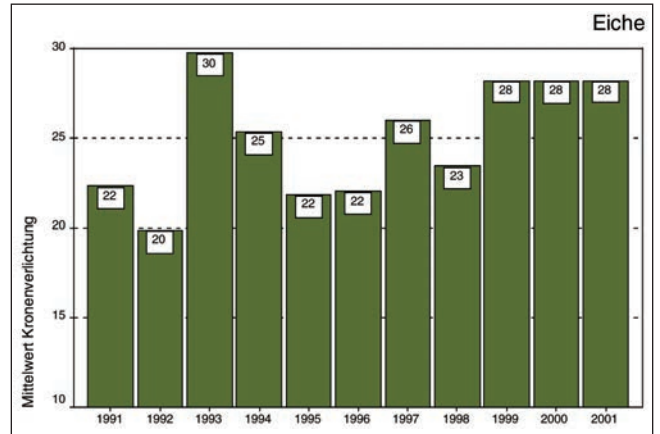


Abb. 21: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Eichen

Die geringe Stichprobenanzahl der Baumartengruppen andere Nadelbäume, Buche und andere Laubbäume erlaubt keine statistisch gesicherte Auswertung. Da in der Gesamtauswertung die Laubbäume ein deutlich höheres Schadniveau als die Nadelbäume aufwiesen, erfolgte für die Stichprobe Berlins eine Auswertung für diese zusammengefas-

sten Baumartengruppen, die zusätzlich nach Altersgruppen differenziert werden können.

Es bestätigt sich die Aussage, dass Laubbäume, vor allem in der Altersgruppe über 60-jähriger Bäume, ein deutlich höheres Niveau der Kronenverlichtung aufweisen als die Nadelbaumarten. Die Entwicklung der Flächenanteile deut-

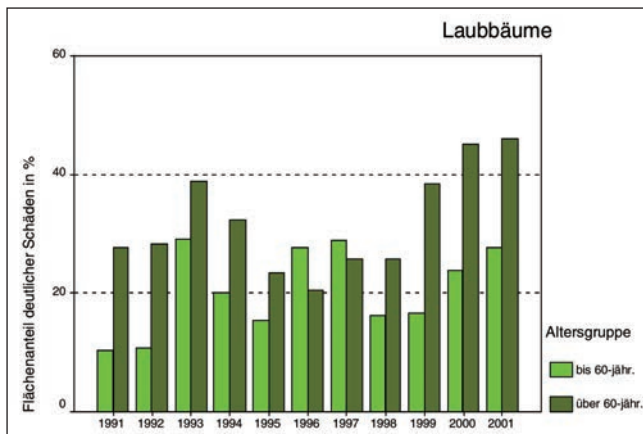


Abb. 22: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden nach Altersgruppen für die Laubbaumarten

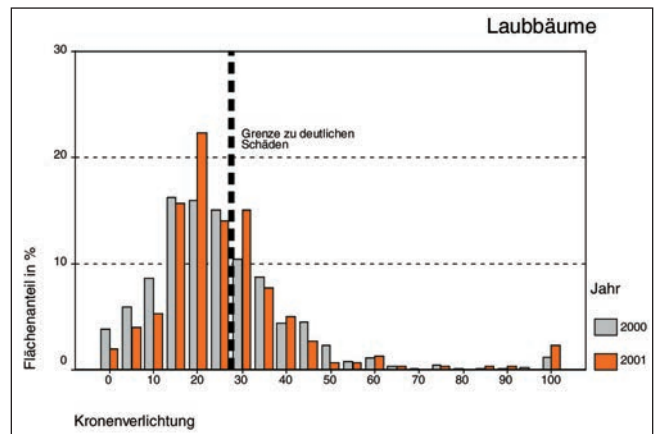


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für die Laubbaumarten

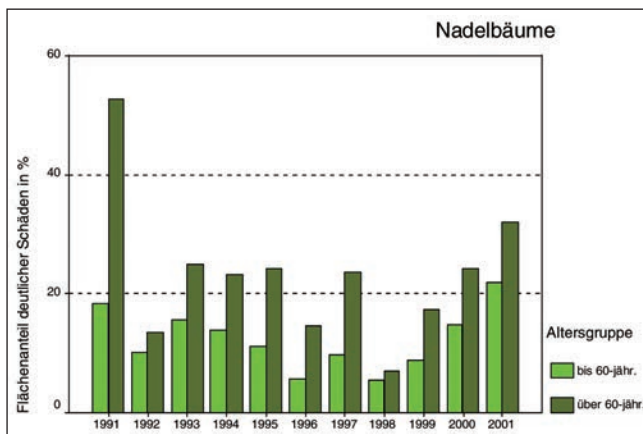


Abb. 24: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden nach Altersgruppen für die Nadelbaumarten

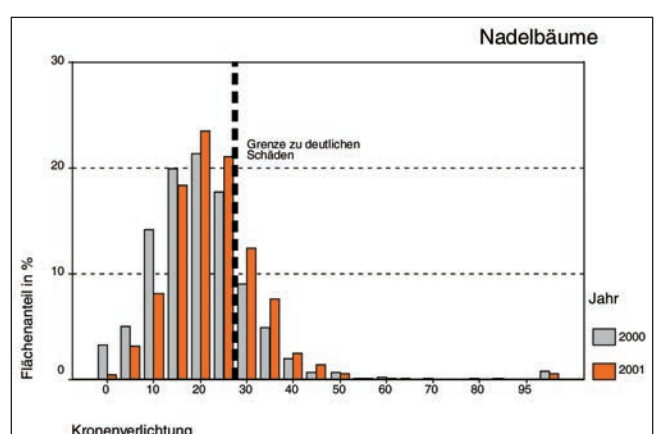


Abb. 25: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für die Nadelbaumarten

licher Schäden beider Baumartengruppen verläuft aber in Berlin ähnlich. Nach einem Minimum im Jahr 1998 nehmen die Anteile deutlicher Schäden in den letzten drei Jahren zu. Gegenüber dem Vorjahr ist in beiden Baumartengruppen der Rückgang der Flächenanteile der Kronenverlichtungen bis 10 % (Schadstufe 0) auffällig, dem eine Zunahme der Anteile der Kronenverlichtung im Bereich 20–45 % entspricht. Die Verteilung der Verlichtungsgrade ist 2001 gegenüber dem Vorjahr zu höheren Werten hin verschoben.

Eine räumliche Differenzierung der Schäden innerhalb des Landes Berlin ist nicht sehr ausgeprägt.

4.3 Brandenburg

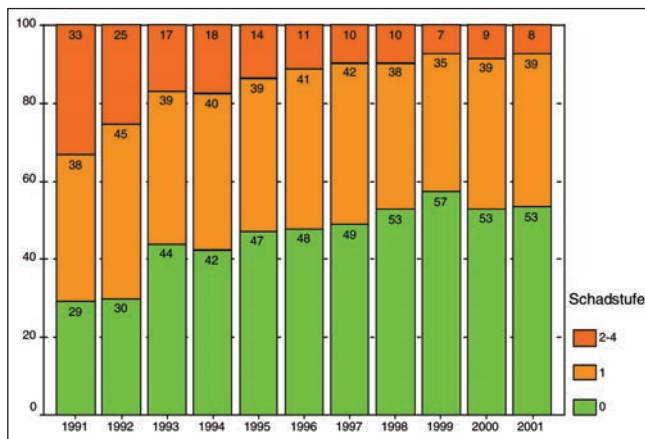


Abb. 26: Entwicklung der Schadstufenanteile für alle Baumarten in Prozent

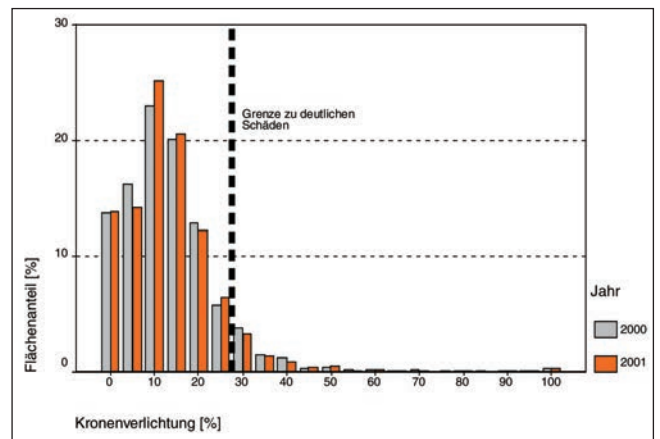


Abb. 28: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung über alle Baumarten

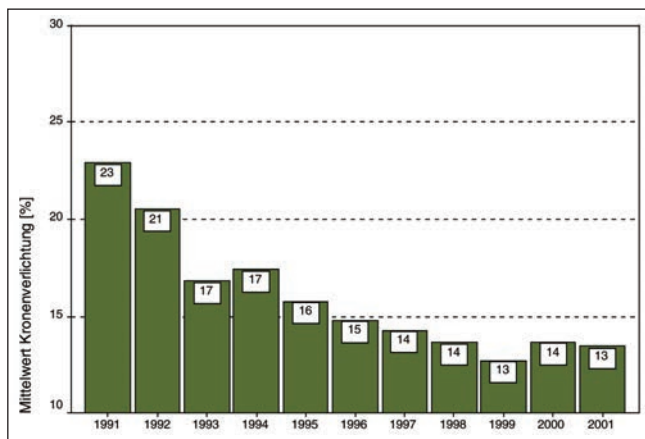


Abb. 27: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten

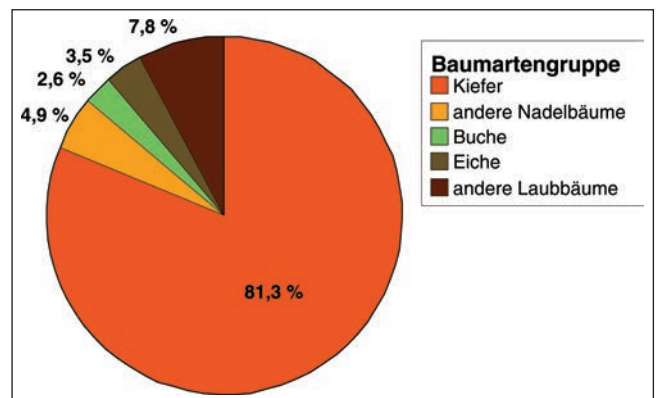


Abb. 29: Anteile der Baumartengruppen in der WSE-Stichprobe des Landes Brandenburg 2001

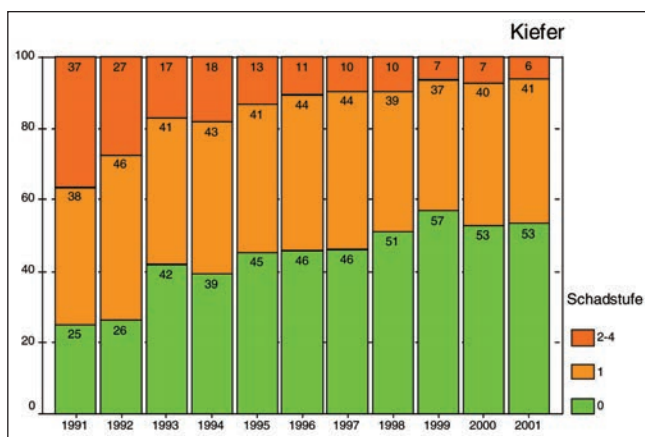


Abb. 30: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Kiefer in Prozent

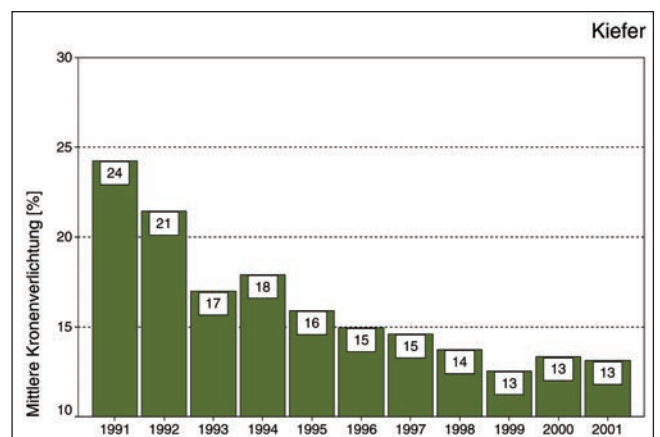


Abb. 31: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Kiefern

Das Land Brandenburg dominiert entsprechend seinem Waldanteil von 96,5 % an der Waldfläche der Region Berlin-Brandenburg das Gesamtergebnis. Entsprechend unterscheidet sich das Landesergebnis nur geringfügig vom Ergebnis der Gesamtregion. Gegenüber dem Jahr 1999, in dem das bisher beste Ergebnis der Waldschadenserhebung erfasst wurde, war im Jahr 2000 ein Anstieg der deutlichen Schäden um 2 %-Punkte auf 9 % festzustellen. Im Jahr 2001 ist der Flächenanteil deutlicher Schäden um 1 %-Punkt auf 8 % gefallen. Der Rückgang der mittleren Kronenverlichtung in der Zeitreihe seit 1991 ist damit seit etwa 5 Jahren zum Stillstand gekommen. Gegenüber dem Vorjahr weist die Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung keine deutliche Veränderung auf.

Entsprechend der Dominanz der Hauptbaumart entspricht die Schadstufenentwicklung der Kiefer der Entwicklung über alle Baumarten.

Die Laubbaumarten Buche und Eiche lassen in der Zeitreihe keine Tendenz einer Zustandsverbesserung erkennen. Gegenüber dem Vorjahr, in dem die starke Fruktifikation zur Kronenverlichtung der **Buche** beitrug, ist 2001 ein Rück-

gang der deutlichen Schäden von 27 % auf 16 % festzustellen. Die mittlere Kronenverlichtung sank von 25 % auf 19 %. Das Niveau der mittleren Kronenverlichtung ist in den Jahren seit 1998 schlechter (ca. 20 %) als in der vorhergehenden Periode 1991–1997 (ca. 15 %). Eine Tendenz ist aber aufgrund der Überlagerung mit der häufigen Fruktifikation in den Jahren 1992, 1995, 1998 und 2000 unsicher.

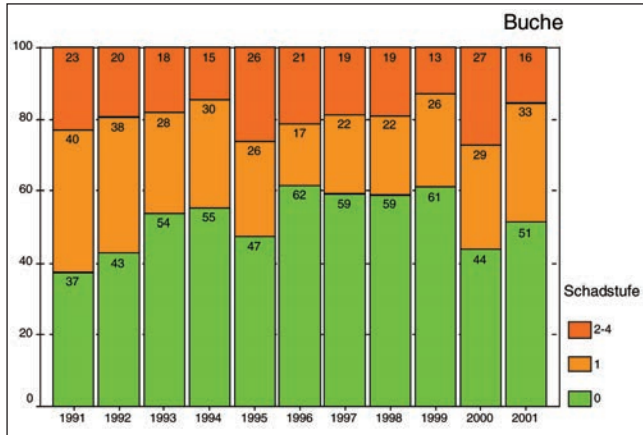


Abb. 32: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Buche in Prozent

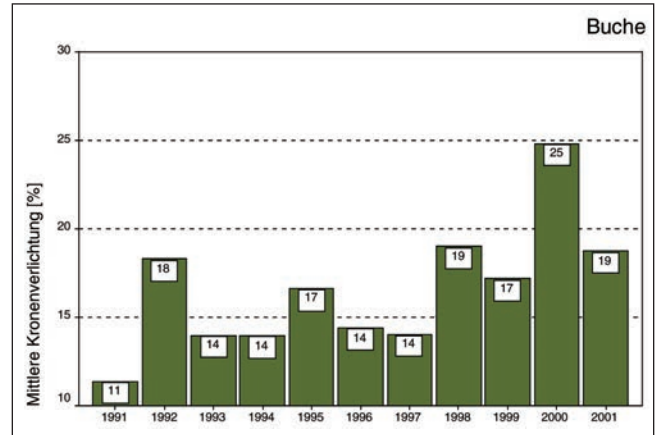


Abb. 33: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Buchen

Die **Eiche** ist mit 27 % Flächenanteil deutlicher Schäden im Jahr 2001 wie in Berlin die Baumart mit dem höchsten Grad der Kronenverlichtung. Gegenüber dem Vorjahr ist damit ein

Zugang deutlicher Schäden um 8 %-Punkte zu verzeichnen. Die mittlere Kronenverlichtung zeigt seit Beginn der Erhebungen keine Zustandsverbesserung, sie schwankt um 20 %.

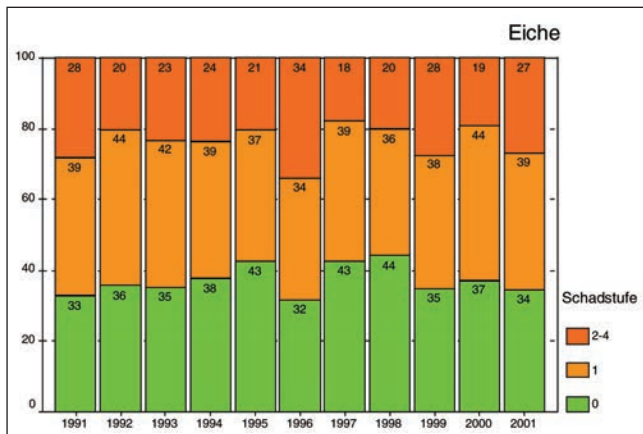


Abb. 34: Entwicklung der Schadstufenanteile für die Baumart Eiche

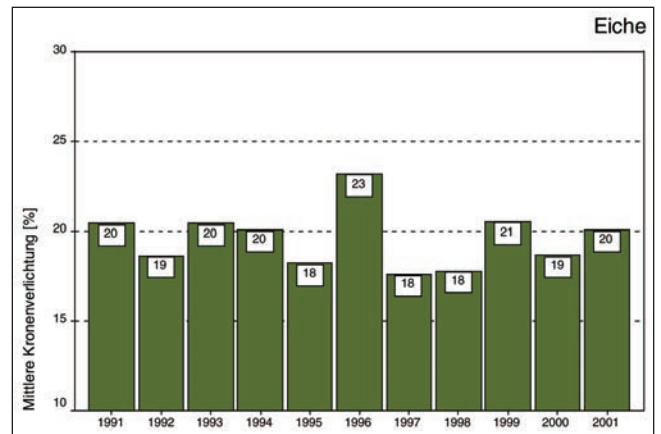


Abb. 35: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Eichen

Entsprechend der Entwicklung bei Buche und Eiche ist auch für die Zusammenfassung der Gruppe der **Laubbaumarten** (einschließlich anderer Laubbaumarten) kein Trend zu einer

Verbesserung des Kronenzustandes erkennbar. Seit 1998 steigt der Anteil deutlicher Schäden in beiden Altersgruppen und liegt 2001 in der Summe bei 17 %. Die Häufigkeitsver-

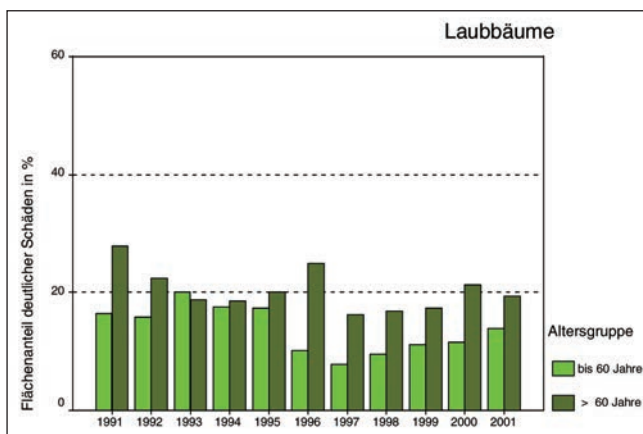


Abb. 36: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden nach Altersgruppen für die Laubbaumarten

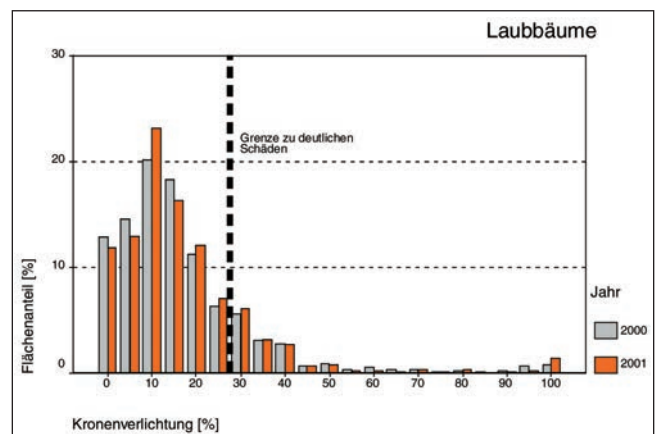


Abb. 37: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für die Laubbaumarten

teilung der Kronenverlichtung weist eine Zunahme der Verlichtung innerhalb der Schadstufen 0 und 1 auf. Die Zunahme des Anteils toter Bäume in der Baumartengruppe ist auf den totalen Ausfall eines WSE-Punktes durch Wildverbiss zurückzuführen.

Die **Nadelbaumarten** (Kiefer und andere Nadelbäume) ha-

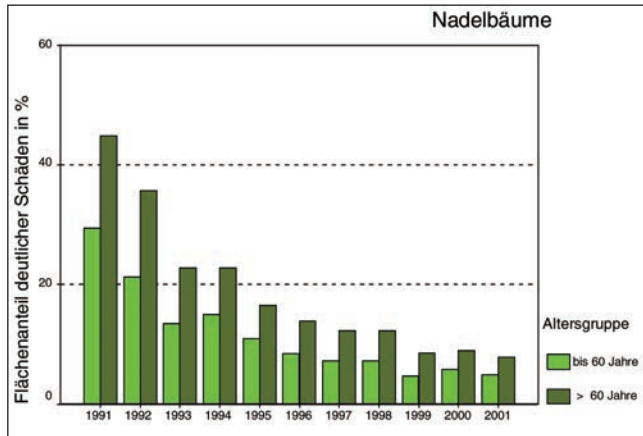


Abb. 38: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden nach Altersgruppen für die Nadelbaumarten

ben 2001 einen Flächenanteil von 6 % deutlichen Schäden. Die mittlere Kronenverlichtung liegt bei 13 %. Gegenüber dem Vorjahr ist aus der Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung auch für die Nadelbaumarten eine leichte Verschlechterung innerhalb der Schadstufengrenzen 0 und 1 erkennbar.

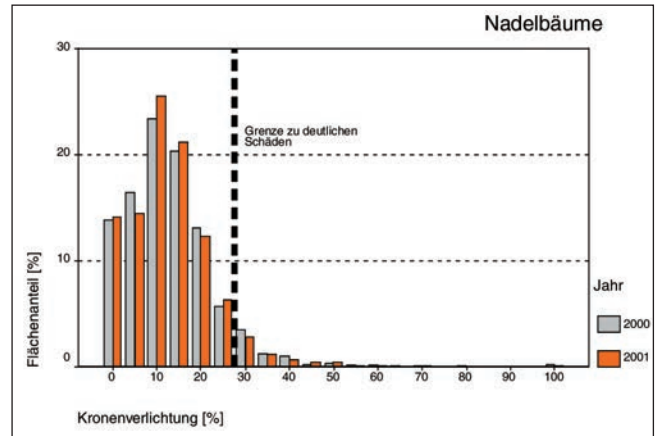


Abb. 39: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung für die Nadelbaumarten

Territoriale Schwerpunkte mit überdurchschnittlich hohen Flächenanteilen deutlicher Schäden sind 2001 die Landkreise Prignitz, Uckermark, Barnim und Havelland, konzentrieren sich also im Norden Brandenburgs.

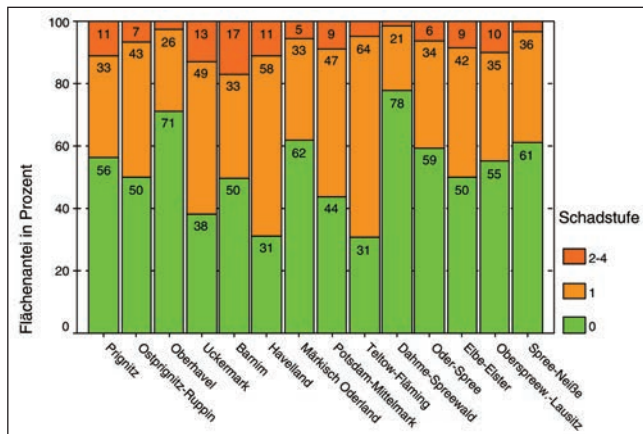


Abb. 40: Flächenanteile der Schadstufen im Jahr 2001 nach Landkreisen

4.4 Auswertung nach Wuchsgebieten, territoriale Schwerpunkte der Schäden

Forstliche Wuchsgebiete (siehe 3. Umschlagseite) sind Großlandschaften, die sich besonders durch das Großklima und ihren geologischen Aufbau voneinander unterscheiden. Sie bilden die Grundlage für die regionale Waldbauplanung, die Forstliche Rahmenplanung und auch für waldökologische Untersuchungen in die sich die Waldschadenserhebung einordnet.

Die Gliederung der WSE-Ergebnisse nach Wuchsgebieten lässt keine wesentlichen Differenzen der Kronenzustandsentwicklung erkennen. Die Flächenanteile deutlicher Schäden nehmen bei den Nadelbaumarten übereinstimmend tendenziell ab. Zu Beginn der Erhebungen noch erkennbare Unterschiede im Grad der Verlichtung sind zum Jahr 2001 auf ein gemeinsames geringes Niveau reduziert.

Bei den Laubbaumarten, die entsprechend der Waldstruktur nicht für alle Wuchsgebiete den notwendigen Stichproben-

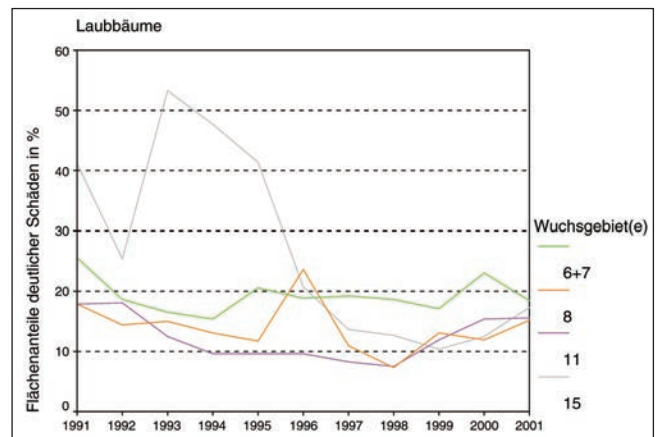


Abb. 41: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden an Laubbäumen nach Wuchsgebieten

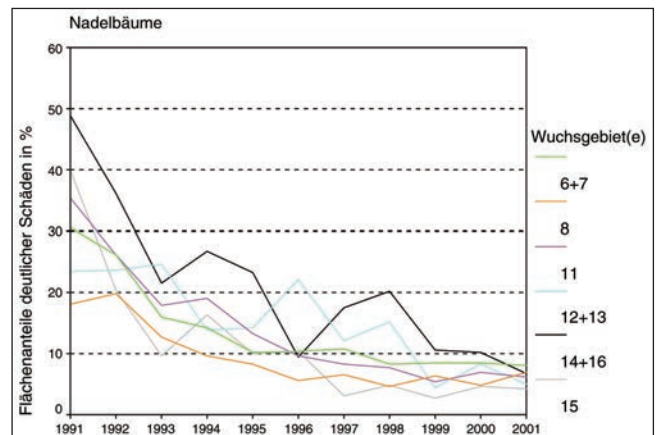


Abb. 42: Entwicklung der Flächenanteile deutlicher Schäden an Nadelbäumen nach Wuchsgebieten

umfang erreichen, ist der hohe Anteil deutlicher Schäden im Wuchsgebiet 15 ab 1996 deutlich reduziert. Im Nordbrandenburger Jungmöränenland (6 + 7) bleibt ein seit Beginn der Erhebungen erhöhtes Schadniveau bestehen. Übereinstimmend ist in den Wuchsgebieten 8, 11 und 15 nach zwischenzeitlicher Erholung in den letzten 3 – 4 Jahren wieder ein Anstieg der Anteile deutlicher Schäden festzustellen.

Die regionale Differenzierung der Waldzustandsentwicklung lässt sich in einem systematischen Gitternetz mit beschränkter Auflösung (16 km²) nur annähernd erfassen. Durch die Einbeziehung aller Baumarten und Altersstufen der Waldbestände können allein schon in der Waldstruktur begründete Unterschiede der Schadintensität eventuell bestehende regionale Unterschiede verdecken. Die Dominanz der Baumart Kiefer in der Region Berlin-Brandenburg erlaubt die Beschränkung der Stichprobe auf diese Baumart und den statistischen Ausgleich der bekannten Einflüsse von Baumalter und Intensität von Insekten- Fraßschäden. Mittels eines regionalstatistischen Verfahrens lassen sich aus der räumlichen Lage und der mittleren Kronenverlichtung der verbleibenden 540 Probepunkte der Region mit dominierendem Kiefernanteil wahrscheinliche Areale ähnlicher Verlichtungsgrade darstellen. Als Fehlerquelle sind die entsprechend der Waldverteilung ungleichmäßige Stichprobendichte und durch Beschränkung auf die innerhalb der Region liegenden WSE-Punkte auftretende Randeffekte zu berücksichtigen. Im Vergleich verschiedener Aufnahmejahre bleiben diese Fehler aber konstant, d. h. Entwicklungstendenzen bleiben interpretierbar.

Die Entwicklung der Kronendichte der Kiefer im Zeitraum 1991 bis 2000 ist durch eine deutliche Zunahme der Klasse bis 10 % mittlere Verlichtung gekennzeichnet. Gleichzeitig

nahm die Fläche mit erhöhten Nadelverlusten ab. Im Jahr 2001 ist diese positive Entwicklung durch eine Konzentration auf dem Niveau der Klasse 16–20 % abgelöst worden. Dabei nahmen die Flächenanteile höherer Schäden weiter ab, die Anteile geringerer Verlichtungsgrade aber ebenso.

Die Konzentration erhöhter Verlichtung im südlichen Brandenburg, die im Jahr 1991 ein abgegrenztes Gebiet erhöhter Verlichtung bildeten, ist bis zum Jahr 2000 fast vollständig zurückgegangen und auch im Jahr 2001 nicht wieder auffällig geworden.

Das 1991 in einem westlichen Gürtel ausgedehnte zweite Schadgebiet bleibt bei verbessertem Zustand auffällig.

Im Nordwesten Brandenburgs war 1991 ein dritter größerer territorialer Schwerpunkt der Waldschäden erkennbar. Dieses Gebiet ist bis 2001 erkennbar, weist aber weiter eine Zustandsverbesserung auf.

Die Kiefern in Berlin weisen einen Schadschwerpunkt im Ostteil des Landes auf. Die Zeitreihe von 1991 bis 2001 lässt keine Zustandsverbesserung erkennen. Das erhöhte Niveau der Kronenverlichtung setzt sich nach Brandenburg vor allem in nordöstlicher Richtung, im Jahr 2000 auch in nordwestlicher Richtung fort. Es sind Einflüsse der Großstadt auf den Waldzustand zu vermuten. Das können sowohl klimatische Einflüsse, als auch Immissionseinflüsse sein.

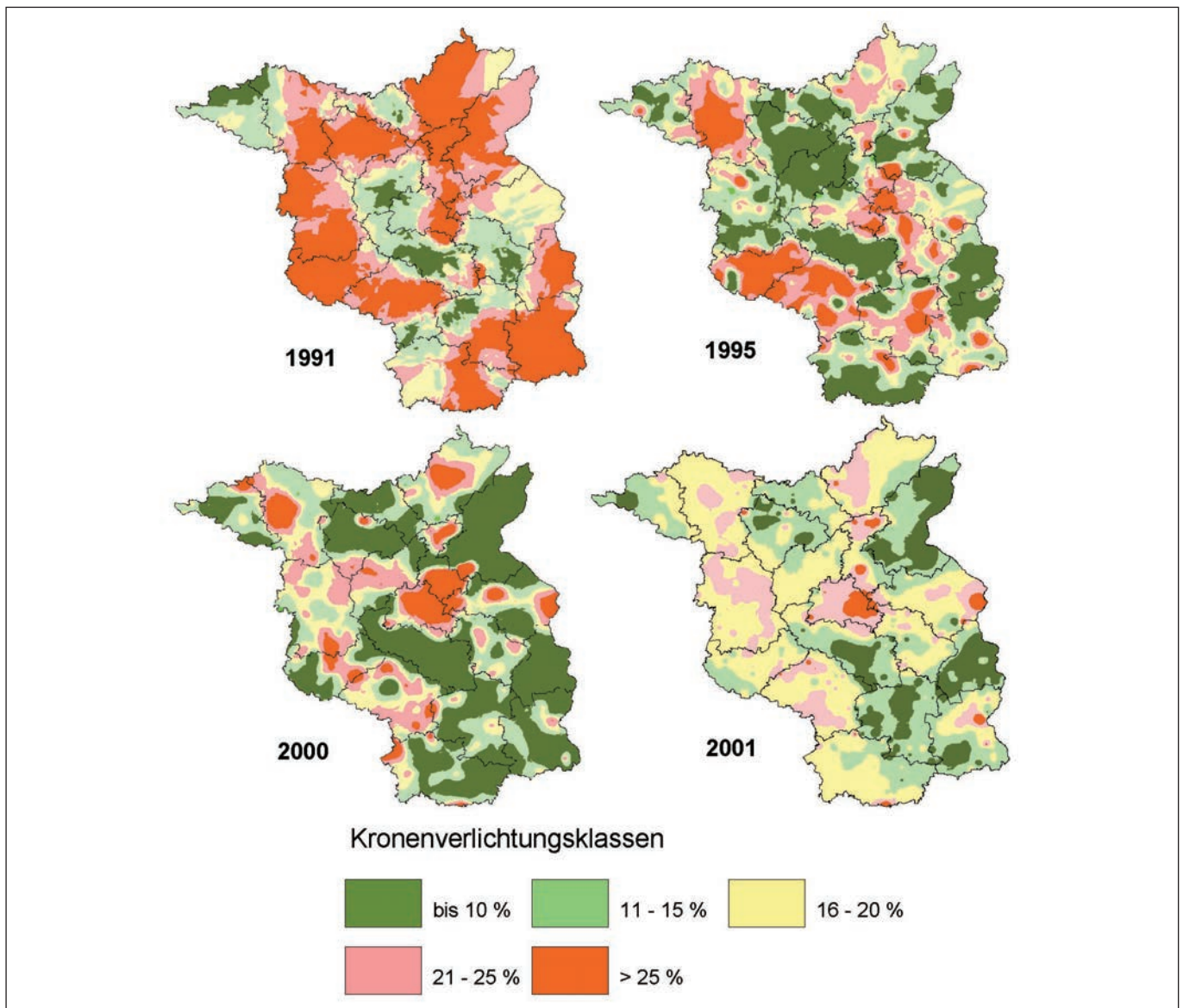


Abb. 43: Regionale Kronenzustandsentwicklung der Kiefer auf Basis der mittleren Kronenverlichtung an 540 WSE-Punkten der Länder Brandenburg und Berlin

4.5 Differenzialmerkmale und ihr Einfluss auf die Kronenzustandserhebung

Vergilbung

Die Beurteilung der Vergilbung von Nadeln und Blättern wurde mit Beginn systematischer Waldschadenserhebungen 1984 als ein Hauptmerkmal der Kronenzustandsbewertung integriert. Sie hatte vor allem für die Fichte in den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge Bedeutung, wo im Komplex der „Hochlagenerkrankung“ akute Mangelzustände der Magnesiumernährung zu starken Vergilbungen auch an den Blättern anderer Baumarten führte. In Berlin und Brandenburg hat die Vergilbung von Nadeln und Blättern bisher keine wesentliche Bedeutung. Die wenigen Fälle geringer und mittlerer Vergilbungsintensität sind oftmals durch vorzeitige Alterung von Nadeln und Blättern hervorgerufen. In der Zeitreihe seit 1991 nimmt der Anteil von Bäumen mit Vergilbungen der Nadeln und Blätter ab. Im Jahr 2001 ist ein Anstieg bei den Nadelbäumen festzustellen. Insgesamt tritt Vergilbung in Verbindung mit erhöhter Kronenverlichtung auf. Entsprechend des geringen Anteils der Bäume mit diesem Merkmal unterscheidet sich das Gesamtergebnis nur unwesentlich von dem für alle Bäume ohne Vergilbung der Nadeln bzw. Blätter.

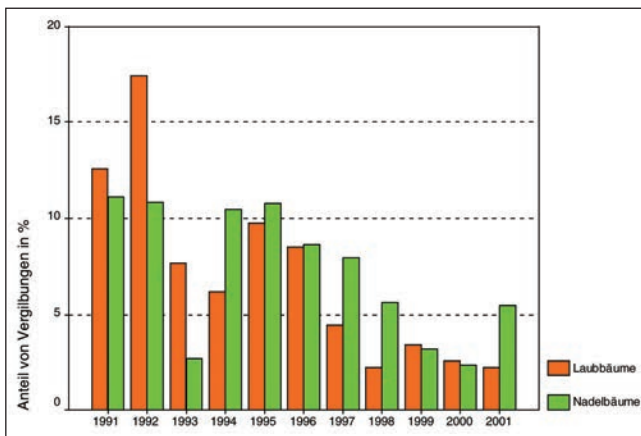


Abb. 44: Entwicklung des Flächenanteils von Bäumen mit Vergilbung der Blätter bzw. Nadeln (Laub- und Nadelbaumarten)

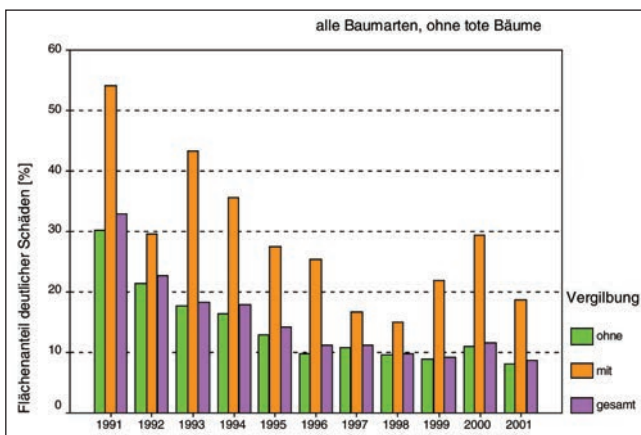


Abb. 45: Flächenanteile deutlicher Schäden für alle Baumarten (ohne abgestorbene Bäume) nach Gruppen ohne bzw. mit Vergilbung sowie für die Gesamtstichprobe

Intensität der Fruktifikation

Die Fruktifikation, die Ausbildung von Blüten und Früchten (Samen), erfordert durch den Baum einen Einsatz von Ressourcen, die entsprechend nicht in das Wachstum, die Ausbildung von Blattmasse, die Abwehr von biotischen Schäden und die Reservestoffbildung investiert werden

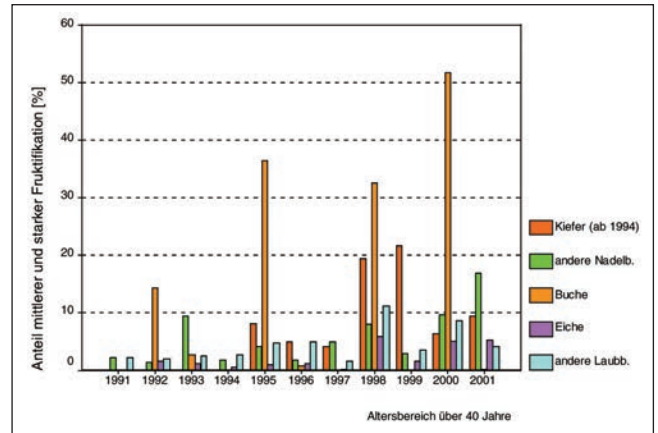


Abb. 46: Flächenanteil von Bäumen mit mittlerer und starker Fruktifikation nach Baumartengruppen und Jahren (Alter > 60 Jahre)

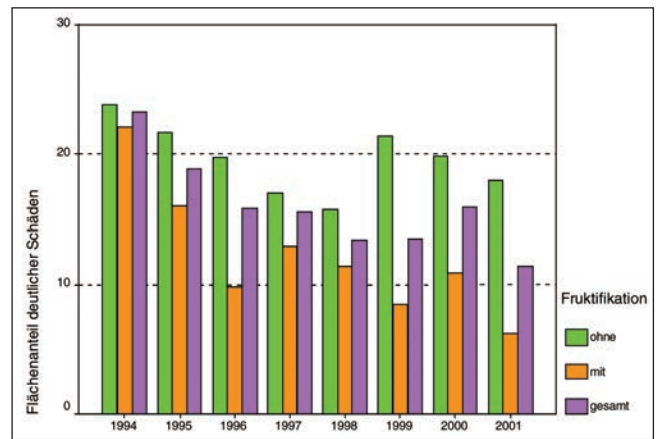


Abb. 47: Flächenanteil deutlicher Schäden nach Gruppen ohne bzw. mit Fruktifikation sowie die Gesamtstichprobe (alle Baumarten, Alter > 60 Jahre)

können. Die Erwartung ist deshalb naheliegend, dass mit starker Fruktifikation verringerte Kronendichten der Bäume einhergehen. Diese Erwartung wird nach den Ergebnissen in der Region mit Ausnahme der Buche nicht bestätigt. Vielmehr ist in der Summe über alle Baumarten mit besserem Kronenzustand eine häufigere Fruktifikation, bzw. mit auf-tretender Fruktifikation ein besserer Kronenzustand festgestellt worden.

Bei der Buche wurde dagegen in Mastjahren, d. h. Jahren mit hoher Intensität der Samenproduktion (Bucheckern), ein starker Anstieg der Kronenverlichtung festgestellt. Die Jahre 1992, 1995, 1998 und 2000 treten in der Schadstufenentwicklung der Buche deutlich hervor. Eine ähnliche Situation deutet sich in den Ergebnissen der Waldschadenserhebung der Eichen für das Land Berlin an, die in den Jahren 2000 und 2001 bei hoher Kronenverlichtung stark fruktifizierten. Die in den letzten Jahren vermehrte Blüte und Fruktifikation kann als Indiz für eine Verbesserung des Waldzustandes gewertet werden. Offenbar waren die Bäume in der Lage, vermehrt Reservestoffe für die generative Produktion zur Verfügung zu stellen.

Die Kiefer geht in diese Beurteilung erst ab 1994 mit dem Zapfenbehang ein, die Intensität der männlichen Blüte wird gesondert beurteilt.

Einflüsse auf den Kronenzustand der Kiefer durch männliche Blüten

Die Ausbildung männlicher Blüten der Kiefer erfolgt an der Basis der Jahrgangstriebe an Stelle der Ausbildung von zweinadeligen Kurztrieben. Dadurch wird in Jahren hoher

Blühintensität an einer großen Zahl von neuen Trieben eine geringere Nadelmasse ausgebildet. Es entsteht das Bild einer schirmchenartigen Benadelung; bei Blüte über mehrere Jahre bildet sich eine Triebkette wiederholt unterbrochener Benadelung, die zu erhöhter Transparenz der Kiefernkronen führt.



Abb. 48: Triebkette mit reduzierter Benadelung aufgrund wiederholter männlicher Blütenbildung

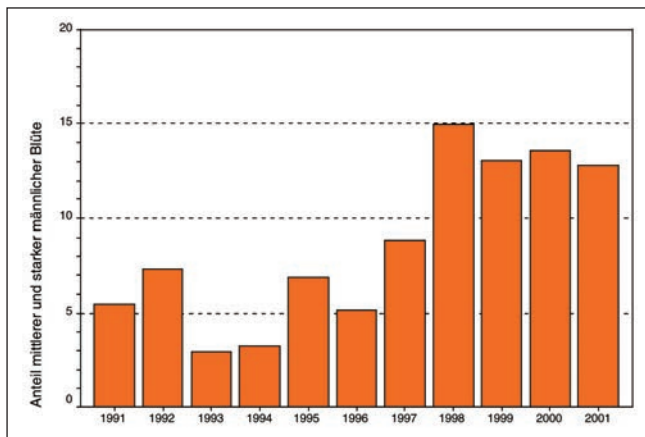


Abb. 49: Anteil mittlerer und starker Blüte an Kiefern im Altersbereich über 40 Jahre in Prozent

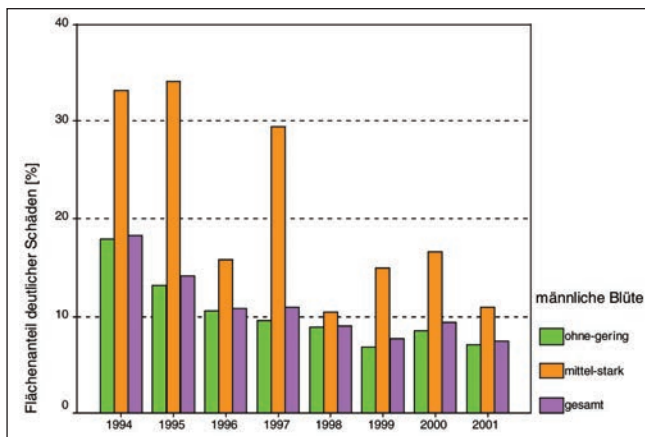


Abb. 50: Flächenanteil deutlicher Schäden der Kiefer nach Stufen der Blühintensität

Die Blühintensität der Kiefer hat in den Jahren 1998 bis 2001 gegenüber den Jahren 1991 bis 1997 deutlich zugenommen. Bei mittlerer und starker Blüte treten deutliche Effekte auf die Kronenverlichtung auf. In der Summe bleibt aber auch der Blüheffekt, der nicht als Schaden interpretiert werden darf, ohne bedeutenden Einfluss für das Ergebnis der Waldschadenserhebung. Die Flächenanteile deutlicher

Schäden der Baumart Kiefer ohne bzw. geringer Blühintensität unterscheiden sich vom Gesamtergebnis im Bereich von weniger als 1 %.

Intensität erfasster biotischer Schäden

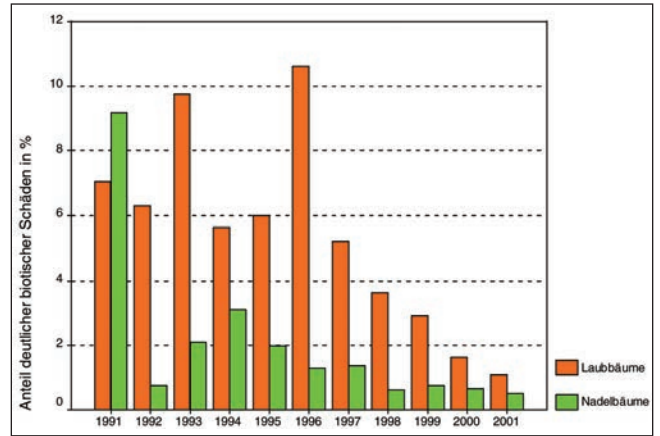


Abb. 51: Anteil mittlerer und starker biotischer Schäden (Insekten- und Pilzschäden) nach Baumartengruppen (Laub- und Nadelbaumarten)

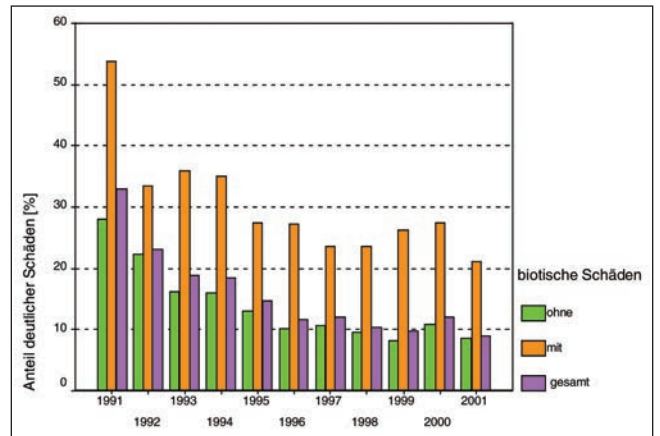


Abb. 52: Flächenanteil deutlicher Schäden für Bäume mit biotischen Schäden, ohne biotische Schäden und die Gesamtstichprobe

Die Intensität biotischer Schäden (Insekten und Pilze) hat natürlich Einfluss auf den Vitalitätszustand der Bäume. Neben direkten Auswirkungen durch Fraß und Pilzbefall an Nadeln und Blättern, Holz und Wurzeln der Pflanzen wirkt sich der Infektionsdruck auch auf die Intensivierung der Abwehrleistungen von nicht direkt betroffenen Bäumen aus. Die Waldschadenserhebung ist durch die Terminbindung auf den Hochsommer nicht geeignet, einen umfassenden Überblick zur Forstschutzsituation in der Region zu geben (siehe Abschnitt 5.2). Es werden aber an Stamm und Krone erkennbare Merkmale von Pilz und Insektenschäden nach Intensitätsstufen des Schadens erfasst. In der Zeitreihe seit 1991 ist der Anteil mittlerer und starker biotischer Schäden zunächst bei Nadelbäumen, ab 1997 aber auch bei Laubbäumen erheblich zurückgegangen. War der Anteil deutlicher Schäden im Jahr 1991 in der Gruppe der Bäume ohne biotische Schäden noch ca. 5 % geringer als in der Gesamtstichprobe, ist im Jahr 2001 kein merklicher Einfluss biotischer Schäden auf das Gesamtergebnis mehr feststellbar.

Humuszustandsmerkmale: Stickstoff- und Basensättigung

Bei der Suche nach Ursachen auftretender Waldschäden spielt der Bodenzustand als Ergebnis natürlicher und an-

thropogen überlagerter Stofftransformationsprozesse eine wesentliche Rolle. Wie im Abschnitt 6 zum Schwerpunktthema Stickstoffbelastung ausgeführt wird, ist der Humuszustand bzw. seine Veränderung ein guter Indikator für Störungen der Stoffkreisläufe in forstlichen Ökosystemen durch Fremdstoffbelastungen.

Für einen Teil der Aufnahmepunkte der Waldschadenserhebung (8 x 8 km – Netz der Bundesweiten Bodenzustandserhebung) liegt eine Analyse der Humusformen in der Einstufung nach Stickstoff- und Basensättigung vor. Für diese Stichprobe lässt sich eine deutliche Beziehung der mittleren Kronenverlichtung im Jahr 2001 zum Stickstoff- Gehalt der Humusform finden. Mit steigendem Stickstoffgehalt nimmt bei der Kiefer die mittlere Kronenverlichtung tendenziell zu, eine Ausnahme bildet die Stickstoff-Stufe m.

Für die Laubbaumarten Buche und Eiche ergibt sich eine umgekehrte Tendenz. Mit zunehmender Stickstoff-Stufe sinkt die mittlere Kronenverlichtung. Das Bild wiederholt sich bei Betrachtung der Basenstufe der Zustands-Nährkraftstufe. Mit zunehmendem Gehalt basischer Kationen in der Humusform steigt bei Kiefer die mittlere Kronenverlichtung und sinkt sie bei den Laubbaumarten Buche und Eiche.

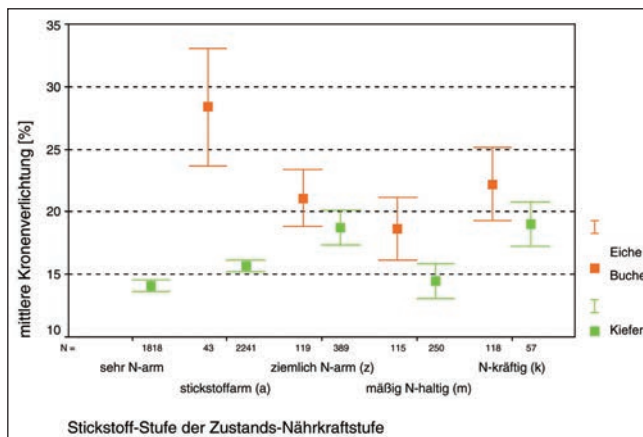


Abb. 53: Mittlere Kronenverlichtung im Jahr 2001 für Kiefer sowie die Baumartengruppe Buche und Eiche nach der Stickstoff-Stufe des Oberbodens (Zustands-Nährkraftstufe)

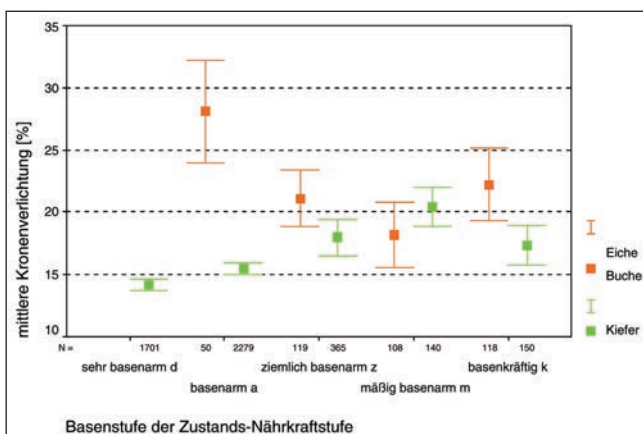


Abb. 54: Mittlere Kronenverlichtung im Jahr 2001 für Kiefer sowie die Baumartengruppe Buche und Eiche nach der Basen-Stufe des Oberbodens (Zustands-Nährkraftstufe)

Durch anthropogene Stoffeinträge ist eine gerichtete Veränderung der Standortsbedingungen hinsichtlich einer zwar verlangsamt, aber fortschreitenden Stickstoffakkumulation in den Oberböden und einer Abnahme der Vorräte basischer Kationen (Kalzium, Magnesium, Kalium), d. h. eine Versauerung, nachgewiesen.

Die Kiefer kann unter der Bedingung überwiegend in Brandenburg noch nicht erreichter Stickstoffsättigung der Standorte und noch erkennbarer Tolerierung der Auswirkungen reduzierter Basensättigung aktuell einen guten Vitalitätszustand halten.

Die Laubbaumarten Buche und Eiche haben höhere Ansprüche an die Stickstoff-Versorgung der Standorte, ihre Konkurrenzfähigkeit wird durch die Eutrophierung gefördert. Sie reagieren aber empfindlicher auf die Oberbodenversauerung, die zu Verlusten basischer Nährstoff-Kationen (Kalzium, Magnesium und Kalium) führt.

Vor diesem Hintergrund besteht das Problem in den gleichzeitigen, aber unterschiedlich gerichteten Wirkungen der unterschiedlichen Komponenten der Stoffeinträge hinsichtlich der Versauerung und Eutrophierung der Standorte, dem nicht einfach durch eine Anpassung der Waldstruktur begegnet werden kann. Der zunehmenden Entkopplung anzustrebender weitgehend geschlossener Stoffkreisläufe kann nur durch die Reduzierung der anthropogenen Stoffeinträge begegnet werden.

Die durch Stickstoff- und basische Staubeinträge in den vergangenen Jahrzehnten erreichte positive Nebenwirkung der Nährstoffakkumulation in Richtung auf den Abbau der Defizite der durch Übernutzung degradierten Oberbodenzustände gilt es aber gleichzeitig durch standortgerechte Baumartenwahl bei der ökologischen Waldentwicklung zu nutzen.

4.6 Einordnung der Ergebnisse in die Entwicklung auf Ebene des Bundes und Europas (Stand 2000)

Aus dem „Bericht über den Zustand des Waldes 2000“ der Bundesregierung:

- In der zusammenfassenden Betrachtung aller Baumarten ist das Schadniveau seit 1995 wie zu Beginn der Erhebungen (Abb. 55).
- In der langfristigen Betrachtung liegt der Flächenanteil der deutlichen Schäden mit 25 % bei Fichte und 13 % bei Kiefer deutlich unter den zu Beginn der Erhebung 1984 ermittelten Werten und hat sich seit 1995 nur noch geringfügig geändert.
- Anders stellt sich die Situation bei den Laubbaumarten Buche und Eiche dar. Im 17-jährigen Beobachtungszeitraum stieg der Anteil von Buchen mit deutlichen Schäden mit größeren jährlichen Schwankungen an und liegt nun erheblich über dem Ausgangsniveau von 1984. Der Flächenanteil deutlicher Schäden stieg zwischen den Jahren 1998 und 2000 von 29 % auf 40 % an.
- Zwischen 1984 und 1997 stieg das Schadniveau bei der Eiche weitgehend kontinuierlich an. Der Flächenanteil deutlicher Schäden ging im Jahr 2000 erfreulicherweise auf 35 % zurück.
- Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) und der Untersuchung auf Level II-Dauerbeobachtungsflächen belegen, dass nach wie vor ein hohes Gefährdungspotenzial für den Wald besteht.
- Luftverunreinigungen mit ihren eutrophierenden, potenziell toxischen, säurebildenden und basischen Eigenschaften haben auf den Stoffhaushalt und die Vitalität der Waldbestände und ihre nachhaltige Entwicklung großen Einfluss.
- Längere Messreihen von Level II-Dauerbeobachtungsflächen zeigen, dass die Eintragsraten von Schwefel seit den 80er Jahren drastisch, auf ostdeutschen Waldflächen bis zu 85 %, zurückgegangen sind. Die Entwicklung bei den Stickstoffeinträgen und insbesondere bei den Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft ist

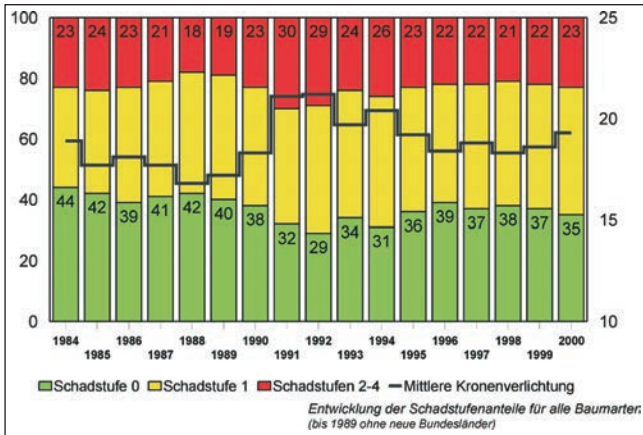


Abb. 55: Entwicklung der Schadstufenanteile und der mittleren Kronenverlichtung für alle Baumarten im Bundesergebnis 1984 – 2000

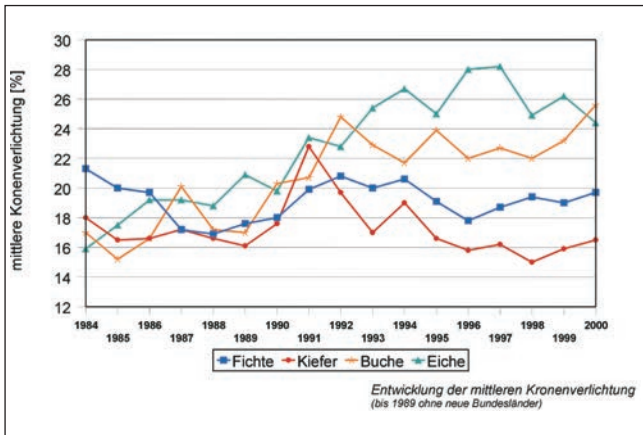


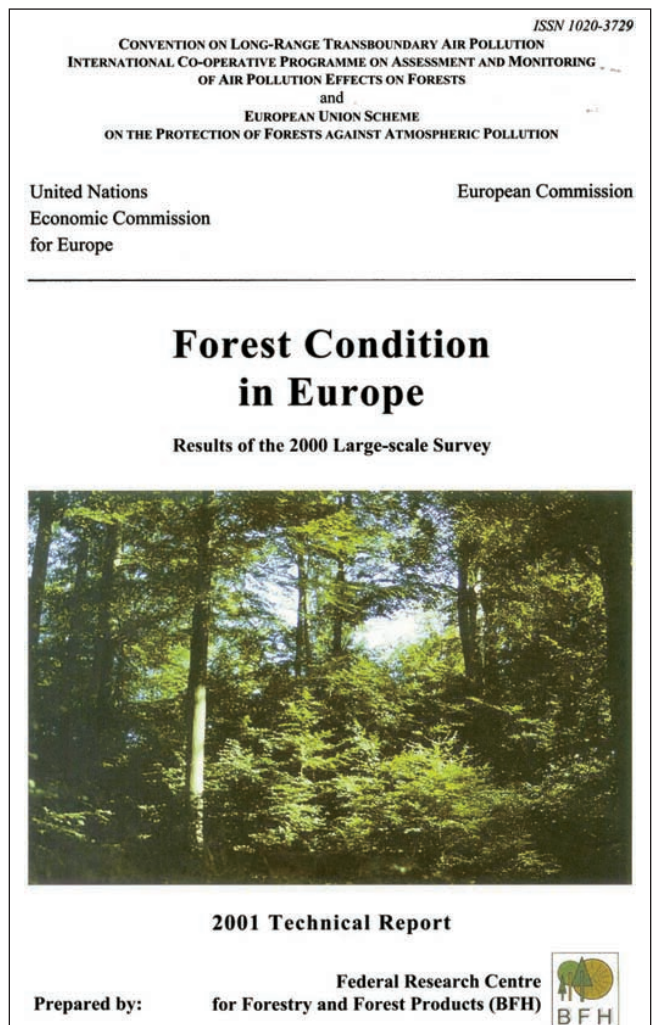
Abb. 56: Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Hauptbaumarten im Bundesergebnis 1984 – 2000

dagegen uneinheitlich. Im europäischen Vergleich gehören die auf deutschen Level II-Dauerbeobachtungsflächen gemessenen Werte zu den höchsten in Europa.

- Nach bisherigen Erkenntnissen sind auf über 90 % der Level II-Dauerbeobachtungsflächen langfristige, stickstoffbedingte Veränderungen u. a. in der Zusammensetzung der Bodenvegetation zu befürchten. Auf etwa 30 % der Level II-Dauerbeobachtungsflächen muss mit einer Stickstoffsättigung der Waldökosysteme und somit einem Anstieg der Nitratausträge mit dem Sickerwasser gerechnet werden. Die Säurebelastung erreicht auf fast allen untersuchten Level II-Dauerbeobachtungsflächen relevante Größenordnungen und beschleunigt somit die natürliche Bodenversauerung und die Nährstoffverluste.
- Die Maßnahmen zur Immissionsminderung müssen daher fortgesetzt und ergänzt werden. Das Ziel, die Luftschadstoffe weiter zu reduzieren, muss dabei in allen Politikbereichen – u. a. Umwelt-, Verkehrs-, Finanz-, Wirtschafts- und Landwirtschaftspolitik – verwirklicht werden.

Aus dem Europäischen Waldzustandsbericht 2001 für das Jahr 2000:

- Im Jahr 2000 wurde nahezu ein Viertel der Stichprobenbäume in ganz Europa als geschädigt eingestuft.
- Im Zeitraum von 1986 bis 1995 wurde an den kontinuierlich beobachteten Bäumen eine stetige Verschlechterung festgestellt. Die Ergebnisse seit 1995 zeigen eine Stabilisierung auf hohem Schadniveau.



- Die Entwicklung des Kronenzustandes variiert nach Klimaregionen und Baumarten aufgrund der sich zeitlich und räumlich ändernden natürlichen und anthropogenen Stress-Faktoren. In den nördlichen und nordöstlichen Klimaregionen sind die Anteile geschädigter Bäume gering oder zeigen einen Trend zur Verbesserung. In der Kontinentalen und der Südlichen Atlantischen Region gab es einen starken Anstieg des Anteils geschädigter und toter Bäume infolge extremer Wetterbedingungen und Waldbrände.
- In zwei Pilotgebieten wurden Beziehungen der mittleren Kronenverlichtung von Fichte, Kiefer und Eichenarten zu Bodeneigenschaften nachgewiesen. Trends zur Verschlechterung des Kronenzustandes wurden an Aufnahmepunkten mit hoher atmosphärischer Fremdstoffbelastung gefunden.

Die Ergebnisse der Waldschadenserhebungen in Berlin und Brandenburg ordnen sich widerspruchsfrei in die mit regional differenzierten Ausprägungen erkennbare Grundtendenz stagnierender (Nadelbaumarten) bzw. steigender Kronenverlichtungen (Laubbaumarten) im Beobachtungszeitraum in der Bundesrepublik und in Europa ein.

Die Erholung der Kiefer in der subatlantischen Region, zu der Polen, der Westen der Slowakei, die Tschechische Re-

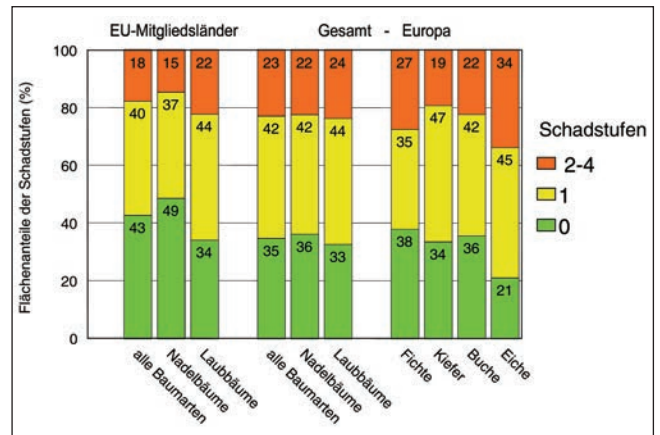


Abb. 57: Schadstufenanteile für verschiedene Baumarten(-gruppen). Gesamt-Europa und EU-Mitgliedsländer, Jahr 2000

publik und Ostdeutschland zählen, war im europäischen Maßstab besonders hervorzuheben. Hier sank ihr Anteil deutlicher Schäden von 1994 bis 1999 von 46 % auf 26 %. Als wesentliche Ursache ist der starke Rückgang der Schwefelbelastung zu sehen.

5 Einflüsse auf den Waldzustand

5.1 Klimatische Rahmenbedingungen

Witterungselemente sind wesentliche Steuergrößen für die ökophysiologischen Aktivitäten von Waldbäumen und der gesamten Vegetation von Waldökosystemen. Sie beeinflussen aber auch die Gesamtheit der biologischen und physikalisch-chemischen Prozesse in den Waldökosystemen und werden deshalb auch als Triebkräfte für den Wasser- und Stoffhaushalt des Ökosystems bezeichnet.

Von besonderer Bedeutung sind dabei die Temperatur und Niederschlag in Wechselwirkung mit der photosynthetisch aktiven Strahlung in ihrer jahreszeitlichen Dynamik.

Bäume besitzen in Abhängigkeit von ihrer genetischen Konstitution einen relativ weiten Toleranzbereich gegenüber Witterungsschwankungen, die sie bei ihrer langen Lebenserwartung und Standortbindung in der Regel ohne irreversible Schäden überstehen können. Waldbestände, deren Standortbedingungen für die aktuelle Baumartenzusammensetzung nicht geeignet sind oder die extremen Umweltveränderungen (z. B. Immissionen) unterworfen sind, reagieren besonders drastisch auf Witterungsextreme.

Es hat sich im Verlauf der WSE bestätigt, dass enge Beziehungen der Kronenverlichtung zu Witterungsverläufen in den bis zu 3 Vorjahren der Schadenserhebung bestehen.

Als besonders eng mit der Kronenverlichtung korrelierende Witterungsparameter haben sich die Wintertemperaturen und als Indikation für die Strahlung die Sommertemperaturen erwiesen. Gegenüber dem langjährigen Mittel erhöhte Wintertemperaturen wirken sich danach negativ auf die Kronenzustandsentwicklung der Kiefer aus, höhere Sommertemperaturen (Strahlungssummen) sind dagegen eher positiv zu bewerten.

In der niederschlagsarmen Region Berlin/Brandenburg mit vorherrschenden Sandböden geringer Wasserspeicherkapazität ist an grundwasserfernen Standorten häufig mit Trockenstress für die Waldbäume zu rechnen. Eine Anpassungsreaktion vitaler Bäume an diese Situation ist die Reduktion der Transpiration durch Schließen der Spaltöffnungen der Blätter und Nadeln, wobei auch die Photosynthese eingeschränkt wird. Reicht diese Regulation nicht aus, muss die transpirierende Blattfläche reduziert werden, um ein Welken und das Absterben zu verhindern. Ein vitaler Baum kann sich nach solchen Stress-Situationen, die zumeist noch gekoppelt mit hohen Lufttemperaturen, Ozonbelastungen und Versauerungsschüben durch hohe Abbauraten der Humusaufgaben auftreten und damit die verbleibende Bodenlösung mit Schadstoffen anreichern die Schäden im Wurzelsystem verursachen, im Verlauf von wenigen Jahren wieder regenerieren. Bei gehäuftem Auftreten ungünstiger Wachstumsbedingungen werden die Erholungsphasen für eine nachhaltige Regeneration zu kurz, das Wachstum stagniert, weniger vitale Bäume sterben ab und scheiden aus dem Bestand aus.

Die klimatischen Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Waldzustandes werden in Abb. 58 anhand der Abweichungen von Temperatur und Niederschlag von den jeweiligen langjährigen Mittelwerten auf Monatsbasis vorgestellt. Nach dem vergleichsweise kühlen Sommer und Herbst des Jahres 1998 war der Winter 1999 relativ mild. Die Niederschlagsmengen und die Niederschlagsverteilung waren relativ ausgeglichen.

Im Jahr 1999 traten ausgeprägte Differenzen der Niederschläge in der Region Berlin/Brandenburg auf. Während an



Übertragung von Klimadaten an einer Level II Freiland – Messstelle (1203)

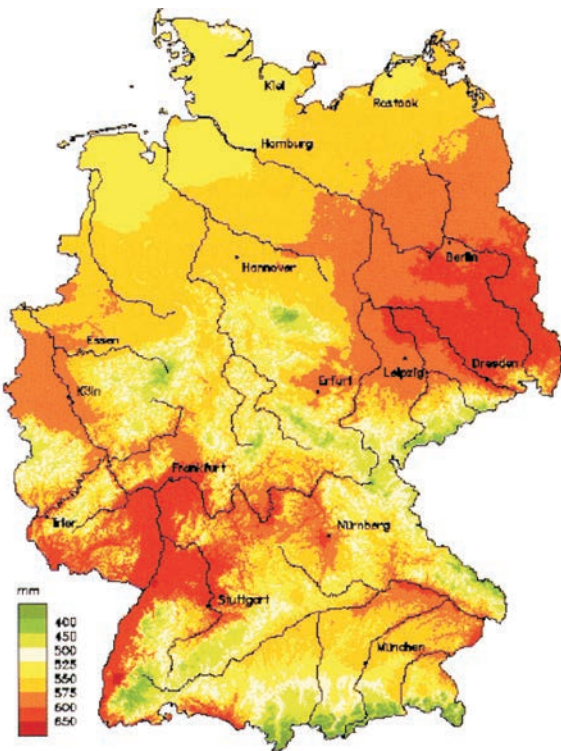
der Station Natteheide im Nordwesten Brandenburgs nur im Juli ein deutliches Niederschlagsdefizit gemessen wurde und im Süden Brandenburgs an der Station Neusorgefeld nahezu normale Niederschlagsverhältnisse auftraten, herrschte in Berlin von April bis November 1999 bei überdurchschnittlichen Temperaturen eine ausgeprägte Trockenperiode.

Der folgende Winter des Jahres 2000 war überdurchschnittlich warm. Mit Ausnahme des Juli lagen alle Monatsmittel im Jahr 2000 über den langfristigen Mittelwerten. Deutschlandweit war das Jahr 2000 das wärmste Jahr des Jahrhunderts.

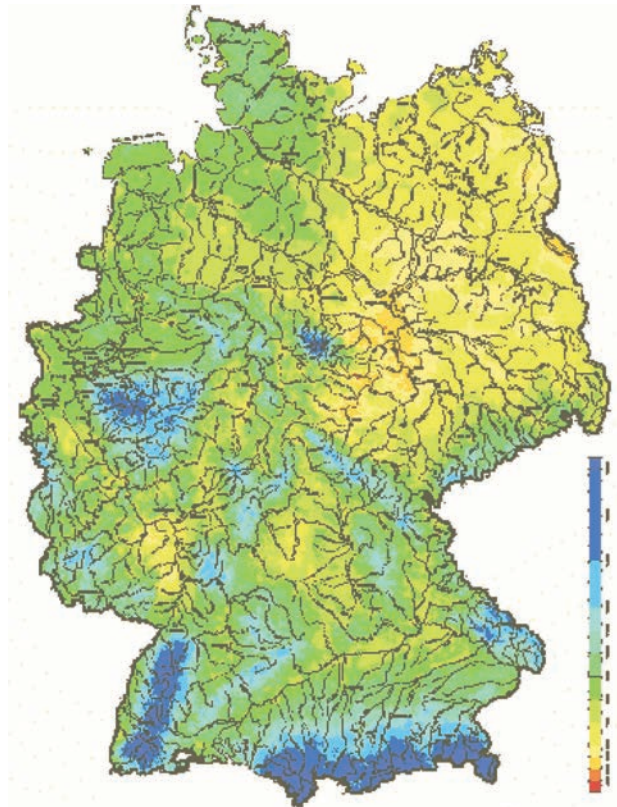
Durch hohe Frühjahrsniederschläge waren die Auswirkungen der Niederschlagsdefizite in den Monaten April – August (1201, Natteheide), Juni – August (1205, Neusorgefeld) und April – Juni (Berlin-Dahlem) nicht als stressauslösend zu betrachten, zumal der Juli ausgesprochen kühl blieb. Nach einem warmen Herbst ist der Winter 2001 nahezu temperaturnormal einzustufen. Die Niederschläge im ersten Halbjahr 2001 fielen normal bis überdurchschnittlich hoch aus. In der 3. Märzdekade 2001 führten im Süden Brandenburgs überdurchschnittlich hohe Niederschläge in Form von Nassschnee zu Schneebruchschäden (5.421 m³ Holz). Spätfrostschäden traten nur in relativ geringem Umfang auf.

Rückblickend ist damit in den letzten drei Jahren vor allem in Berlin das Jahr 1999 durch ein ausgeprägtes Niederschlagsdefizit gekennzeichnet, nach dem ab dem Jahr 2000 mit einer Reaktion im Kronenzustand gerechnet werden konnte.

Im Vergleich mit der längeren Zeitreihe seit 1991 (Abb. 59) relativieren sich die Temperaturabweichungen. In der Vege-

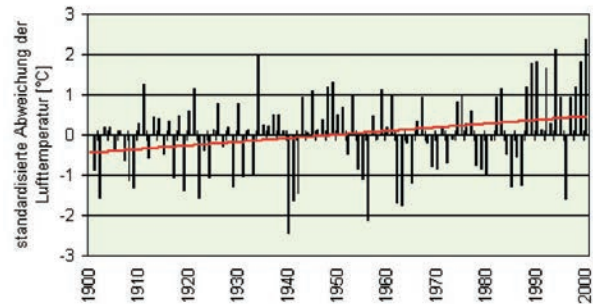


Mittlere Grasreferenzverdunstung 1961–1990
G.Müller-Westermeier, Klimastatusbericht 1998, DWD

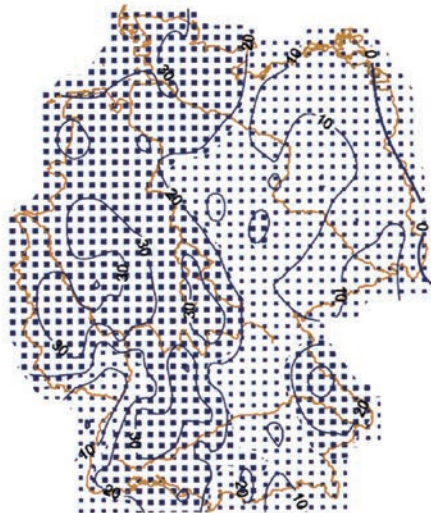
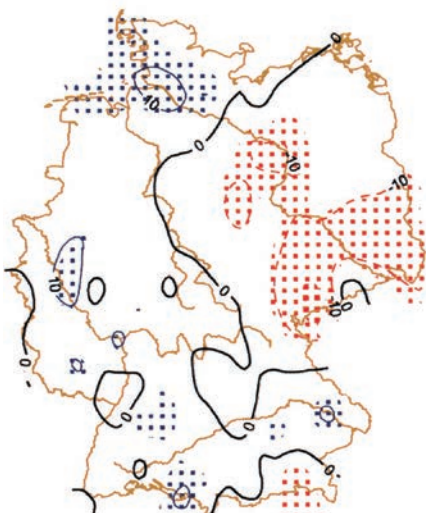


Mittlerer korrigierter Jahresniederschlag
(Periode 1961–90), DWD (Hydrologischer Atlas)

Der Osten Deutschlands weist sowohl geringe Niederschläge als auch hohe Verdunstungsraten auf. Damit wird die klimatische Wasserbilanz, die sich aus der Differenz der Niederschlagsmengen und der potenziellen Verdunstung ergibt, für Brandenburg und Berlin überwiegend negativ. Der Trend der Erhöhung der Lufttemperatur verschärft die Situation für die Vegetation ebenso, wie der Trend zur Abnahme der Sommerniederschläge bei Zunahme der Winterniederschläge. Trockenstress wird damit für die Wälder in Brandenburg und Berlin ein häufiger auftretendes Phänomen.



Standardisierte Abweichung der Lufttemperatur vom Gesamtmittel in Deutschland 1900–2000
Quelle: DWD, Klimastatusbericht 2000



Relative Trends der Niederschlagshöhe (in % des Mittelwertes) zwischen 1896 und 1995 mit signifikanten Gebieten (gerastert). Links: Hydrologisches Sommerhalbjahr, rechts Hydrologisches Winterhalbjahr.
Quelle: J. Rapp, Klimastatusbericht 1999, DWD

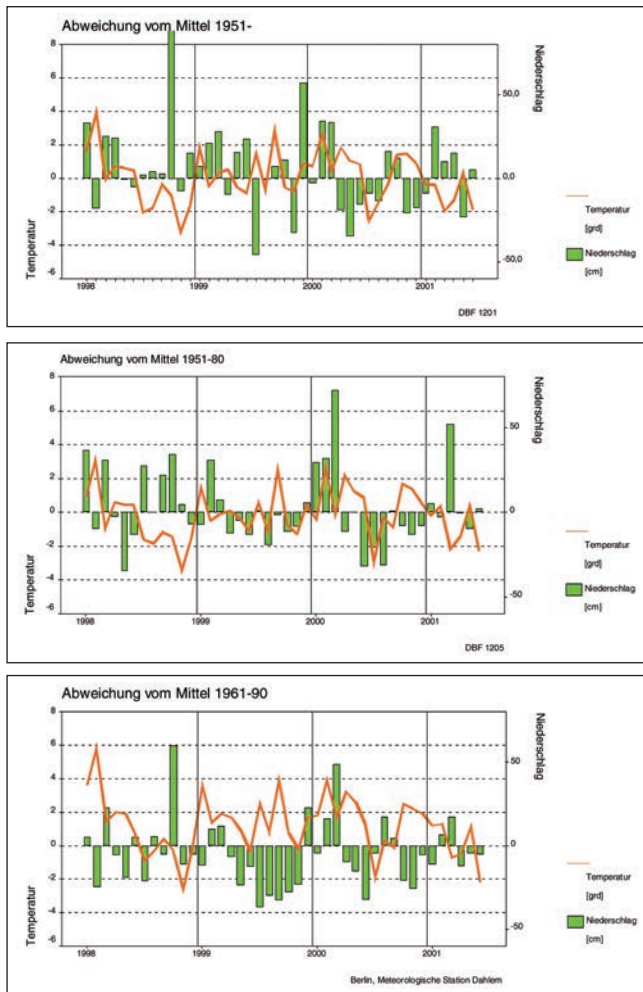


Abb. 58: Abweichung der Monatssummen des Niederschlags und der Monatsmittel der Lufttemperatur im Zeitraum Januar 1998 bis Juni 2001 vom langjährigen Mittel (1961–1990)
 a) Level II Fläche 1201 Natteheide
 b) Level II Fläche 1205 Neusorgefeld
 c) Berlin (Dahlem)

tationszeit waren die Jahre 1998 – 2000 eher unauffällig, besonders kühl war die Vegetationsperiode 1996. Die ersten drei Monate der Vegetationsperiode 2001 waren auch deutlich kühler als normal. In der Vegetationsruhe (Oktober – März) wurden nur im Jahr 1996 deutlich negative Temperaturabweichungen erfasst, in den Jahren 1997 und 1999 war die Vegetationsruhe überwiegend kälter als normal. Es dominierten aber im Jahrzehnt gegenüber dem langfristigen Mittel erhöhte Lufttemperaturen sowohl in der Vegetationsruhe als auch in der Vegetationszeit.

Die Niederschlagsabweichung in der Vegetationszeit ist mit einem Defizit von 140 mm im Jahr 1999 in Berlin zwar sehr ausgeprägt, ähnliche Defizite traten aber in anderen Jahren auch an Standorten in Brandenburg auf. Auffällig ist die große Heterogenität, die eine pauschale Aussage zur Witterungssituation in der Region Berlin/Brandenburg nicht erlaubt.

Den Niederschlagsdefiziten in der Sommerperiode stehen überwiegend positive Abweichungen der Niederschlagsmengen in der Vegetationsruhe gegenüber. Ein Trockenstress für die Wälder ergibt sich aus der Differenz zwischen der Wasserverfügbarkeit für die Bäume und dem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre. Die Wasserverfügbarkeit ist abhängig von der Füllung des Bodenwasserspeichers im Frühjahr und der Nachlieferung von Wasser über die Niederschläge. Bei hohem Verdunstungsanspruch der Atmosphäre (geringe Luftfeuchte, hohe Temperatur, ho-

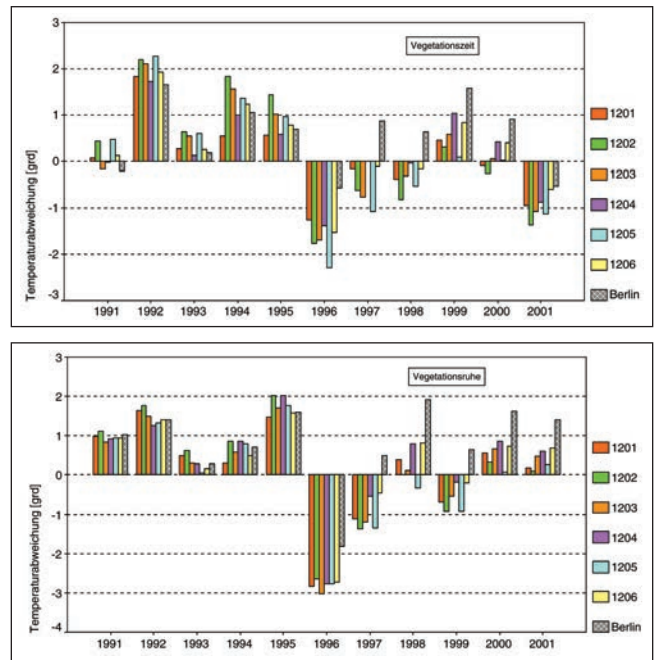


Abb. 59: Temperaturabweichung vom langjährigen Mittel an Brandenburger Level II Standorten und in Berlin-Dahlem
 a) Vegetationszeit (April – September)
 b) Vegetationsruhe (Oktober – März)

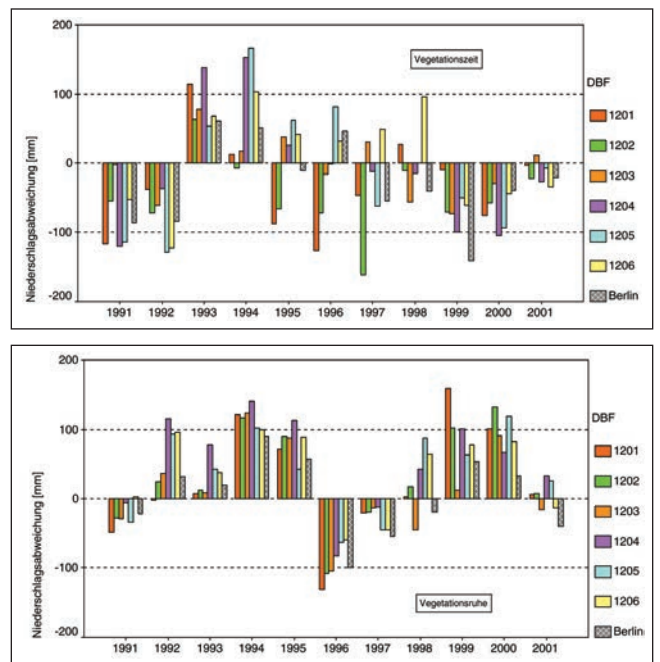


Abb. 60: Niederschlagsabweichung vom langjährigen Mittel an Brandenburger Level II Standorten und in Berlin-Dahlem
 a) Vegetationszeit (April – September)
 b) Vegetationsruhe (Oktober – März)

he Strahlungsintensität, Wind) wird viel Wasser durch die Spaltöffnungen der Pflanzen (Transpiration) und an allen Oberflächen (Evaporation) verdunstet. Näherungsweise kann man die potenzielle Verdunstung einer Standardoberfläche (Gras) in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte errechnen und sie in der klimatischen Wasserbilanz den Niederschlägen gegenüberstellen.

Je nach Klimabedingungen wird somit für den Betrachtungszeitraum (Monate, Jahre) ein relatives Maß der Wasserversorgung der Pflanzen gebildet.

In Abb. 61 wird die klimatische Wasserbilanz auf Monatsbasis für vier Standorte in der Region von Januar 1992 bis Juni 2001 vorgestellt.

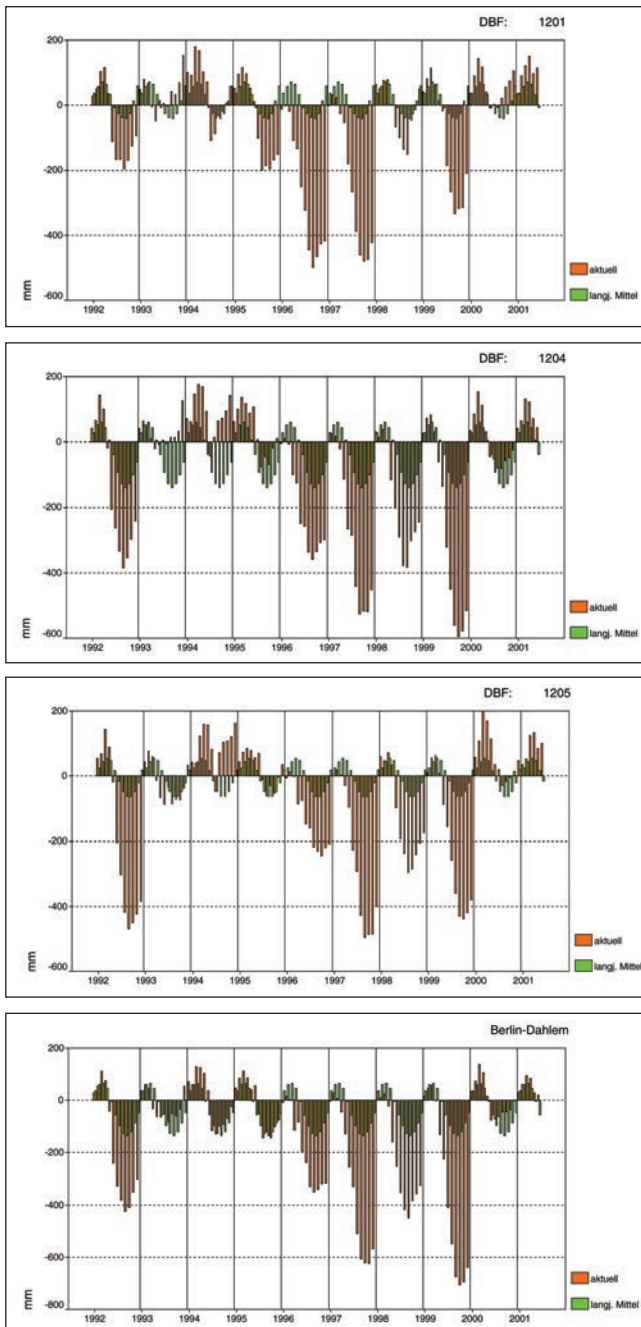


Abb. 61: Kumulative monatliche klimatische Wasserbilanz der Jahre 1992 bis Juni 2001 (rote Balken) im Vergleich zur Bilanz im langjährigen Mittel (grüne Balken) für
 a) Level II Fläche 1201
 b) Level II Fläche 1204
 c) Level II Fläche 1205
 d) Berlin-Dahlem

Die räumliche Heterogenität der Niederschlagsverteilung kommt im Bilanzparameter, der zusätzlich die Differenzen in Lufttemperatur und Luftfeuchte berücksichtigt, noch stärker zum Ausdruck.

Die roten Balken zeigen die jährliche kumulative Monatsbilanz für die Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung (Gras), die grünen Balken den auf Basis langjähriger Monatsmittelwerte der Klimaelemente berechneten jährlichen kumulativen Verlauf der klimatischen Wasserbilanz am jeweiligen Standort.

Während an den Standorten Nattheide (1201) und Beerenbusch (1202) im Norden Brandenburgs die Jahre 1996 und 1997 mit gegenüber dem langjährigen Mittel deutlich negativen Bilanzen auffallen, sind die Trockenjahre 1992 und 1999

weniger stark ausgeprägt als im Süden Brandenburgs und in Berlin.

An den Level II-Flächen Brandenburgs sowie in Berlin war nach dem Trockenjahr 1992 im Zeitraum 1993 bis 1995 nicht mit größeren Trockenstressbelastungen zu rechnen. In den Folgejahren gab es aber an den Flächen in Mittel- und Südbrandenburg, besonders ausgeprägt in Berlin, ununterbrochen erhebliche negative Abweichungen in der klimatischen Wasserbilanz, die erst in den Jahren 2000 und 2001 (bis Juni) durch überwiegend positive Abweichungen abgebaut wurden.

Die klimatische Wasserbilanz kann die Wasserhaushaltsmodellierung nicht ersetzen. Sie berücksichtigt weder die unterschiedlichen Bodeneigenschaften noch die Eigenschaften der Waldbestände. Gegenüber der getrennten Betrachtung der Klimaelemente Niederschlag und Temperatur hat sie jedoch den Vorteil der integrierenden Wertung der atmosphärischen Bedingungen für den Wasserhaushalt am jeweiligen Messort. Der Vergleich der Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz mit den tatsächlich im Level II Programm gemessenen Bodenfeuchten (Beispiel Fläche 1204, Abb. 62) entspricht in der Grundtendenz der Erwartung. Übereinstimmend wirkt sich die besonders ausgeprägte negative Abweichung der klimatischen Wasserbilanz in den Jahren 1997 und 1999 in einer höheren Ausschöpfung des Bodenwasservorrates in der Vegetationsperiode gegenüber den Jahren 1998 und 2000 mit weniger negativer Bilanz aus. Durch die bis zum Beginn der Vegetationsperiode 2000 nicht vollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers tritt aber im Jahr 2000 trotz positiver Abweichung der klimatischen Wasserbilanz eine anhaltende Ausschöpfung der Bodenwasservorräte auf, die bis 2001 nachwirkt. Damit wird deutlich, dass bereits in der Wasserversorgung eine zeitliche Verzögerung der Wirkungen auf den Vitalitätszustand auftre-

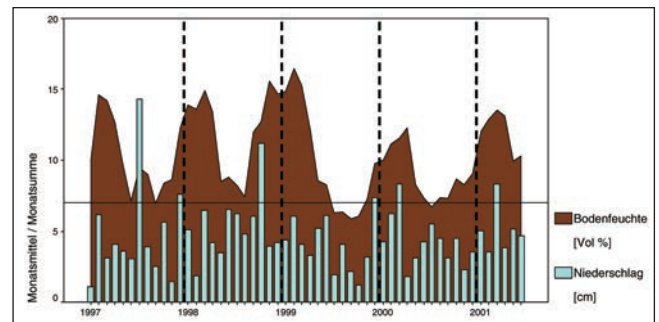


Abb. 62: Monatssummen der Niederschläge (in cm) und mittlere Bodenfeuchte im Oberboden im Zeitraum 1997 – Juni 2001 Level II Fläche Weitzgrund (1204)



Klimastation im Waldbestand einer Level II-Fläche

ten kann. Die zeitliche Entkopplung einer Trockenstresswirkung auf den Kronenzustand in Reaktion auf die im Trockenjahr eingeschränkte Photosyntheseleistung wird durch die erst im Folgejahr sichtbar verminderte Kronendichte verstärkt.

5.2 Biotische Schaderreger und Waldbrandgeschehen 2000/2001

In den Kiefernforsten des Landes Brandenburg kommt es immer wieder zu Massenvermehrungen biotischer Schaderreger wie der Raupen der Schmetterlingsarten Forleule (*Panolis flammea*), Kiefernspanner (*Bupalus piniarius*), Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), Nonne (*Lymantria monacha*) und somit zu intensiven Fraßschäden. In den vergangenen 10 Jahren wurden deshalb jährlich durchschnittlich 10.000 ha Wald zum Schutz der Bestände mit Pflanzenschutzmitteln behandelt, wo ein flächenhaftes Absterben ganzer Waldbestände befürchtet wurde. Besonders die sehr zeitig fressenden Kiefernspinner- und Forleuleraupen führen durch die Vernichtung der Triebe und Knospen bei Kahlfraß zum vorzeitigen Absterben der betroffenen Kiefern. Eine zusätzliche Belastung der Bestände ist durch die mit dem Insektenfraß einhergehende Stresswirkung auf die Bäume gegeben, die nachfolgend die Anfälligkeit für Borkenkäfer und Pilze erhöht.

Phytophage Insekten und Schäden an Nadelbäumen

Durch systematische Kontrollen im Winter 2000/01 wurden in Süd- und Südostbrandenburg auf ca. 10.000 ha Kiefernwald erneut sehr hohe Puppenzahlen der **Forleule** nachgewiesen. Der so genannte kritische Wert, ab dem mit Bestandesverlusten zu rechnen ist, wurde dabei teilweise um das Fünffache überschritten.

Im Ergebnis umfangreicher Überwachungsmaßnahmen von März bis Mai 2001 wie Falterflugkontrollen, Eisuchen und Raupenzählungen zeigte sich, dass die prognostizierte Populationsdichtentwicklung der Forleule nicht eintrat. Die Ursachen dieser Entwicklung sind mit hoher Wahrscheinlichkeit in den Witterungsbedingungen des Frühjahrs und zunehmender Entwicklung natürlicher Gegenspieler zu suchen. Es war zu kalt, überwiegend zu nass und unterdurchschnittlich sonnig. Für das kommende Jahr kann mit dem Ende der Forleulen-Vermehrung gerechnet werden. Fraßschäden wurden im Frühjahr 2001 auf einer Fläche von 650 ha auffällig. Die Berliner Kiefernwälder waren nicht wirtschaftlich spürbar durch Fraßschäden betroffen.

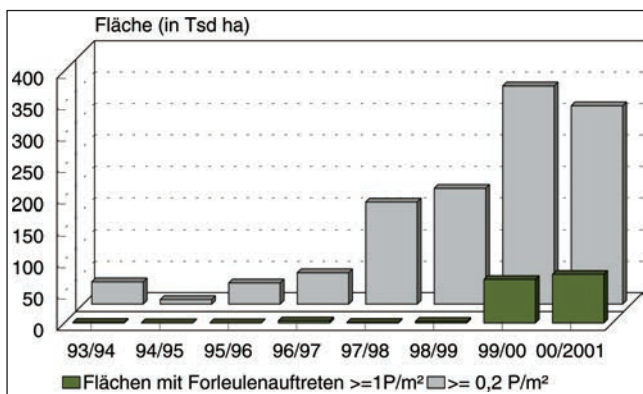


Abb. 63: – Auftreten der Forleule in Brandenburg – Befallsflächenentwicklung mit erhöhten und kritischen Puppendichten (> 0,2 P/m² bzw. > 1,0 P/m²)

Ein deutlicher Anstieg ist im Vergleich zum Vorjahr beim Auftreten der **Nonne** zu verzeichnen. Schon 2000 waren lokale Nonnenfraßherde gemeldet worden (628 ha merklicher und 250 ha starker Fraß), die vor allem im Raum Königs Wusterhausen den Benadelungsgrad negativ beeinflussten. Bei den im Frühjahr 2001 durchgeführten Probefällungen im Rahmen der Forleulenüberwachung wurden erneut teilweise auffällige Anteile an Nonnenraupen in den Kronen beobachtet. Es wurden zum Schutz der Bestände in der zweiten Juniwoche ca. 1.200 ha mit dem Pflanzenschutzmittel Dimilin behandelt. Außerhalb der behandelten Flächen wurden auf einer Fläche von insgesamt 2.295 ha (2000: 816 ha) durch Nonnenraupenfraß merkliche bis starke Nadelmasseverluste toleriert.

Ebenso widerspiegelten die Ergebnisse der Falterflugkontrollen im Sommer 2000 in den Berliner Forsten nahezu für das gesamte Kieferngebiet, insbesondere für die Forstämter Buch und Lanke, einen Anstieg der Falterdichten der Nonne. Auffälliger Nadelfraß wurde bisher nicht beobachtet.



Abb. 64: Nonnenfalter

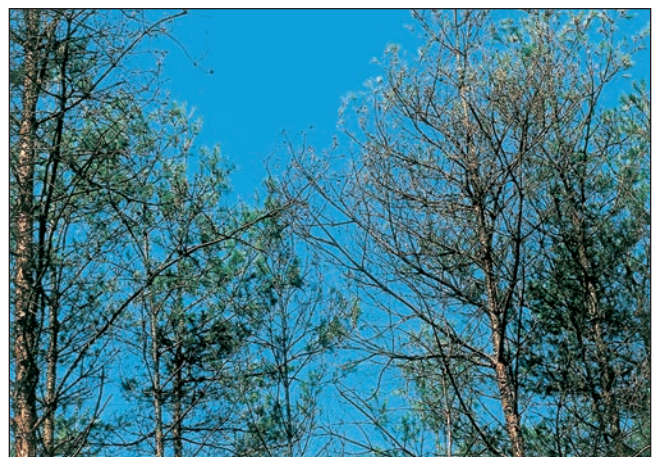


Abb. 65: Lichtfraß durch Nonnenraupen

Bei den **Blauen Kiefernprachtkäfern** (*Phaenops cyanea* und *formaneki*) stieg der Stehendbefall im Vergleich zum Schadholzvolumen des Vorjahres auf 124 % an. Im Frühjahr 2001 durchgeführte Kontrollen auf Junglarvenbefall wiesen jedoch sehr niedrige Befallsraten aus. In Verbindung mit dem feucht-kühlen Witterungsverlauf des Frühjahrs ist ein weiterer großräumiger Anstieg des Stehendbefalls nicht zu erwarten.

Beim **Buchdrucker** (*Ips typographus*) ist ein Rückgang des Schadholzvolumens und der Anzahl der betroffenen Teilflächen im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen.

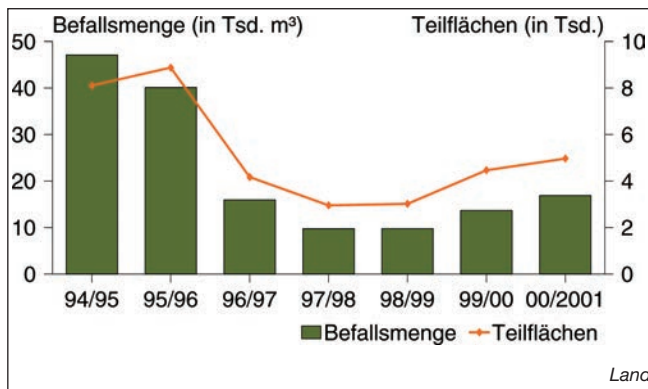


Abb. 66: Prachtkäfer – Stehendbefallsentwicklung

Im Jahr 2000 zeigt sich analog zu Brandenburg auch in den Berliner Forsten eine Zunahme des Schadholzaufkommens durch Prachtkäferbefall. Der Stehendbefall durch Buchdrucker ist im Vergleich zum Vorjahr angestiegen.

Phytophage Insekten an Laubbäumen

Fraßschäden der **Eichenwickler-Fraßgesellschaft** (*Tortrix viridana*, *Operophtera brumata*, *Erannis defoliaria*) traten 2001 nur in geringem Umfang mit Blattmasseverlusten unter 50 % in Erscheinung (Tab. 1). In den Berliner Forsten wurden keine auffälligen Schäden sichtbar oder nachgewiesen.

Tab. 1: Fraßschäden durch Eichenwickler und Frostspanner (Land Brandenburg)

Jahr	Fraßschäden (Fläche in ha)			
	Eichenwickler		Frostspanner	
	merklich ¹	stark ²	merklich ¹	stark ²
1996	3.330	1.383	2.020	494
1997	1.161	282	626	130
1998	385	53	94	0
1999	508	75	167	50
2000	315	0	94	0
2001	128	0	123	0

¹: 30–50 % Blattmasseverluste

²: über 50 % Blattmasseverluste

Pilzliche Schaderreger und Komplexkrankheiten

Die Befallsfläche der **Kiefernschütte** (*Erreger: Lophodermium seditiosum*) hat sich insgesamt weiter reduziert. Im Jahr 2001 wurde in Kulturen Befall auf einer Gesamtfläche von 157 ha ermittelt, was einer Verringerung der Schäden auf 27 % entspricht. In Dickungen zeigt sich eine ähnliche Tendenz: Mit einer gemeldeten Fläche von 395 ha reduzierte sich hier der Befall gegenüber dem Vorjahreswert auf 39 %. Für diese deutliche Abnahme gibt es offenbar mehrere Gründe. Zum einen wird die Infektion maßgeblich durch Witterungsfaktoren beeinflusst. Zum anderen ist die Anzahl der Kiefernpflanzungen im Land Brandenburg nach 1990 stetig zurückgegangen.

Im Vergleich zu den Vorjahren ist auch in den Berliner Forsten eine Beruhigung des Krankheitsgeschehens erkennbar (Befallsfläche 2000: 14,5 ha; 2001: 3 ha).

Das Land Brandenburg mit seinem hohen Kiefernanteil bietet dem Erreger des **Kiefernbaumschwammes** (*Phellinus pini*), der überwiegend an älteren Bäumen vorkommt, gün-

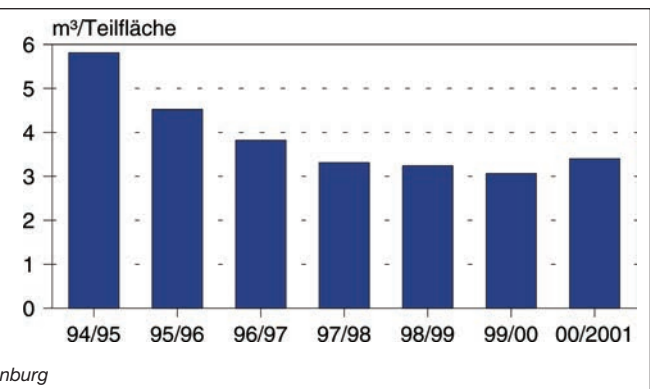


Abb. 67: Prachtkäfer – Entwicklung des Schadholzaufkommens in m³/Teilfläche

Tab. 2: Auftreten der Kiefernschütte in Brandenburg (1998 – 2001)

Kiefernschütte	Befallsfläche (ha)			
	1998	1999	2000	2001
in Kulturen	220	1.203	580	157
in Dickungen	515	1.998	1.022	395

stige Lebensbedingungen. Die Schäden erreichten 2000 in Brandenburg etwa das Vorjahresniveau (1999: 18.940 m³, 2000: 18.487 m³). In den Berliner Forsten blieb das Aufkommen an Schadholz, verursacht durch den Pilz *Phellinus pini* auch 2000 sehr hoch (1999: ca. 27.110 m³, 2000: 27.370 m³).

Schäden an Trieben wurden in diesem Jahr nur in geringem Umfang auffällig.

Die im Jahr 2000 für **Absterbeerscheinungen in Eichenbeständen („Eichensterben“)** gemeldete Schadholzmenge hat sich in Brandenburg mit 8.129 m³ im Vergleich zum Vorjahr weiter erhöht (1999: 6.948 m³). Im Berliner Bereich sind besonders Eichenbestände in den Forstämtern Tegel (70 m³) und Buch (15 m³) betroffen. Bereits im vergangenen Jahr war eine Intensivierung des Krankheitsgeschehens beim Eichensterben festgestellt worden. Vielerorts kam es zu einer vermehrten Ausbildung von Rindennekrosen mit Safffluss. Außerdem wurde eine Zunahme der Absterbeprozesse im Kronenbereich festgestellt. Die im letzten Jahrzehnt vermehrt aufgetretenen Temperaturabweichungen (Erwärmung) in Verbindung mit häufigeren Niederschlagsdefiziten können zu einer wiederholten Beeinträchtigung des Gesundheitszustandes der Eichen geführt haben.

Waldbrand

Den historischen und waldbaulichen Gegebenheiten im Land Brandenburg wird durch die Einstufung von 96 % der Waldfläche in die höchsten Waldbrandgefahrenklassen A und A1 Rechnung getragen. Das Waldbrandrisiko ist mit dem südeuropäischen Ländern vergleichbar. Negative Folge großer Waldbrände würde die Zerstörung des Waldökosystems sein, die das Massenaufreten bestimmter Organismen begünstigt. Waldbrände setzen in erheblichem Maße Schadstoffe frei, führen zu einem schnellen Humusabbau, Erosionen und zur Auswaschung von Nährstoffen in das Oberflächen- und Grundwasser.

Die Waldbrandbilanz 2000 weist für Brandenburg 425 Waldbrände (> 0,01 ha) mit einer Gesamtschadfläche von 186 ha aus. In den Berliner Forsten ereigneten sich 43 Brände mit



Abb. 68: Waldbrand im Kiefernwald

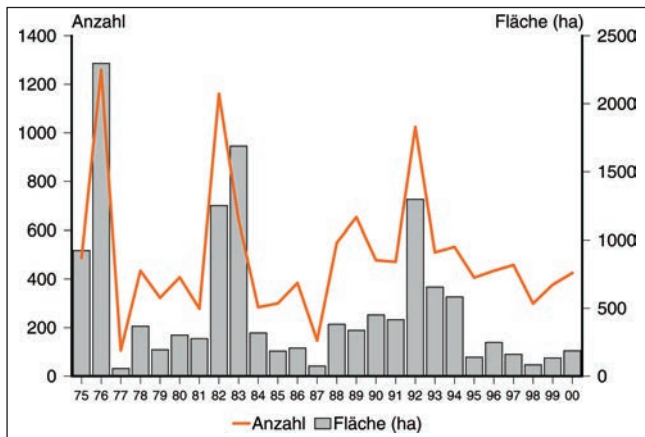


Abb. 69: Waldbrandbilanz 1975 – 2000 (Brandenburg)

einer betroffenen Fläche von 6 ha. Der zeitliche Schwerpunkt lag in den Monaten Mai/Juni.

Im Verlauf des Jahres 2001 wurden bis Ende Juli für Brandenburg 212 Brände mit einer Fläche von 32 ha und für Berlin 12 Brände mit einer Fläche von weniger als 1 ha gemeldet.

5.3 Analyse der stofflichen Belastung durch atmosphärische Einträge

Luftschadstoffe werden am Ort ihrer Freisetzung in die Atmosphäre als Emission quellenbezogen erfasst, werden mit der Luft transportiert und wirken entsprechend ihrer Konzentration in der Luft als Immission und werden schließlich auf den mit der Luft in Kontakt tretenden Oberflächen (z. B.: Boden, Pflanzen, menschliche Lungen) abgelagert.

Wälder wirken mit der großen Oberfläche ihrer Kronen im intensiven Kontakt mit der Umgebungsluft als ein effektiver Filter für Luftverunreinigungen. Da darüber hinaus in ihren Stoffhaushalt im Unterschied zu landwirtschaftlichen Nutzflächen in der Regel nicht durch Düngungen eingegriffen wird und sie auf die von der natürlichen Nährstoffausstattung armen Böden eingeschränkt wurden, sind sie gegenüber stofflichen Belastungen besonders empfindlich reagierende Ökosysteme.

Daher hat der Waldzustand international als Indikator für den Grad der Luftverschmutzung und die Ableitung von Zielen der Luftreinhaltung eine hohe Bedeutung.

5.3.1 Immissionssituation

Schwefeldioxid und Stickoxide

Durch die seit 1990 entscheidend reduzierten Emissionen von Schwefeldioxid (1989: 1314 kt, 1994: 640 kt, 1998: 95 kt, Schätzung 2000: 86 kt) und Stickstoffoxiden (s. Kap. 6.1) in Berlin und Brandenburg hat sich der seit Anfang der neunziger Jahre anhaltende Rückgang der SO₂- und NO_x-Immissionen in siedlungs- und industriefernen Regionen inzwischen auf sehr niedrigem Absolutniveau eingeegelt. In Nordbrandenburg und in Berlin-Grunewald wurden im Berichtsjahr Jahresmittelwerte bei SO₂ von 3–4 µg/m³ und bei NO_x von 10 bzw. 22 µg/m³ festgestellt. Insbesondere bei den Stickstoffoxid-Belastungen kann sogar noch ein anhaltender leichter Rückgang innerhalb der Berliner Forsten beobachtet werden (s. Abb. 70 und 71).

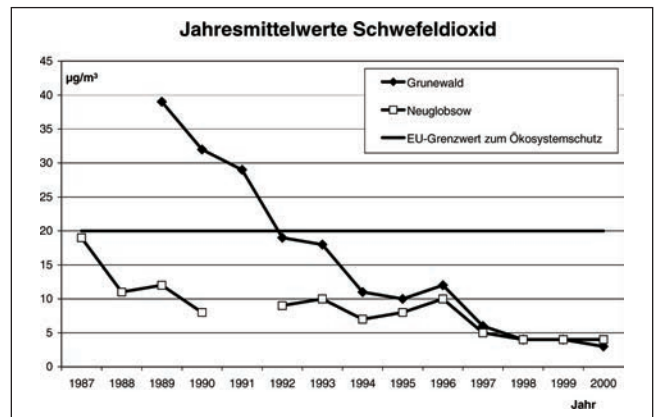


Abb. 70: Jahresmittelwerte Schwefeldioxid an den Stationen Grunewald und Neuglobsow

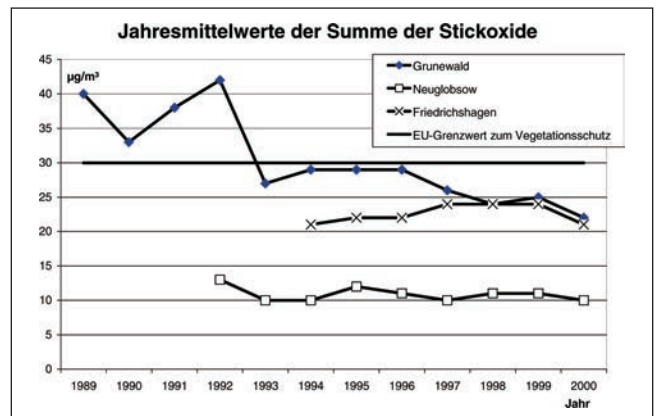


Abb. 71: Jahresmittelwerte der Summe der Stickoxide an den Stationen Grunewald, Friedrichshagen und Neuglobsow

Für beide Luftschadstoffkomponenten ist die klare Einhaltung der ökosystembezogenen Jahresmittelgrenzwerte aus der 1. Tochterrichtlinie der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität

(SO₂: 20 µg/m³, NO_x: 30 µg/m³) bereits seit Mitte der neunziger Jahre erkennbar. Sowohl für die BLUME-Messstelle Grunewald als auch für die Messstelle Neuglobsow des Umweltbundesamtes wurden noch nie niedrigere SO₂- und NO_x-Konzentrationsniveaus als im Jahr 2000 festgestellt. Es besteht im Unterschied zur stark verkehrsgeprägten NO_x-Immission seit 1997 praktisch kein SO₂-Belastungsunterschied mehr zwischen brandenburgischen Reinluftgebieten und dem walddreichen Berliner Stadtrand.

Allerdings ist der Beitrag des NO_x als ein Ausgangsstoff für die Säurebelastung des Waldes (s. Kap. 6.1) ebenso wie der des SO₂ weiterhin von großer Bedeutung.

Ozon

Die wesentlich von den meteorologischen Randbedingungen des Sommerhalbjahres (Temperatur, Strahlung, Luftmassentyp, Konzentration photochemisch aktiver Vorläufersubstanzen) abhängige Ozon-Belastung zeigte für 2001 anhand des so genannten AOT 40-Wertes zum Schutz der Wälder (Entwurf der O₃-Tochterrichtlinie zur EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität) einen generellen Rückgang im Vergleich zum klimatisch repräsentativeren Mittel über die letzten 5 Jahre (s. Abb. 72). Dies ist vor dem Hintergrund eines um über 1 Kelvin wärmeren Sommerhalbjahres und leicht überdurchschnittlicher Sonnenscheindauern im Vergleich zum Klimanormal (1961–1990) zu sehen.

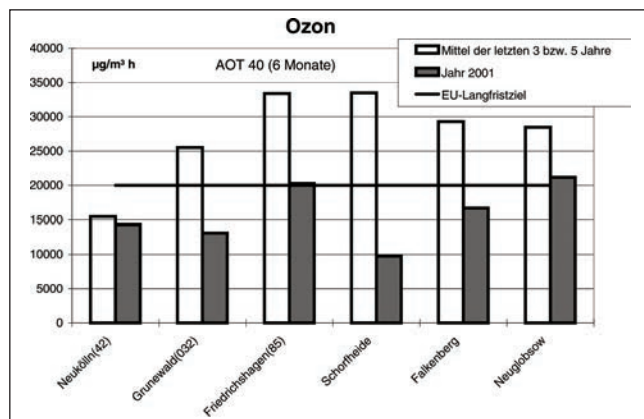


Abb. 72: Mittelwerte der AOT 40-Werte der Ozonimmission der letzten 3–5 Jahre sowie des Jahres 2001 an ausgewählten walddahnen Stationen in Berlin und Brandenburg

Der AOT 40-Wert („Accumulated exposure Over a Threshold of 40 ppb“) ist die Summe der 1h-O₃-Konzentrationen, die bei der Überschreitung der Abschneidelinie von 40 ppb (= 80 µg/m³), im Zeitraum April–September (08:00 bis 20:00), an einer Messstelle entsteht. Dieser AOT 40-Wert soll für Waldökosysteme den Critical-Level-Wert von 20.000 µg/m³h nicht überschreiten. Dies traf im Berichtsjahr für die Waldmessstationen Friedrichshagen in Berlin und Neuglobsow nicht zu. Auch im fünfjährigen Mittel über die Sommermonate 1997 bis 2001 ist diese EU-Forderung noch nicht erfüllt. Somit kann insgesamt nur von einer leichten Besserung, jedoch noch nicht von einer Entwarnung hinsichtlich der ozonbedingten Stresssituation des Waldes ausgegangen werden.

5.3.2 Entwicklung der Fremdstoffeinträge in Wälder

Die deutlichen Reduktionen der Schwefelemissionen haben sich auch im Eintragsgeschehen in die Wälder der Region ausgewirkt. Wurden im Zeitraum 1986–1989 an Freiflächen in Waldgebieten Brandenburgs noch Depositiosraten von 25–65 kg Schwefel pro Hektar und Jahr gemessen, pegelt

sich die niederschlagsgebundene Deposition seit 1997 bei etwa 5 kg/(ha·a) ein (Abb. 73). Das entspricht etwa 6 % der Eintragungsmengen der zweiten Hälfte der 80er-Jahre.

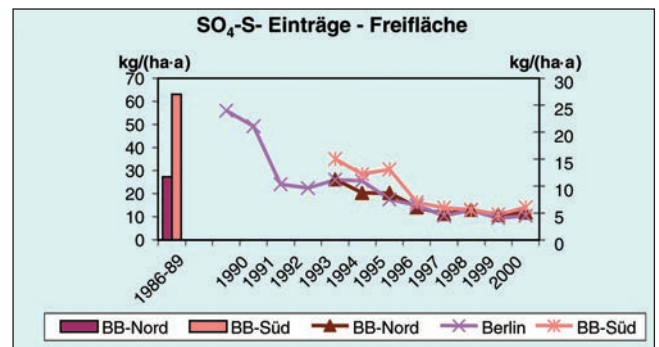


Abb. 73: Entwicklung der Sulfat-Einträge (als Schwefel) in Waldgebieten der Länder Berlin und Brandenburg (Balken = Mittelwerte 1986–89, Linien 1989–2000; Maßstab rechte Achse)

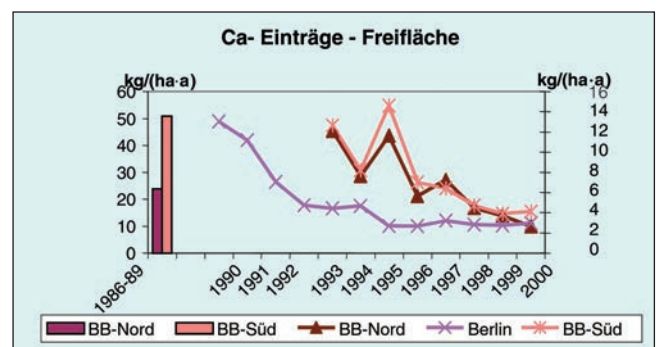


Abb. 74: Entwicklung der Ca-Einträge in Waldgebieten der Länder Berlin und Brandenburg

In ähnlicher Größenordnung wurden auch die Einträge von Kalzium (als Leitelement für basischen Staubeinträge) im Vergleich zur Periode 1986–89 reduziert. Gegenüber 25–50 kg Kalziumeintrag an Freiflächen bis 1990 wurden zunächst in Berlin und ab 1996 auch in Brandenburg auf 2–4 kg/(ha·a) reduzierte Einträge gemessen. Damit ist gleichzeitig mit der reduzierten Säurebelastung durch die Schwefeleinträge auch eine wesentliche Komponente der Pufferung durch basische Staubeinträge stark zurückgegangen (Abb. 74).

Der aus der Summe der Einträge von Ammonium, Mangan, Eisen, Aluminium und Protonen berechnete Säureeintrag lag in der Periode 1986–1989 an den Freiflächen in Brandenburg in der Größenordnung von 0,5 Kiloäquivalenten. Durch die schnellere und drastische Reduzierung der puffernden Staubeinträge war zu Beginn der 90er-Jahre zunächst ein Anstieg der Säurebelastung (in Berlin bis 0,8 kequ/(ha·a)) festzustellen, die mit fortschreitender Reduktion der Schwefel- und Stickstoffemissionen bis 1996 auf 0,3–0,4 kequ/(ha·a) abfiel. Seit 1996 ist wieder ein leicht ansteigender Trend der Säureeinträge zu erkennen. Trotz der Erhöhung des Säureeintrags in den Untersuchungsgebieten kam es zu keiner Verringerung der pH-Werte im Niederschlag (basische Reaktion von Ammonium).

Die an den Niederschlag gebundenen anorganischen Stickstoffdepositionen weisen im Unterschied zu den Schwefel- und Kalziumeinträgen keine so markante Entwicklung auf. Gegenüber 12–14 kg/(ha·a) in der Periode 1986–89 in emittentfernen Waldgebieten Brandenburgs werden nach einer erkennbaren Reduktion des Eintragsniveaus im Zeitraum bis 1996 auf ca. 8 kg/(ha·a) seitdem wieder leicht stei-

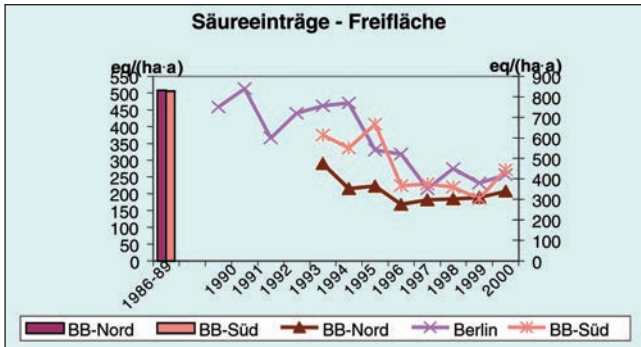


Abb. 75: Entwicklung der Säureeinträge in Waldgebieten der Länder Berlin und Brandenburg (Summe der Äquivalente von Ammonium, Eisen, Aluminium, Mangan und Protonen)

gende Stickstoff-Einträge gemessen. Der Rückgang der anorganischen Stickstoff-Belastung mit dem Niederschlag erreichte also nur etwa 60 % des Ausgangsniveaus bei Stagnation auf weiterhin hohem Niveau bzw. leicht steigendem Trend. Die Betrachtung der Nitrateinträge an Level II-Dauerbeobachtungsflächen im Zeitraum 1996–2000 deutet auf den Anstieg der oxidierten N-Verbindungen im Untersuchungszeitraum hin. Während in Berlin seit 1996 mit 6 kg/(ha-a) bis 2000 relativ einheitlich die Einträge um 6 kg Nitrat-N lagen, ist für die Standorte in Brandenburg von einem wesentlich geringeren Ausgangsniveau von ca. 3 kg/(ha-a) ein starker Anstieg der Einträge auf nahezu das gleiche Niveau wie in Berlin festzustellen. Als Ursache kommt die gestiegene Belastung durch Verkehrsemissionen in Betracht. Das Ammonium-Nitrat-Verhältnis war nach 1990 mit der Reduktion der Emissionen aus landwirtschaftlichen Quellen zunächst stark abgefallen, zeigt aber in den letzten

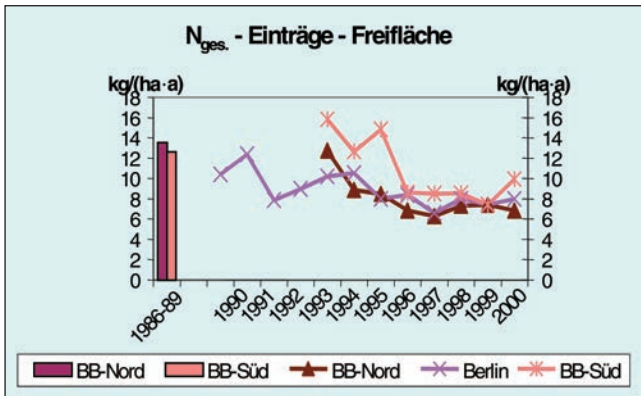


Abb. 76: Entwicklung der N-Einträge in Waldgebieten der Länder Berlin und Brandenburg (Summe aus NH₄- und NO₃-Stickstoff)

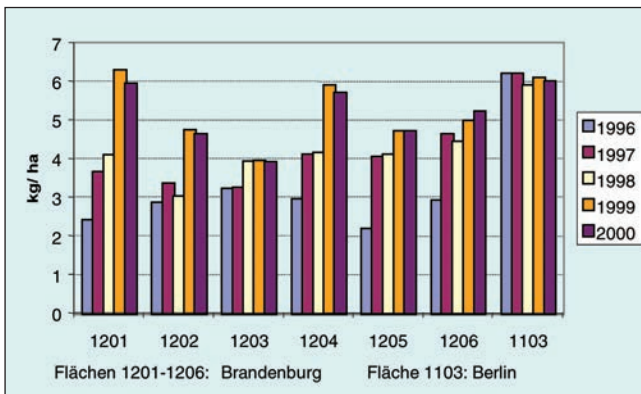


Abb. 77: NO₃-N Deposition an Level II-Flächen in Brandenburg und Berlin 1996–2000

Jahren vor allem in den Einträgen unter dem Bestandesdach wieder eine steigende Tendenz.

Deshalb kann bei Anerkennung der Entwicklung seit 1990 für die Stickstoff-Belastung aus der Entwicklung der letzten 5 Jahre keine positive Tendenz abgelesen werden.

Die Einträge der Schwermetalle blieben auch 2000 sehr gering und die Konzentrationen lagen teilweise unter der analytischen Nachweisgrenze.

Im Vergleich des Eintraggeschehens in den beiden Bundesländern zeigt es sich, dass sich die Frachten der untersuchten Elemente seit Beginn der Messungen immer mehr annähern.

5.3.3 Critical Load – ein komplexer Indikator für die ökologische Bewertung der Wirkungen von Luftschadstoffeinträgen

Unter dem Begriff Critical Loads sind naturwissenschaftlich begründete Belastungsgrenzen zu verstehen, die für die Wirkung von Luftschadstoffen auf unsere Umwelt ermittelt werden.

Die Einhaltung oder Unterschreitung solcher Belastungsgrenzwerte gibt nach heutigem Wissen Gewähr dafür, dass ein ausgewähltes Schutzgut, der ökologische Rezeptor, weder akut noch langfristig geschädigt wird. Die Schutzgüter oder Rezeptoren können ganze Ökosysteme sein, Teile davon oder Organismen, aber auch Baudenkmäler oder besondere Materialien sein.

Als Wert für die Critical Loads wird in quantitativer Abschätzung derjenige Schadstoffeintrag bestimmt, bei dessen Unterschreitung nach derzeitigem Kenntnisstand schädliche Effekte am betrachteten Schutzgut nicht zu erwarten sind. Das Critical-Load-Konzept beinhaltet als Grundgedanken einen langfristigen Stabilitätsansatz. Die Kritische Eintragsrate eines oder mehrerer Stoffe quantifiziert die Stoffmenge, bei der sich die Stoffeinträge und Stoffausträge langfristig in einem systemspezifischen Gleichgewicht (steady-state) befinden, ohne das System selbst zu ändern und ohne nachteilige Wirkungen in benachbarten Systemen auszulösen. Heute wird dafür auch der Begriff der **Nachhaltigkeit** verwendet.

In Deutschland wurde, wie in vielen anderen europäischen Ländern, zunächst für den Wald und andere naturnahe Ökosysteme der Critical-Load-Ansatz benutzt, um für den Eintrag versauernder Luftschadstoffe und für die eutrophierende Wirkung der Stickstoffeinträge aus der Luft die ökologischen Belastungsgrenzen zu bestimmen und zu kartieren. Dazu wird die Massenbilanzmethode genutzt, bei der die Quellen und Senken der betrachteten (Schad-)Stoffe gegeneinander aufgewogen werden. Versauernd wirkende Stoffeinträge dürfen danach z. B. höchstens der nachhaltigen Säureneutralisationskapazität des Systems entsprechen. Den anthropogenen Stickstoffdepositionen werden die stickstoffspeichernden bzw. -verbrauchenden Prozesse im Ökosystem gegenübergestellt. Zu diesen zählen die Nettofestlegung von Stickstoff in der Holzbiomasse, die Netto-

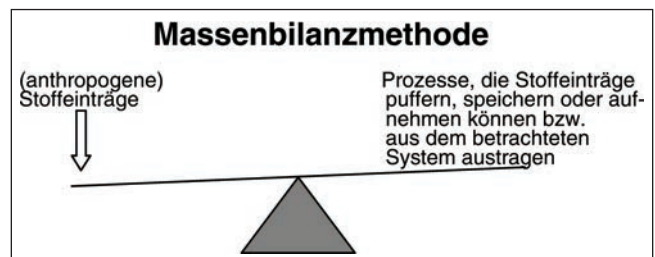


Abb. 78: Die Waage als Prinzip der Massenbilanz von Stoffeinträgen und Verarbeitungskapazität

immobilisierung in der Humusschicht, die Denitrifikation und ein zu tolerierender bzw. unvermeidbarer Nitrataustrag mit dem Sickerwasser.

Bei der Massenbilanzmethode wird – wie auf einer Waage – den Einträgen der betrachteten Stoffe auf der einen Seite die Aufnahme oder Festlegung dieser Stoffe sowie ein unschädlicher oder tolerierbarer Austrag auf der anderen Seite gegenübergestellt (Abb. 78).

Solange diese Waage ausgeglichen ist, werden die ökologischen Belastungsgrenzen – die Critical Loads – nicht überschritten. Jeder weitere Eintrag führt jedoch zu einer Schädigung des Rezeptors und zur Gefährdung der Stabilität des Systems.

Durch die Bestimmung und Kartierung von Wirkungsschwellen – Critical Loads – wird die Höhe der jeweils tolerierbaren, weil unschädlichen, Deposition ausgewiesen, die sich allein nach den Eigenschaften des betrachteten Ökosystems/Rezeptors richtet. Damit gilt beispielsweise für einen Fichtenwald ein anderer Wert als für einen Buchenwald auf dem gleichen Standort. Ein Ökosystem mit einem sandigen Boden ist empfindlicher als eines mit einem kalkreichen Lehmboden.

Die Bestimmung und Kartierung von Critical Loads für wichtige ökologische Rezeptoren in Deutschland stellt damit eine wesentliche Grundlage für die Anwendung des Vorsorgeprinzips im Umweltschutz dar.

Der Vergleich der aktuellen Stoffeinträge mit den system-spezifischen Critical Loads für diese Stoffe zeigt, wo und in welcher Größenordnung die kritischen Eintragsraten für das Rezeptorsystem überschritten sind und damit weitere Maßnahmen der Luftreinhaltung erfordern, um das bestehende Ökosystem auf Dauer zu erhalten. Die Einhaltung ökologischer Belastungsgrenzen wird damit Kriterium und Ziel der Maßnahmen im Umweltschutz.

Die Karten der Critical-Load-Überschreitung zeigen im regionalen Maßstab das langfristige Risikopotenzial für Wälder und andere naturnahe Ökosysteme, das sich aus den gegenwärtigen Schadstoffeinträgen in ihrer räumlichen Auflösung ergibt.

Ergebnisse der Critical Loads-Kartierung im „Engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin“

Im Auftrag des Landes Berlin wurde für den „Engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin“, wie er im „Gemeinsa-

men Landesentwicklungsprogramm“ definiert wurde eine Kartierung der Critical Loads für Säurebelastungen und für eutrophierenden Stickstoff für die bestehende Waldstruktur und waldfreie natürliche und halbnatürliche Ökosysteme durchgeführt.

Die Größe des Untersuchungsgebietes beträgt 323 Tsd. ha.

Critical Loads für Säureeinträge im Engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin (Trend 1987 bis 1998)

Die Höhe der Critical-Loads-Überschreitungen zeigt von 1987 bis 1998 eine deutlich sinkende Tendenz. Dennoch sind auch 1998 noch alle Waldgebiete und fast alle naturnahen und halbnatürlichen waldfreien Ökosysteme durch Säureeinträge weit über dem Grenzwert belastet (Abb. 79).

Seit Ende der 80er-Jahre ist eine Trendwende bei den Grenzwertüberschreitungen erkennbar. Die extreme Überschreitung der Belastungsgrenzwerte nahm bereits Ende der 80er-Jahre auf den großen Heideflächen deutlich ab. Anfang der 90er-Jahre setzte sich diese Tendenz fort, auch die Laubwaldbestände der Barnimer und Teltower Grundmoränenflächen konnten erstmals in die nächstniedrigere Klasse eingeordnet werden. Die Jahre 1994/95 brachten entscheidende Fortschritte im Depositionsgeschehen für das gesamte östliche und nördliche Gebiet des engeren Verflechtungsraumes.

1995 wurde diese Entwicklung auch für die westlichen und südlichen Gebiete dieses Raumes festgestellt. Unverändert extrem belastet blieb der Südosten des engeren Verflechtungsraumes, wo eine 5-fache Überschreitung des Belastbarkeitsgrenzwertes festzustellen ist.

1996 gab es einen weiteren Rückgang der Depositionen, so dass auch im Südosten dieses Raumes eine Minderung der Critical-Loads-Überschreitungen zu verzeichnen war. Nach 1996 konnte allerdings kein Trend zur Entlastung mehr festgestellt werden. Die räumliche Verteilung der Überschreitungen im engeren Verflechtungsraum für das Jahr 1998 zeigt die Abbildung 80.

Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge im Engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin

In der Zeit von 1987 bis 1995 spiegeln sich die Erfolge bei der Reduzierung der Stickstoffemissionen in einer Verminderung der Critical-Loads-Überschreitungen für eutrophierenden Stickstoff wider, die sich jedoch seit 1995 nicht weiter fortsetzen (Abb. 81).

1987 waren mehr als 80 % der Waldgebiete im Engeren Verflechtungsraum mit Depositionen in Höhe von mehr als dem 2-fachen der Critical Loads belastet. Etwas weniger überbelastet waren große Teile des Grunewaldes und des Köpenicker Waldes sowie auch der Teltower Hochfläche.

Die Wende bewirkte in Berlin und Brandenburg auch eine deutliche Verminderung der Stickstoff-Einträge bis 1993. Nur noch wenige Flächen sind in die höchste Überschreitungskategorie einzuordnen. So lag die Entlastung gegenüber 1989 auf ca. 90 % der Rezeptorflächen bei 4–8 kg N/(ha·a). Lediglich im Nordwesten Berlins und in dem angrenzenden Brandenburger Raum gibt es

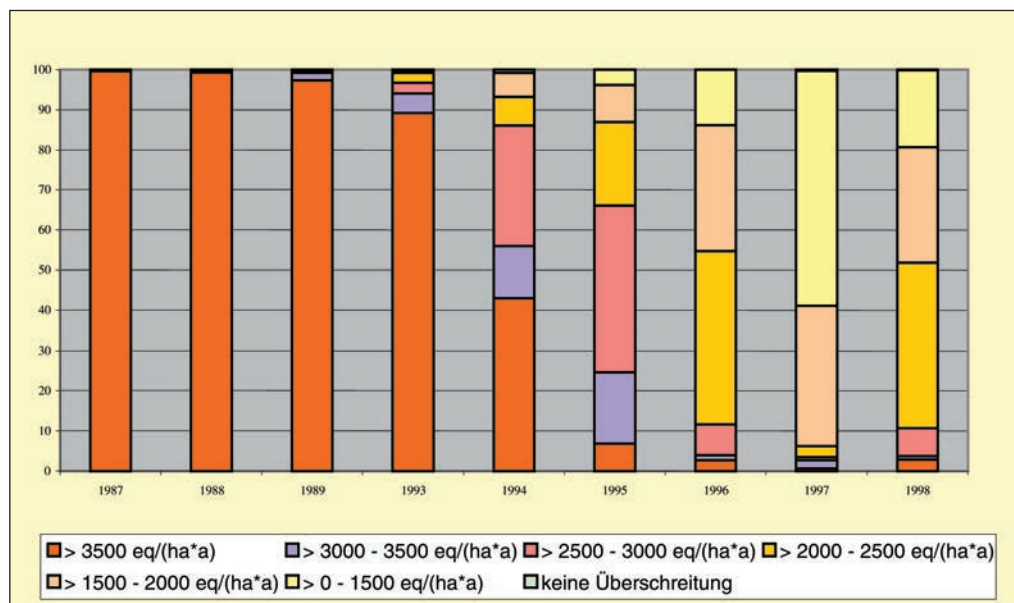


Abb. 79: Überschreitung der Critical Loads für versauernde Einträge im Zeitraum 1987 bis 1998, ausgedrückt als Flächenanteile (%) nach Überschreitungsklassen im engeren Verflechtungsraum

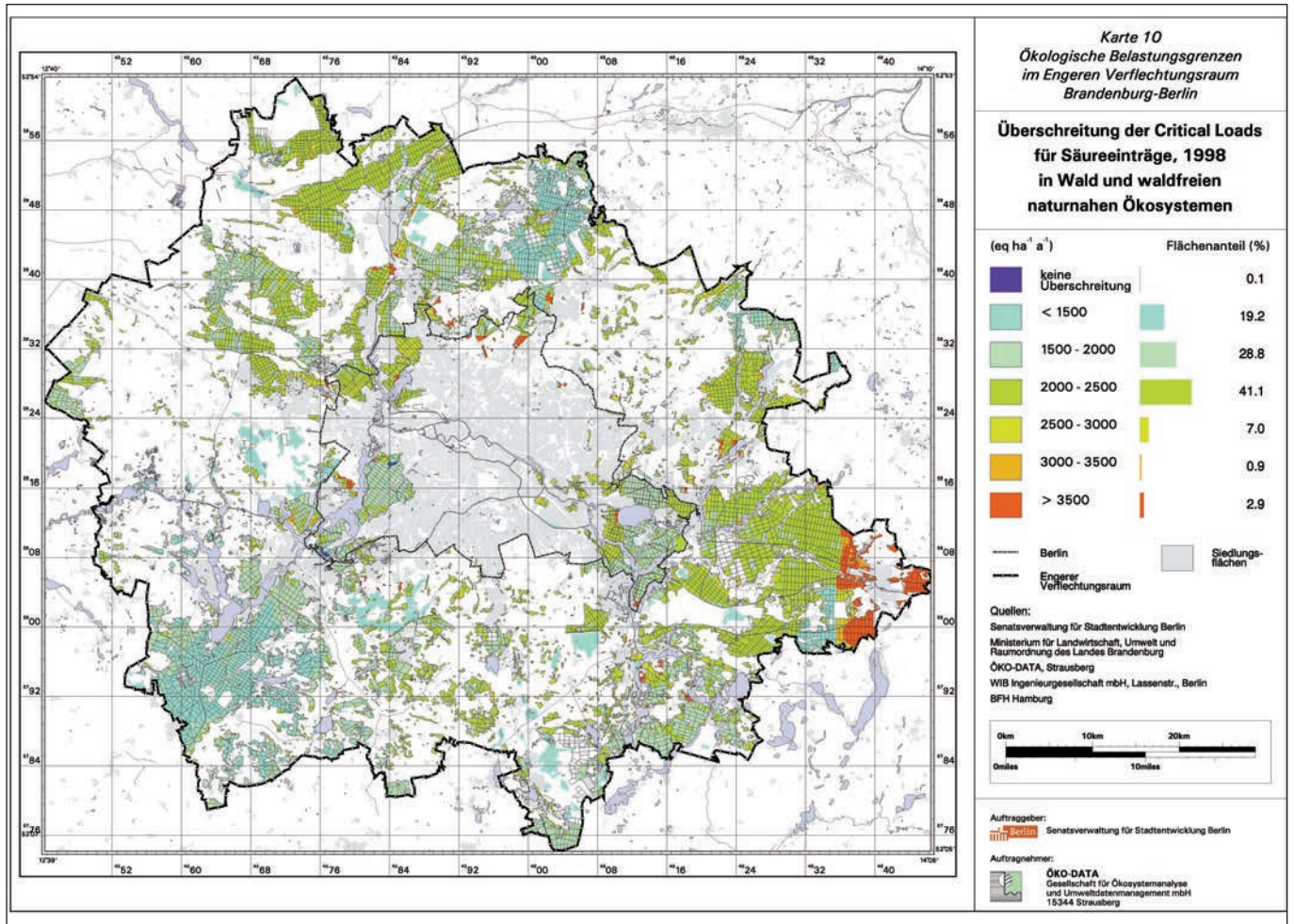


Abb. 80: Überschreitung der Critical Loads für Säureeinträge im engeren Verflechtungsraum im Jahr 1998

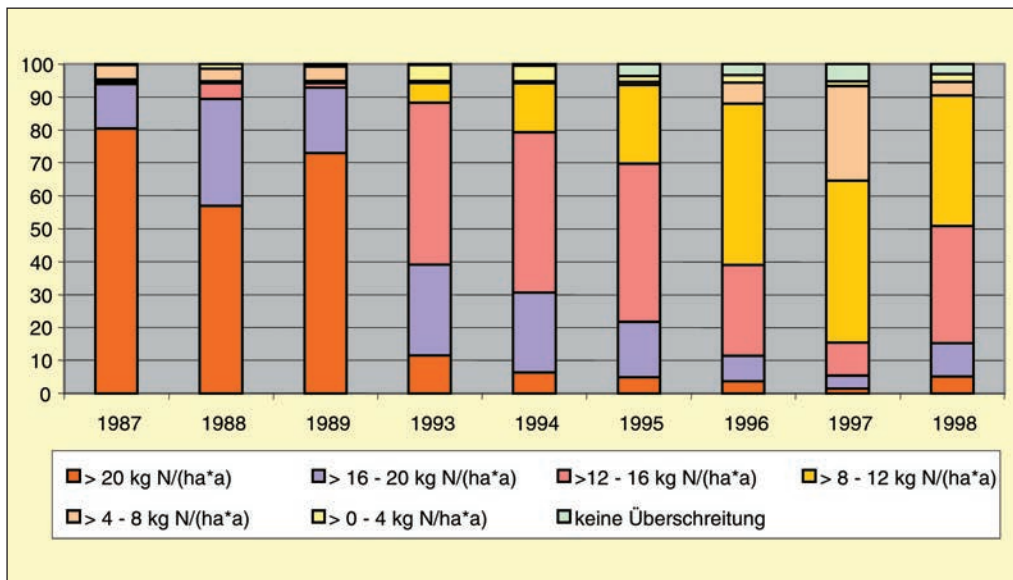


Abb. 81: Überschreitung der Critical Loads für eutrophierende Einträge im Zeitraum 1987 bis 1998, ausgedrückt als Flächenanteile (%) nach Überschreitungsklassen im Engeren Verflechtungsraum

noch Flächen in der höchsten Überschreitungsklasse. Diese Schwerpunkte konnten jedoch 1994 abgebaut werden, so dass nur noch kleinflächige Teile dieser Wälder mit mehr als 20 kg N/(ha·a) überbelastet sind.

Bis 1996 ist noch einmal eine signifikante Reduzierung der Depositionen erkennbar. Insbesondere im Westteil des unter-

suchten Raumes, d. h. westlich einer Linie Oranienburg/Beelitz wurden die Depositionsraten um bis zu 4 kg N/(ha·a) abgebaut. Gleichzeitig nimmt die Belastung an stadtnahen Schwerpunkten im Lee der Hauptwindrichtung wieder zu. Nach 1996 bleibt dann die Belastungssituation relativ gleich, d. h. ein weiterer Trend zur Verbesserung der Umweltsituation bei der Stickstoffeutrophierung ist nicht mehr erkennbar. Die räumliche Verteilung der Überschreitungen im Engeren Verflechtungsraum für das Jahr 1998 zeigt die Abbildung 82.

Am Beispiel der Studie für den Engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin wird deutlich, dass für die derzeit

wirkungsintensivsten Luftschadstoffe eine territoriale Differenzierung von Kritischen Belastbarkeitsgrenzen unserer Waldgebiete und ihrer Überschreitungen vorliegt.

Insgesamt ist festzustellen, dass trotz erheblicher Depositionsminderungen fast die gesamte Waldfläche des engeren Verflechtungsraumes sowohl mit säurebildenden als auch

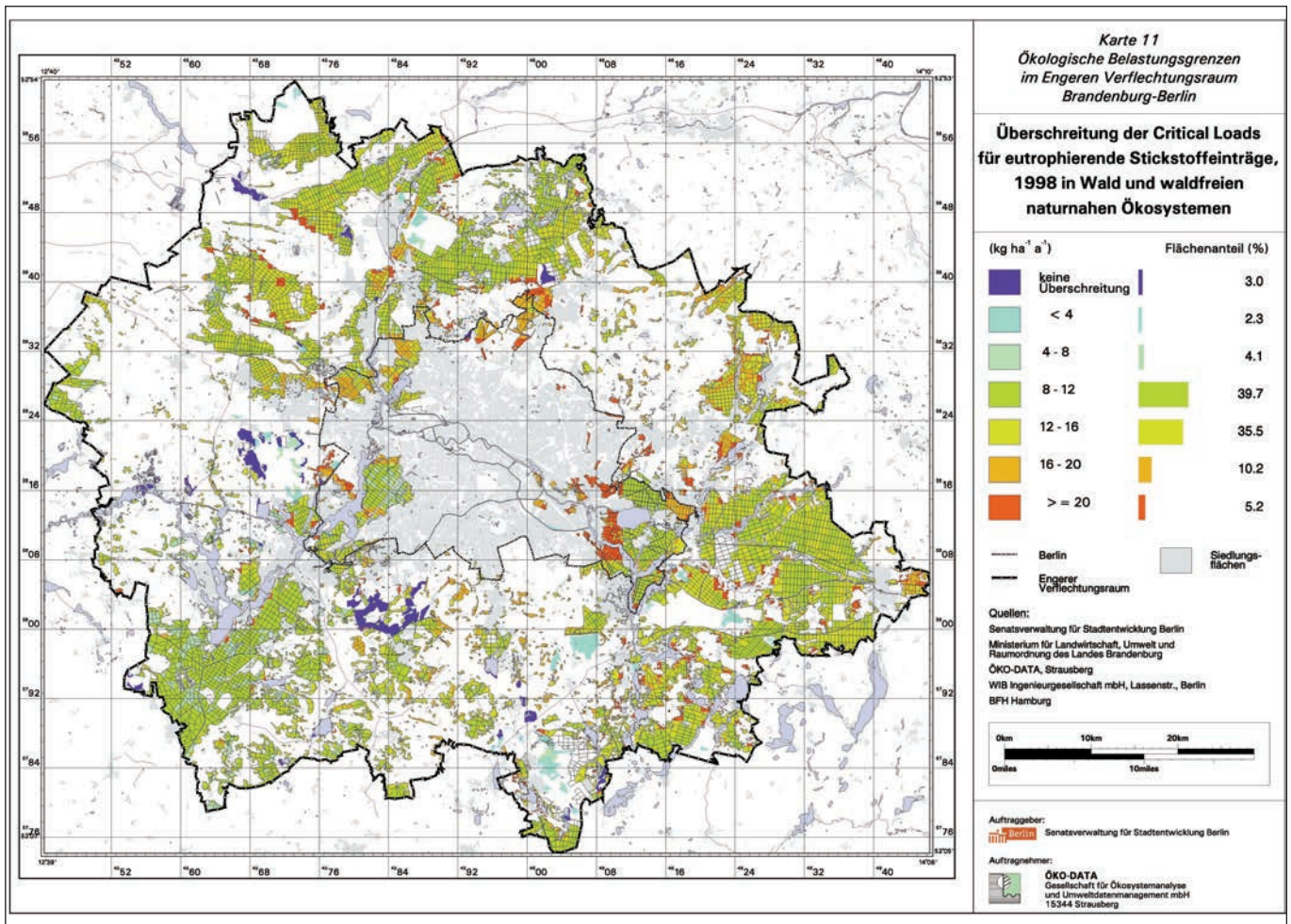


Abb. 82: Überschreitung der Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff im Engeren Verflechtungsraum im Jahr 1998

mit eutrophierenden Luftschadstoffeinträgen noch immer über den kritischen Grenzwerten belastet wird. Entscheidende Fortschritte zu einem positiven Trend wurden insbe-

sondere zu Anfang der 90er-Jahre gemacht. In den letzten 5 Jahren des Untersuchungszeitraumes hat sich diese Entwicklung nicht fortgesetzt.

6 Schwerpunktthema Stickstoff im Ökosystem Wald

Die Waldschadenserhebung wird als Teil der Umweltbeobachtung jährlich durchgeführt. Die Waldbäume reagieren mit ihrem Kronenzustand integrierend auf den Komplex der Umweltfaktoren des Waldökosystems. Mit dem aktuellen Bericht zum Waldzustand soll eine Folge von vertiefenden Schwerpunktthemen begonnen werden, die einzelne Aspekte dieses vielfältigen Faktorenkomplexes näher betrachten und so dem interessierten Leser neben der Darstellung der aktuellen Situation die längerfristig wirksamen ökologischen Probleme im Verhältnis Wald-Umwelt in der Region Berlin-Brandenburg erläutern.

6.1 Einschätzung der Immissionssituation

Stickstoffoxide (NO_x) entstehen nahezu ausschließlich bei Verbrennungsvorgängen in Anlagen und Motoren durch Oxidation des in Brennstoff und Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffs. Sie werden überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert und anschließend atmosphärisch zu Stickstoffdioxid (NO_2) oxidiert. Die in Tabelle 3 angeführten Mengenangaben sind als NO_2 berechnet.

Von 1990 bis 2000 ist ein Rückgang der NO_x -Emissionen um 116 kt (-52 %) zu verzeichnen. Dieser Rückgang erfolgte mengenmäßig am deutlichsten im Bereich der genehmigungsbedürftigen Anlagen (-68 %). Durch diese Minderung ist der Verkehrsbereich insgesamt mit einem Anteil von 45 % diesem Hauptverursacher der NO_x -Emissionen inzwischen nahezu ebenbürtig. Weitere Ursachen für den Emissionsrückgang sind der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe sowie die Folgen der wirtschaftlichen Umstrukturierung insbesondere in Brandenburg und im Ostteil Berlins.

Tab. 3: NO_x -Emissionen in Berlin und Brandenburg 1990 bis 1999/2000 (berechnet als NO_2)

	in kt				
	1990**	1994	1996	1998	2000*
Insgesamt NO_x	224	148	122	115	108
genehmigungsbedürftige Anlagen	164	80	56	54	52
Verkehr	54	61	58	53	49
Haushalte/Kleinverbraucher	6	7	8	8	7

* Schätzung

** Angaben Berlin für 1989

Ammoniak (NH_3) entsteht zum überwiegenden Teil durch Tierhaltung und Düngemittelverwendung in der Landwirtschaft. Industrielle Prozesse, die Ammoniakemissionen verursachen, sind die Herstellung von Ammoniak, die Produktion stickstoffhaltiger Düngemittel sowie die Herstellung kalzinierter Soda. Geringfügige Emissionen von Ammoniak entstehen durch Feuerungsprozesse (Ausnahme: Verbrennung von Hausmüll), die Anlagen zur Rauchgasentstickung sowie durch mit Katalysator ausgerüstete Kraftfahrzeuge.

Die insbesondere für den landwirtschaftlichen Bereich hohe Unsicherheit der NH_3 -Emissionsdaten für Brandenburg sowie die fehlende Aktualität von Angaben zu genehmigungsbedürftigen Anlagen gestatten derzeit keine belastbare Trendeinschätzungen.

Tab. 4: NH_3 -Emissionen in Brandenburg 1990 bis 2000

	in kt				
	1990	1994	1996	1998	2000
Insgesamt NH_3	18–23	25–30	30–35	k. A.	k. A.
Tierhaltung (Schätzung)	15–20	10–15	10–15	10–15	10–15
genehmigungsbedürftige Anlagen	3	15	20	k. A.	k. A.

k. A. = keine Angabe

Eine Schlüsselrolle zur Veränderung der Immissionssituation bei den Stickstoffoxiden nimmt die Entwicklung des Kfz-Verkehrs ein. Die festgestellte Emissionsabnahme spiegelt sich in der Entwicklung der Immissionsbelastung erst ansatzweise wider. In Potsdam und Cottbus ist aufgrund der dort bis Mitte der 90er-Jahre gestiegenen NO_x -Emissionen aus dem Verkehr keine wesentliche Konzentrationsabnahme und eine allmähliche Annäherung an das Niveau in vergleichbaren Räumen der alten Länder zu erkennen. In Berlin macht sich die stetige Abnahme der NO_x -Emissionen auch im langjährigen Immissionsverlauf bemerkbar. Wie der Verlauf der Jahresmittelwerte an der Messstelle Grunewald zeigt (Abb. 71), hat sich der deutliche Rückgang der NO_x -Konzentration Anfang der neunziger Jahre in der zweiten Hälfte des Jahrzehntes etwas verlangsamt. An der walddahnen Station Friedrichshagen, an der Messungen erst seit 1994 vorliegen, ist ein abnehmender Trend nicht auszumachen. Gleiches gilt für den Verlauf der NO_x -Werte an der Station Neuglobsow.

Stickstoffoxide (NO , NO_2) werden zwar überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert, NO tritt jedoch großräumig nicht in Erscheinung, da dieses Gas relativ schnell vom Luft-sauerstoff und insbesondere von Ozon zu Stickstoffdioxid oxidiert wird. Unter dem Einfluss von UV(B)-Strahlung wird das Stickstoffdioxid in den Sommermonaten zersetzt.

So findet man außerhalb der Ballungsräume in den ländlichen Gebieten Brandenburgs und in größeren Waldgebieten am Stadtrand von Berlin NO_2 -Jahresmittelwerte unterhalb $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. NO_x -Mittelwerte unter $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dem vegetationsbezogenen Jahresgrenzwert der EU-Richtlinie 99/30.

Allerdings ist das Konzentrationsniveau am Berliner Stadtrand etwa doppelt so hoch wie an dem abgelegenen, für ballungsraumferne Wälder repräsentativen Standort Neuglobsow (s. Abb. 71). Aus dem Unterschied der Luftkonzentration zwischen stadtnahen und weiter entfernten Messstellen kann auch auf einen Unterschied bei der Deposition nitrathaltiger Komponenten zwischen stadtnahen und stadtfernen Waldgebieten geschlossen werden. Wie sich auch durch die Depositionsmessungen bestätigen lässt (siehe Kap. 5.3.2), sind die ballungsraumnahen Ökosysteme einem höheren Stickstoffeintrag ausgesetzt, der vorwiegend aus Quellen der Großstadt und der Randgebiete stammt.

Hinsichtlich der NH_3 -Immission liegen nur sporadische Sondermessungen, zumeist sogar nur Ausbreitungsrechnungen im Zusammenhang mit Genehmigungsverfahren für Tierhaltungsanlagen vor. Allerdings sind damit für benachbarte Waldgebiete häufig unakzeptabel hohe N-Depositionen verbunden, die durchaus das Mehrfache der Critical-Loads-Werte erreichen können.

Mittelfristig ist mit einem weiterhin unveränderten NH_3 -Immissionsniveau im unmittelbaren Umfeld von Tierhaltungsanlagen zu rechnen, da moderne emissionsmindernde Stalnanlagen-Technologien nur sehr langsam greifen werden. Entsprechend bleibt der Anteil der Landwirtschaft (einschließlich Düngung, Güllelagerung und -ausbringung) an der großräumigen $\text{NH}_4\text{-N-Deposition}$ hoch, zumal mit einem fortgesetzten Rückgang der Kfz-bedingten NO_x -Emissionen zu rechnen ist.

6.2 Wirkung von Stickstoffeinträgen auf Waldböden und Folgen

Biomassenexport durch Übernutzung hat über Jahrhunderte hinweg die Stickstoffvorräte unserer schon von Natur aus nährstoffarmen Waldböden reduziert. So herrschte bis vor einigen Jahrzehnten an den meisten Waldstandorten ein Mangel an anorganischem Stickstoff. Stickstoff war der wesentliche wachstumsbegrenzende Standortsfaktor. Mineralische Stickstoffdünger wurden daher noch bis in die 70er Jahre aus ökonomischen Erwägungen mit Erfolg zur Wachstums- und Holzproduktionssteigerung eingesetzt.

Seit den 60er-Jahren hat sich die Situation durch zunehmende atmosphärische Stickstoffeinträge grundlegend verändert. In ganz Deutschland akkumuliert derzeit Stickstoff – regional in unterschiedlichem Ausmaß in den Waldökosystemen – und führt teilweise sogar zu einer Überversorgung an diesem ehemaligen Mangel элемент.

Allgemein wirken die atmosphärischen Stoffeinträge zum einen unmittelbar über den „Luftpfad“ auf die Vegetation; zum anderen haben sie über Veränderungen des ökosystemaren Stoffhaushalts indirekte Wirkungen auf die Pflanzen. Hierbei besitzt der Waldboden als Bindeglied zwischen belebten und unbelebten Ökosystemkomponenten eine zentrale Bedeutung. Der **direkte Wirkungspfad** spielt vor allem in Gebieten mit extrem hohen Belastungen eine Rolle. In den Brandenburger Wäldern sind die aktuellen atmosphärischen Stickstoffkonzentrationen zu gering um direkte Schäden zu verursachen; lediglich in der unmittelbaren Nähe einiger Massentierhaltungsanlagen treten Schädigungen in den Baumkronen durch die Ausgasung von Ammoniak auf.

Im allgemeinen ist jedoch davon auszugehen, dass der **indirekte Wirkungspfad**, d. h. das Auftreten von Störungen im

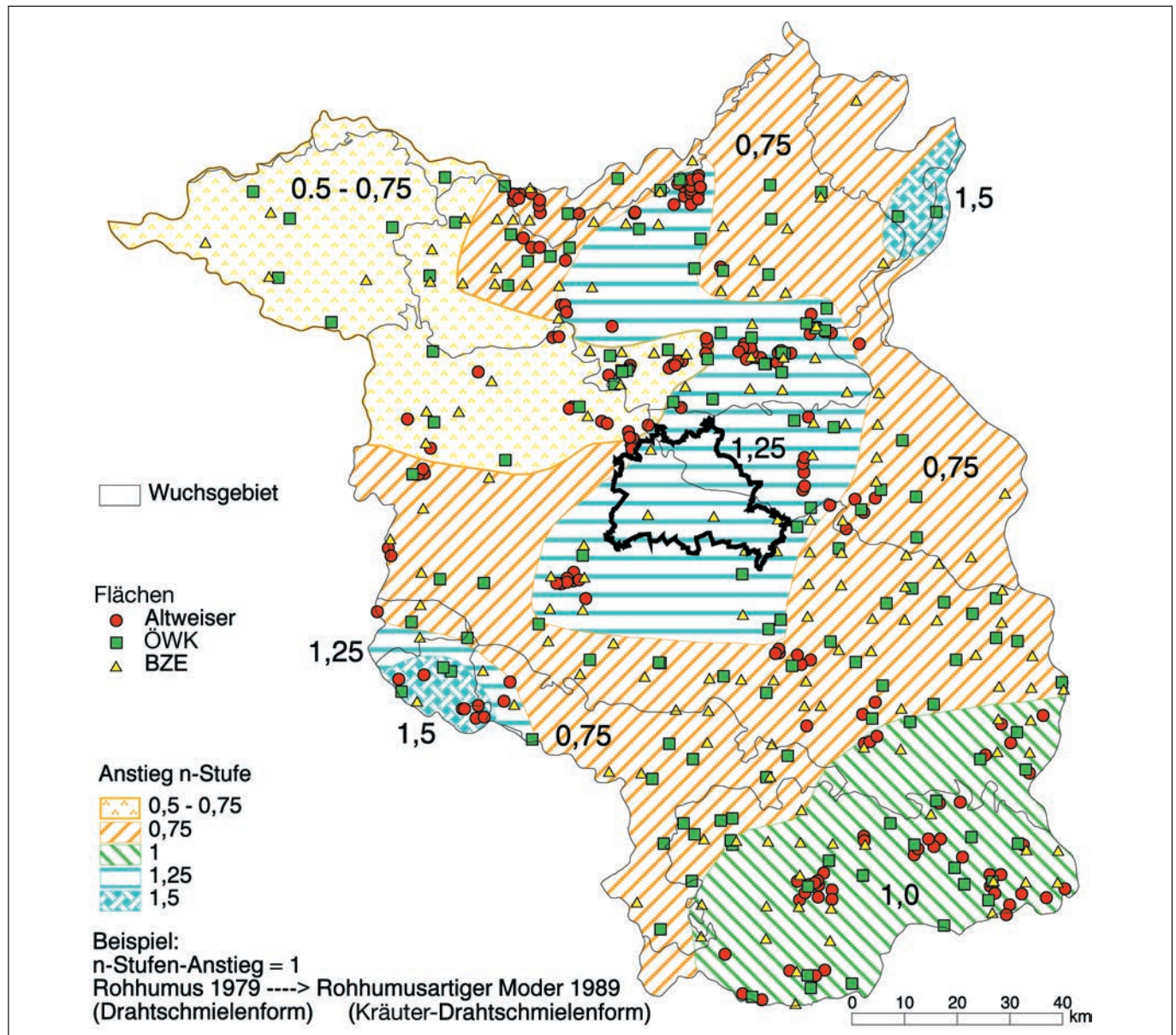


Abb. 83: Räumlich differenzierte Entwicklung der Stickstoffzustände in den Wäldern von Brandenburg und Berlin, dargestellt anhand der auf 10-Jahresraten (1979–1989) umgerechneten Veränderungen der Stickstoffstufen unter Kiefer.

Stoffhaushalt von Waldökosystemen infolge von langfristiger N-Anreicherung, den maßgeblicheren Belastungsfaktor für unsere Wälder darstellt.

Selbst bei vergleichbar hohen Stickstoffeinträgen werden jedoch sehr unterschiedliche Auswirkungen im Ökosystem beobachtet. Dies zeigt, dass die standörtlichen Randbedingungen, die Bestandesgeschichte sowie die derzeitige forstliche Bewirtschaftung für die Interpretation des Stoffhaushaltsgeschehens von Bedeutung sind. Jeder Waldstandort ist durch seine individuelle Nutzungsgeschichte geprägt. Atmosphärische Stickstoffeinträge treffen also auf Böden, die sich hinsichtlich ihrer Stoffhaushaltsprozesse stark unterscheiden; eine generelle Antwort auf die Frage nach den Auswirkungen von Stickstoffeinträgen in Böden kann es daher nicht geben.

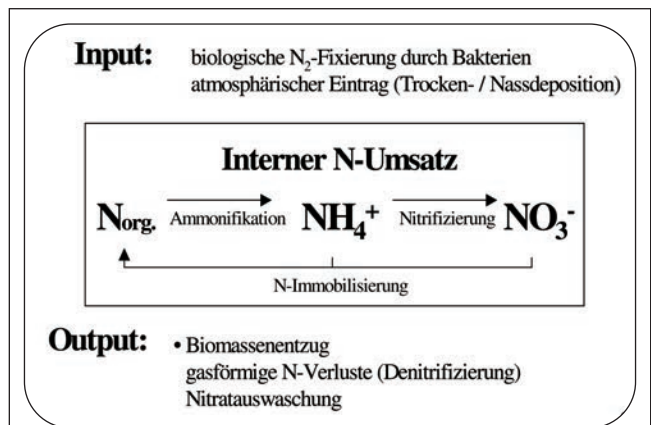
Aus dem Zeitvergleich des Stickstoffzustandes der häufigsten Böden und Waldbestände (mittlere bis ziemlich arme Standorte mit Kiefer) lässt sich bei vergleichbarem Ausgangsniveau die räumliche Verteilung der Stickstoffanreicherung zu kennzeichnen (Abb. 83). Die n-Stufen können in Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnisse der Humusaufgabe übersetzt werden.

Dabei wird von einem Oberbodenzustand mit Rohhumus (n-Stufe = 3) ausgegangen, was z. B. einem Kiefernwald mit Blaubeervegetation unter dem Kronendach entspricht, der noch nicht mit Stickstoff belastet ist. Ein Anstieg um eine ganze Ziffer zu n-Stufe 4 bedeutet den Übergang zu einer üppigeren Bodenflora, meist mit Drahtschmiele und auch beginnender Himbeerbeimischung. Beim Anstieg um zwei Ziffern würde dann die Wahrscheinlichkeit einer für die Kiefer kritischen Situation mit einer Bodenvegetation aus Sandrohr schon sehr hoch sein (n-Stufe 5). Da die Darstellung sich aber nur auf die Veränderung in einer Dekade bezieht, ist gemessen an der Lebensdauer eines Baumbestandes bereits eine Veränderung um 0,5 Einheiten in einer Dekade ein hoher Wert. Die real auftretenden Stickstoffgehalte der humosen Oberböden werden in 7 ökologisch differenzierte Stufen gegliedert.

Die Wirkungen des eingetragenen Stickstoffs im Boden hängt stark von seiner chemischen Form ab, d. h. davon ob der Stickstoff als Anion (NO_x^-) oder Kation (NH_4^+) eingetragen wird. In diesem Zusammenhang sind – wie in Abschn. 6.1 dargelegt – die Quellen der Stickstoffimmissionen von entscheidender Bedeutung: Stickoxide (NO_x) entstehen bei Verbrennungsvorgängen (Verkehr, Haushalte, Industrie). Ammonium (NH_4^+) resultiert hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Quellen (Intensivlandwirtschaft, Massentierhaltungen, Gülle).

Die im Zuge der Waldschadensforschung entwickelte sogenannte Stickstoffhypothese geht davon aus, dass die angestiegenen Stickstoffeinträge wesentlich an den Erscheinungen der „neuartigen Waldschäden“ beteiligt sind. Die schädlichen Faktoren werden hierbei erstens in negativen Effekten durch einseitige **N-Überdüngung** und zweitens in den Folgen einer durch Stickstoffeintrag forcierten **Bodenversauerung** gesehen.

Wenn Stickstoff nicht mehr der limitierende Faktor ist, treten andere Standortsfaktoren in einen relativen Mangel, falls der Standort mit ihnen schlecht ausgestattet ist. So hat das durch Stickstoffeintrag angeregte Wachstum zur Folge, dass auch andere essentielle Nährstoffe (v. a. Mg, K, Ca) sowie Wasser in größeren Mengen aufgenommen werden müssen.



Der ökosystemare **Stickstoffhaushalt** wird in obigem Schema stark vereinfacht skizziert. Stickstoff liegt im Boden zum größten Teil organisch gebunden vor und ist in dieser Form nicht pflanzenverfügbar. Die mikrobielle Zersetzung der stickstoffhaltigen organischen Bodensubstanz (Mineralisierung) erfolgt in mehreren biochemischen Teilprozessen. Bei der Ammonifikation entsteht Ammonium (NH_4^+), welches bei der nachfolgenden Nitrifikation durch Bodenmikroorganismen in Nitrat (NO_3^-) umgewandelt wird. Als Nitrat- oder Ammonium-Ion kann der Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen werden. Aus diesen bodeninternen N-Umsatzprozessen resultiert unter natürlichen Verhältnissen die maßgebliche Nachlieferung pflanzenverfügbarer Stickstoffverbindungen.

Durch Stickstoffverluste können Wälder an Stickstoff verarmen. **Stickstoffaustrag** (Output) erfolgt durch Biomassenentzug, gasförmiges Entweichen von Spurengasen (N_2O , NO_x) in die Atmosphäre oder durch Auswaschung von vornehmlich Nitrat mit dem Sickerwasserstrom. Über den Anteil der Stickstoffausgasungen aus den Waldböden an der ökosystemaren Stickstoffbilanz liegen nur unscharfe Daten vor, da die beteiligten mikrobiellen Prozesse sehr witterungsabhängig sind und kurzzeitig stark variieren.

Unter naturnahen Verhältnissen erfolgt der **Input** von Stickstoff in den Wald im wesentlichen über die Niederschläge sowie teilweise über symbiotische Stickstofffixierung, bei der Mikroorganismen molekularen Luftstickstoff (N_2) binden und in Form von Ammonium dem ökosysteminternen Stoffkreislauf zuführen. Der gesamte natürliche atmosphärische Eintrag liegt mit $< 1 \text{ kg N}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ (UNECE 1991) weit unter den heutigen Eintragsraten, die sich im Nordostdeutschen Tiefland in der Größenordnung von $15\text{--}25 \text{ kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ belaufen (vgl. Abschn. 6.1). Die heutigen anthropogen bedingten N-Einträge führen zu einer allmählichen Aufsättigung der potenziellen, standortsabhängigen Speicherkapazität für Stickstoff.

Dieser höhere Nährstoff- und Wasserbedarf kann speziell auf den sorptionsschwachen Brandenburger Sandböden nicht immer gedeckt werden, so dass mit zunehmender stickstoffbedingter Wachstumssteigerung **Elementdisharmonien** (z. B. erhöhte NH_4^+/K^- - und $\text{NH}_4^+/\text{Mg}^{2+}$ -Verhältnisse), **Nährstoff- und Wassermangelsituationen** häufiger werden. Am Beispiel von Kiefernbeständen in den Berliner Forsten konnten statistische Zusammenhänge aufgezeigt werden, die belegen, dass die N-bedingt erhöhte Wachstumsleistung zu stärkerem Wasserbedarf führt und Kronenverlichtungen unter diesen Bedingungen als Indikator für Wassermangelstress zu interpretieren sind.

Zur **Bodenversauerung** durch Stickstoffeintrag kommt es, zum einen wenn die Pflanzen Ammonium (NH_4^+) aufnehmen, weil bei der Aufnahme von NH_4^+ jeweils ein Proton (H^+) von den Pflanzenwurzeln in die Bodenlösung abgegeben wird; zum anderen, wenn Nitrat (NO_3^-) ausgewaschen wird und dabei Basen als Begleitkationen mit weggeführt werden. Viele Baumarten bevorzugen bei der Stickstoffaufnahme Ammonium gegenüber Nitrat, was die Versauerungstendenz noch unterstützt. Durch sehr hohe Ammoniumeinträge kann es außerdem am Bodenaustauscher zu einer Verdrängung von Nährstoffkationen (Ca, Mg, K) kommen. Diese in die Bodenlösung freigesetzten Nährelemente können der Auswaschung unterliegen. Wird allerdings Nitrat an Stelle von Ammonium von der Vegetation aufgenommen, so wirkt dies der Versauerung entgegen. Welche Prozesse jeweils dominieren hängt von den standörtlichen Rahmenbedingungen ab, die wiederum stark von der Bestandesgeschichte geprägt sind. Im Zusammenhang mit der Stickstoffhypothese tritt häufig der Begriff der Stickstoffsättigung auf. Allerdings gibt es keine einheitliche Definition und auch keine sicheren Indikatoren dafür, wann ein Ökosystem als stickstoffgesättigt zu bezeichnen ist. Hinweise auf Stickstoffsättigung bestehen, wenn die eingetragenen Stickstoffmengen und die Netto-N-Mineralisation weder in Mehrzuwachs umgesetzt noch im Humus gespeichert werden können und verstärkt N-Auswaschung stattfindet.

Zu Stickstoffverlagerung mit dem Sickerwasser kommt es aber auch unter natürlichen Bedingungen kurzzeitig immer wieder durch interne Umsetzungsprozesse, beispielsweise

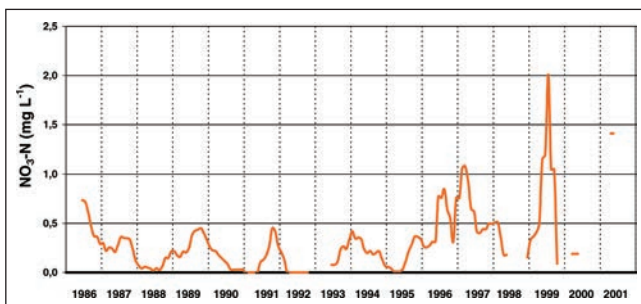


Abb. 84: Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen (mg L^{-1}) in der Bodenlösung aus 200 cm Tiefe aus dem Kiefern-Eichen-Mischbestand von 1986 bis 2001 (gleitender Mittelwert aus 5 Monaten)

bei Wiederbefeuchtung des Bodens nach einer längeren Trockenphase. In diesem Fall findet keine weitere Stickstoffanreicherung im System mehr statt. Vereinfacht geht man häufig von stickstoffgesättigten Systemen aus, wenn die jährlichen Stickstoffraten im Sickerwasser unterhalb des Wurzelraumes nahezu den Eintragsraten entsprechen oder diese übertreffen.

Ein solcher Effekt deutet sich für die seit 1986 untersuchte Dauerbeobachtungsfläche im Berliner Grunewald an. Die Nitrat-Konzentrationen in der Bodenlösung nehmen seit Mitte der 90-Jahre zu (Abb. 84). Da die Sandböden nur über ein ge-

ringes Rückhaltevermögen für das mobile Anion Nitrat verfügen und gleichzeitig N-Mengen in einer Größenordnung von ca. 15–20 kg über den Luftpfad eingetragen werden, wird am Beispiel dieses Kiefern-Eichen-Mischbestandes eine Abnahme der N-Festlegung im System diagnostiziert. Dabei bleiben die Austräge noch deutlich unter den N-Einträgen.

Auch bei den Brandenburger Level II-Untersuchungsflächen sind die jährlichen Austräge weit geringer als die Einträge, was ein Hinweis dafür ist, dass sich viele Waldökosysteme aufgrund der genannten historisch bedingten N-Verarmung offensichtlich noch in der Phase der Stickstoffakkumulation befinden. Andererseits muss diese Beobachtung auch im Zusammenhang mit den speziellen klimatisch-hydrologischen Verhältnisse in Brandenburg gesehen werden, die durch insgesamt sehr geringe Versickerungsraten gekennzeichnet sind. Die Tiefensickerung erfolgt zudem fast ausschließlich im zeitigen Frühjahr, wenn die N-Umsetzungsprozesse gerade erst beginnen und somit nur wenig Nitratstickstoff in der Bodenlösung vorhanden und verlagerbar ist. Deshalb kann in Brandenburg das Kriterium der N-Austräge zur Kennzeichnung des Sättigungszustandes nur bedingt angewendet werden. Vor diesem Hintergrund zeigen Untersuchungen eine deutliche Zunahme der Ausgasungen von Stickstoffspurengasen aus Brandenburger Waldböden, die von sehr hohen atmosphärischen Stickstoffeinträgen betroffen sind. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die N-Speicherkapazität zumindest der historisch und aktuell stark N-belasteten Waldökosysteme trotz geringer Nitratauswaschung nahezu erschöpft ist. Darauf deuten auch Zuwachsuntersuchungen in Kiefernökosystemen hin, nach denen auf N-belasteten Standorten keine Mehrzuwächse zu verzeichnen sind und sich stattdessen dichte Gras- und Kleinstrauchdecken mit Drahtschmiele und Himbeere ausbreiten, welche für den Baumbestand einen zusätzlichen Konkurrenzfaktor bezüglich der Wasserversorgung darstellen.

Eine Übersättigung von Waldökosystemen mit Stickstoff würde sich in jedem Fall negativ auf angrenzende Systeme auswirken. So kann das ausgewaschene Nitrat zur Grundwasserbelastung beitragen; bei den ausgasenden Stickstoffverbindungen handelt es sich um potenzielle Treibhausgase.

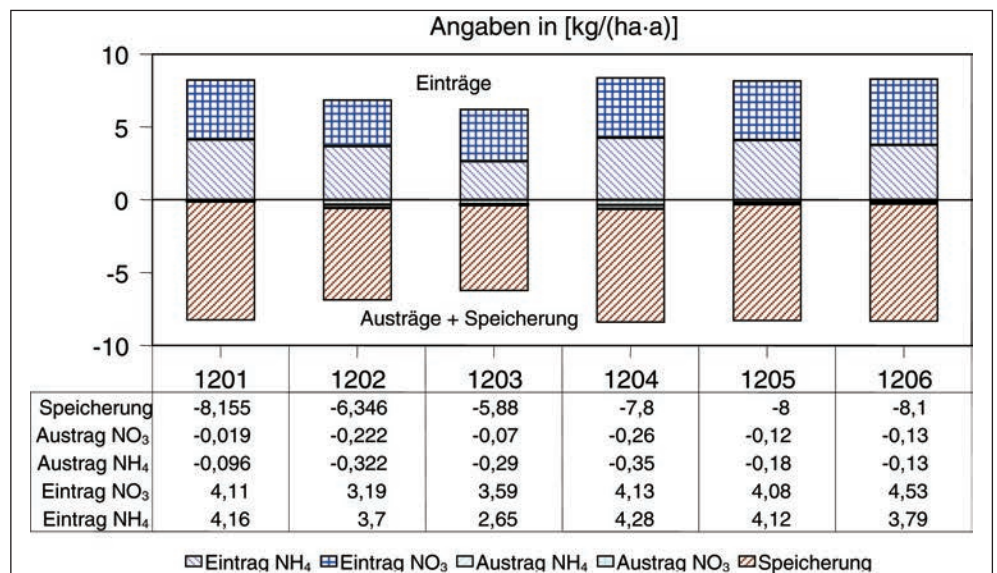


Abb. 85: Einträge, Austräge und Speicherung von Stickstoff an den 6 Level II-Standorten in Brandenburg (3-jährige Mittelwerte 1997–99)

6.3 Zur physiologischen Wirkung des Stickstoffs auf Pflanzen

Unter den Pflanzennährstoffen kommt dem Stickstoff eine bedeutende physiologische Stellung zu. Er ist wesentlicher Bestandteil lebenswichtiger Moleküle wie z. B. Proteine (Eiweiße), Aminosäuren, Nucleinsäuren (Bestandteil der Erbsubstanz), Alkaloide. Trotz des hohen Anteils von elementarem Stickstoff in der Atmosphäre waren pflanzennutzbare (reduzierte oder oxidierte) Stickstoffverbindungen über lange Zeiträume ein begrenzender Wachstumsfaktor. Im Laufe der Evolution haben daher vor allem Mikroorganismen und Pflanzen besonders effiziente und vielgestaltige biochemische Prozesse entwickelt, um die knappen Stickstoffressourcen erschließen zu können (z. B. Symbiose mit Knöllchenbakterien, carnivore Pflanzen).

Mit dem Beginn der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden immer häufiger Schäden an Pflanzen beobachtet, die auf die zunehmenden Stickstoffemissionen in Form von Stickoxiden aus Industrie und Verkehr und Ammonium aus der Landwirtschaft zurückgeführt wurden. Aus dem einstigen Mangelfaktor Stickstoff wurde zunehmend ein Stressfaktor, der einzelne Arten schädigt und die Biozönose in ihren Strukturen und Beziehungen auf allen Hierarchieebenen verändert.

Aus physiologische Experimenten ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt, dass die in der Natur normalerweise selten anzutreffenden hohen Konzentrationen an Ammoniumionen für Pflanzen toxisch sind, da die Lichtreaktion der Photosynthese gestört wird. Bei den direkten Wirkungen über den Luft-Blatt/Nadel-Pfad können besonders gasförmige Ammoniakemissionen zu akuten Schäden des Blattes führen, die nicht ohne Folgen für den gesamten Baum bleiben. Hierbei geht das Ammoniak nach der Passage der Stomata und der Atemhöhle im Cytoplasma der Mesophyllzellen in Lösung. Über die Kutikula kann so gut wie kein NH_3 aufgenommen werden. Der NH_3 -Einstrom wird folglich gesenkt, wenn sich die Spaltöffnungen nachts oder bei Trockenheit schließen.

Stickstoffbedingte Änderungen im Primärstoffwechsel

Ammonium wird unmittelbar am Ort der Aufnahme an Kohlenhydrate gebunden und zu Aminosäuren synthetisiert. Die Aminosäuresynthese dient damit gleichzeitig der Entgiftung des überschüssigen Stickstoffs. Im Ergebnis wird der Pool der löslichen Aminosäuren stetig aufgefüllt. So stieg z. B. der Gehalt an löslichen Aminosäuren in Kiefernadeln in unmittelbarer Nähe eines Emittenten um 130 % an. Unter diesen Bedingungen kann innerhalb des Pools der freien Aminosäuren der Gehalt an Arginin (Aminosäure mit besonders kleinem C/N-Verhältnis) bis zu 40 % des Gesamtgehaltes erreichen. Für die Herleitung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen besitzen diese Nadelinhaltsstoffe einen hohen diagnostischen und bioindikativen Wert.

Der effektive Ablauf dieser Assimilation ist vor allem an Kohlenhydrate und Energiereserven geknüpft. Sie sind somit photosyntheseabhängig und erfordern von den Pflanzen einen zusätzlichen Einsatz von Syntheseprodukten für die Entgiftung. Die Chlorophyllgehalte in den Nadeln hoch stickstoffbelasteter Kiefern liegen in dieser Phase der Anpassung weit über den Normalwerten. Trotz erhöhter Pigmentgehalte ist die potenzielle Photosyntheseaktivität vermindert.

Stickstoffbedingte Änderungen im Sekundärstoffwechsel

Die Entgiftungspotenziale eines Baumes werden wesentlich durch die Effizienz des Kohlenhydratstoffwechsels bestimmt. Alle zusätzlichen exogenen Faktoren, die die Photosyntheserate einschränken (z. B. Trockenstress, Dunkelheit),

vermindern folglich die Ammoniumtoleranz. In diesem Fall ist der pflanzliche Stoffwechsel gezwungen, z. B. Speicherstoffe abzubauen, um Kohlenstoffgerüste und Energie bereitzustellen.

Infolge des Stickstoffeintrags wird dabei die Wertigkeit der Stoffwechselwege zwischen Primär- und Sekundärstoffwechsel verschoben: z. B. weg von phenolischen Sekundärstoffen, hin zu Aminosäuren des Primärstoffwechsels. Besonders gut untersucht sind stickstoffbedingte Veränderungen im Phenolstoffwechsel. Innerhalb des Spektrums der phenolischen Inhaltsstoffe sind insbesondere die Gehalte an höher kondensierten Tanninen (Gerbstoffe), aber auch deren Vorstufen (z. B. Shikimi- und Chinasäure) deutlich vermindert. So erreichten z. B. Procyanidine (höher molekulare Phenole) stickstoffbelasteter Nadeln nur 53 % des Gehaltes unbelasteter Nadeln.

Stickstoffbedingte Folgeschäden

Eine über längere Zeiträume anhaltende Stickstoffüberversorgung kann zu syndromhaften komplexen Schädigungen des gesamten Baumes führen. Sind alle Möglichkeiten der NH_4^+ -Assimilation erschöpft, kommt es zur Akkumulation von freien NH_4^+ -Ionen, die u. a. als Elektronenakzeptoren fungieren können und so Elektronentransportprozesse während der Photosynthese in den Nadeln entkoppeln. Das Ergebnis ist eine Hemmung der wichtigen energieliefernden Phosphorylierungsprozesse in den Chloroplasten. Dauert diese Stressbelastung an, so sterben zunächst die Assimilationsorgane ab, was bei Kiefern an einer durchgängig dunkelbraunen Färbung der Nadeln zu erkennen ist.

Sind infolge erhöhter Stickstoffbelastungen die Kohlenhydratgehalte kompartimentübergreifend vermindert, so können für das Gesamtsystem „Baum“ u. a. Wachstumsreduktionen, eine verminderte Winterhärte und eine erhöhte Prädisposition gegenüber biogenen Schaderregern als Folgeschäden eintreten. In der Nähe von Massentierhaltungsstätten wurden bei Kiefern ebenfalls besenartige Wuchsanomalien in der Verzweigungsstruktur beobachtet, die wahrscheinlich auf Störungen des Phytohormonstoffwechsels zurückzuführen sind. Bogenlampenähnliche Wuchsformen im Stangenholzalter könnten die Folge von Veränderungen im Sekundärstoffwechsel (Lignin) sein.

Mehrere Untersuchungsgruppen haben eine enge Beziehung zwischen Stickstoffbelastung und Trockenstress beobachtet, die auf eine stickstoffbedingte Störung der Stomataregulation zurückgeführt wird. Infolge länger geöffneter Spaltöffnungen wird die Transpirationsrate erhöht, was in Perioden eingeschränkter Wasserversorgung zu verstärkten Trockenstressbelastungen führen kann.

Möglicherweise liegt hierin, gemeinsam mit einer verminderten Kohlenhydratversorgung, die Ursache für den erhöhten Verkernungsgrad von Kiefern in unmittelbarer Nähe von NH_3 -Emittenten. Computertomografische Untersuchungen an Stämmen von stehenden 77- bis 83-jährigen Kiefern erbrachten verminderte Spintflächenanteile und geringere Holzfeuchten mit abnehmender Entfernung zum Emittenten.

Zu den komplexen ökosystemaren Folgeschäden gehören gestörte Wechselbeziehungen zwischen Waldbäumen und biotischen Symbionten und Antagonisten. Neben Befunden über eine verminderte Mykorrhizierungsrate stickstoffübernährter Bäume, liegen detaillierte Kenntnisse über die Befallseignung stickstoffbelasteter Kiefern gegenüber Raupen des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini*) vor, die zeigen, dass der Entwicklungserfolg dieses Nadelfressers verbessert wird. Derartige Befunde lassen sich jedoch nicht ohne genaue Prüfung auf andere Insektenarten übertragen, da die

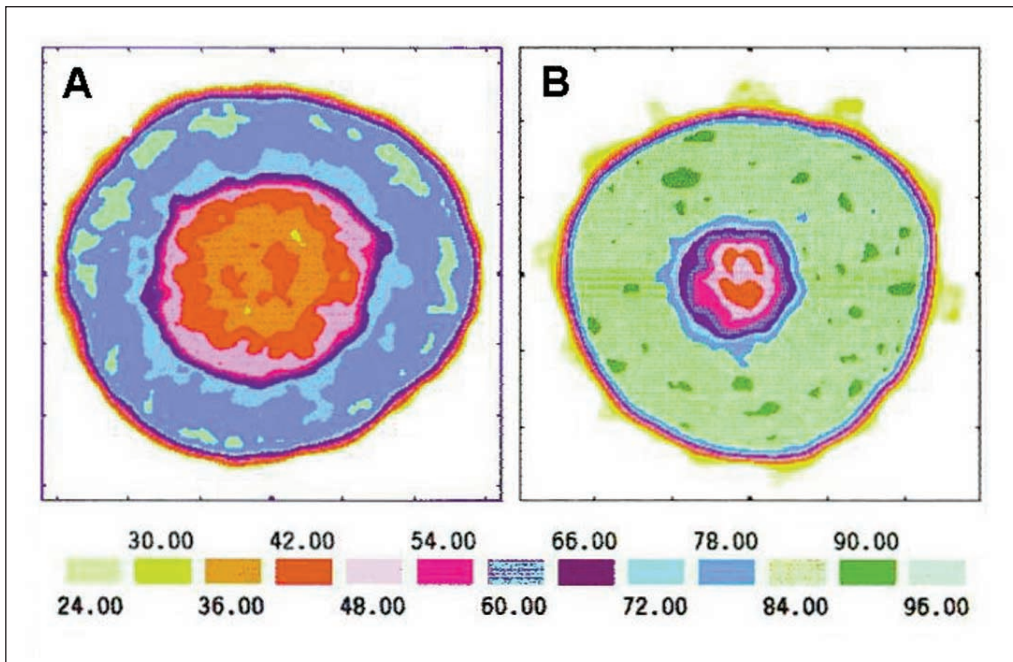


Abb. 86: Computertomogramme von Kiefernstämmen im Nahbereich (200–300m) (A) und in 3 km Entfernung zu einem NH_3 -Emittenten (B). Die Farbskala beschreibt die Stammfeuchte nach CT-Zahlen (30 = trocken, 96 = sehr feucht)

zen wie das Sandrohr (*Calamagrostis epigeios*) die Brombeere (*Rubus spec.*), die Spätblühende Traubekirsche (*Prunus serotina*) und teilweise sogar der ausgesprochenen Stickstoffzeiger Brennnessel (*Urtica dioica*) angesiedelt und die ökosystemtypischen Pflanzen verdrängt. Da dieser Prozess nur sehr langsam und schleichend fortschreitet aber schon mehrere Jahrzehnte andauert wurden im Nordostdeutschen Tiefland mittlerweile große Waldgebiete von dieser konkurrenzstarken Bodenvegetation besiedelt. Durch die Dominanz des Standortfaktors Stickstoff wurden standortsbedingte Unterschiede der Waldbodenvegetation vielerorts nivelliert.

Interaktion von einer Vielzahl von Parametern gesteuert wird.

6.4 Ökologische Wirkungen erhöhter Stickstoffeinträge

Neben den physiologischen Wirkungen auf die einzelne Pflanze, den einzelnen Baum vermögen Stickstoffeinträge ganze Waldökosysteme entscheidend zu verändern. Wenn die Einträge über einen längeren Zeitraum auf Waldökosysteme treffen, die auf nährstoffarmen Böden wachsen und eine den armen Standortverhältnissen angepasste Flora besitzen, ist der Vegetationswandel um so gravierender. Auf großen Gebieten des Nordostdeutschen Tieflandes treffen diese Bedingungen zu. Die Böden sind überwiegend pleistozänen Ursprungs, das bedeutet die Wälder wachsen zu meist auf Sanden die überwiegend nur eine geringe bis mittlere Ausstattung an Nährstoffen besitzen.

Im niederschlagsarmen Bereich des Nordostdeutschen Tieflandes würden hier vorwiegend artenarme Kiefern-Eichenmischwälder wachsen. Auch die Forstgesellschaften, die ursprüngliche Wälder abgelöst haben, weisen eine den armen Standorten angepasste Bodenflora auf. Auf den ärmsten Standorten würden als natürliche Bodenvegetation unter Kiefern lediglich Flechten und wenige Moose wachsen, auf den armen Standorten Grasschmiele (*Avenella flexuosa*) und auf den mittleren Standorten Beerkraut. Diese Bodenvegetation bietet jungen Pflanzen, die aus Samenfall und natürlicher Verjüngung hervorgegangen sind nur wenig Konkurrenzdruck. Kiefern, Eichen und Buchen würden gut keimen, Fußfassen und bei ausreichendem Lichteinfall durch das Kronendach zu einem neuen Wald heranwachsen.

Seit den 70er-Jahren wurden jedoch von der Forstwissenschaft verstärkt Änderungen in der Artzusammensetzung der Bodenvegetation in den Wäldern von Berlin und Brandenburg wahrgenommen, die in der Summe zu einem Wandel ganzer Waldökosysteme geführt haben. Durch die permanenten Fremdstoffeinträge, insbesondere des Hauptnährstoffes Stickstoff haben sich gebietsuntypische Pflan-



Abb. 87: Durch Stickstoff-Einträge gestörte Vegetationsentwicklung (Walddreitgras, spätblühende Traubekirsche, Brennnessel) in einem Kiefernstandort, die üppige Bodenvegetation konkurriert erfolgreich mit der Kiefer um Wasser und Nährstoffressourcen und behindert die Einwanderung von Begleitbaumarten

Die natürliche Reproduktionsfähigkeit der Wälder wird durch diesen Vegetationswandel erheblich erschwert, wenn nicht gar verhindert. Die flächendeckend wachsenden nitrophilen Störungszeiger wie Sandrohr und Spätblühende Traubenkirsche sind so konkurrenzstark, dass die natürliche Verjüngung der heimischen Baumarten kaum eine Chance hat zu keimen und aufzuwachsen. Aber auch die Begründung neuer Wälder durch Saat oder Pflanzung wird außerordentlich erschwert, wenn Sandrohr den Waldboden flächig bedeckt. Oftmals müssen die Grasdecken durch mechanische oder chemische Pflanzenschutzmaßnahmen unterdrückt werden um den jungen Bäumen ein Gedeihen zu ermöglichen.

Für eine naturnahe Waldwirtschaft, die natürlich ablaufende Entwicklungen in Waldökosystemen nutzt, sowie den Input von Fremdenergie in die Wälder nach Möglichkeit reduzieren will, ist die Ausbreitung der nitrophilen Störungszeiger eine der größten Schwierigkeiten. Eine ähnlich gravierende Schädigung der nordostdeutschen Waldökosysteme durch Ver- bzw. Behinderung der Naturverjüngung wird nur durch überhöhte Schalenwildbestände erreicht. Der durch Stickstoffeinträge verursachte Vegetationswandel in den Wäldern von Berlin und Brandenburg ist in seinen Auswirkungen ebenso kritisch zu sehen, wie die Schädigungen der Waldökosysteme durch die klassischen Luftschadstoffe (Rauchschäden durch Schwefeldioxid).

Waldbauliche Maßnahmen müssen grundsätzlich darauf abzielen, den aus der Atmosphäre eingetragenen und im Boden bereits gespeicherten Stickstoff im System zurückzuhalten und die Nitratauswaschung sowie die Freisetzung von Stickstoff in Form von Treibhausgasen so weit wie möglich zu reduzieren. Dies kann z. B. durch die Wahl stickstoffbedürftiger Baumarten und Umwandlung von Kiefernreinbeständen in Mischwälder erfolgen. Die Humusformen werden dann besser und in der organischen Bodensubstanz kann mehr Stickstoff fixiert werden.

Die Erhöhung der biologischen Aktivität in der Humusaufgabe stickstoffreicher Böden beispielsweise durch Freilegung des Waldbodens infolge kahlhiebsartiger Nutzung, Oberbodenbearbeitung oder auch standörtlich undifferenzierte Kalkungsmaßnahmen sollte vermieden werden, da dies zu verstärkter Nitratauswaschung und Humusschwund führen kann.

All die genannten Maßnahmen zur Lösung des Stickstoffproblems haben jedoch grundsätzlich nur aufschiebenden Charakter solange die N-Einträge deutlich größer sind als der N-Bedarf der Pflanzen.

6.5 Nationale und internationale Ziele für die zukünftige Minderung der Stickstoffemissionen

Die Auswertung der kritischen Belastungsgrenzen für Säureeinträge und eutrophierende Stickstoffeinträge in Kap. 5.3.3 ergab trotz einer signifikanten Reduktion der Überschreitungsniveaus immer noch weiträumig über den als tolerabel anzusehenden Grenzen liegende Stoffeinträge in die Waldökosysteme. Während sich der Beitrag zur Versauerung aus Schwefelverbindungen stark verminderte, war der Rückgang an versauerndem und eutrophierendem Stickstoff deutlich weniger ausgeprägt.

Um der unter anderem im 5. Umweltaktionsprogramm postulierten Zielsetzung näher zu kommen, dass Überschreitungen der kritischen Belastungsgrenzen langfristig vermieden werden müssen, sind überregionale und regionale Minderungen der Emission der relevanten Schadstoff-

fe – hier insbesondere Stickstoffoxide und Ammoniak – erforderlich.

Die Notwendigkeit zur Minderung der Schadstoffemissionen aus Gründen des Ökosystemschutzes ist ein auf internationaler Ebene seit langem behandeltes Thema. Schon vor mehr als 2 Jahrzehnten verdichteten sich die Hinweise darauf, dass nennenswerte Anteile an der Deposition saurer und eutrophierender Substanzen über weite Strecken transportiert werden können, oftmals über Ländergrenzen hinweg. Die Bemühungen international abgestimmte Ziele zur Emissionsminderung festzulegen, haben in letzter Zeit zu zwei wichtigen Ergebnissen geführt:

- dem Göteborger Protokoll zur „Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon“, das im Dezember 1999 im Rahmen der seit 1978 bestehenden UN-ECE Konvention zur großräumig grenzüberschreitenden Luftverschmutzung (CLRTAP) von allen EU-Staaten und von vielen Ländern Mittel- und Osteuropas unterzeichnet wurde.
- einem Vorschlag einer EU-Richtlinie „über Emissionshöchstgrenzen bestimmter Luftschadstoffe“ (NEC-Richtlinie), die erst im September 2001 vom Europäischen Parlament und vom Rat verabschiedet wurde und bald in Kraft treten wird.

In beiden Abkommen werden für 2010 für die ozonbildenden, versauernden und eutrophierenden Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und Ammoniak Emissionsminderungsziele in Form von Höchstgrenzen für die nationale Gesamtemission dieser Stoffe festgelegt. Die für jedes Land unterschiedlichen Emissionshöchstgrenzen wurden bestimmt, indem für jedes Land ein „optimales“ Paket von technischen Minderungsmaßnahmen geschnürt wird. Damit sollen vorher festgelegte Umwelt(zwischen)ziele überall erreicht werden und insgesamt möglichst wenig Kosten für zusätzlich notwendige, über die EU-weit oder national schon getroffenen, Maßnahmen entstehen.

Als ein Umweltziel¹ wurde bis 2010 überall in Europa eine mindestens 50 %-ige Reduktion der Überschreitung der kritischen Belastungen für den Säureeintrag bezogen auf 1990 vereinbart. Die dadurch erzielte Reduktion der NOx- und Ammoniakemissionen wird auch die Überschreitung der kritischen Belastungswerte für eutrophierenden Stickstoffeintrag bis 2010 um mindestens 30 % verringern. Leider konnten diese Ziele bei den Verhandlungen zum Göteborger Protokoll aufgrund des Einstimmigkeitsprinzips nicht für alle Staaten festgelegt werden. Allerdings fielen für manche Länder – so auch für Deutschland – die in der NEC-Richtlinie festgelegten Reduktionsziele im Vergleich zum Göteborger Protokoll etwas stringenter aus. Nicht zuletzt auf Druck des Europäischen Parlaments ist darin erstmals ein Zeitrahmen bis 2020 formuliert worden, in dem das Ziel der Vermeidung jedweder Überschreitungen kritischer Belastungsschwellen erreicht werden soll.

Weil der Ferntransportanteil der für Waldschäden relevanten Schadstoffe beträchtlich ist, hängt die zukünftige Entwicklung des Schadstoffeintrages in die Berliner und Brandenburger Wälder auch von den zu erwartenden Minderungen im übrigen Deutschland und in den angrenzenden, insbesondere östlichen Nachbarstaaten, ab. Abbildung 88 zeigt

¹ als weitere 2010 zu erreichende ökosystembezogenen Umweltziele wurden festgelegt: Reduktion der Ozonbelastung oberhalb des kritischen Wertes für die Vegetation (AOT40 von 6000 µg/m³ *h) bezogen auf 1990 um mindestens ein Drittel sowie eine maximale Überschreitung dieses Wertes von nicht mehr als 20000 µg/(m³.h).

für die einzelnen Länder, um wie viel Prozent das 1997 emittierte Stickstoffoxid und der Ammoniak bis 2010 noch gemindert werden muss, damit die in der NEC-Richtlinie (für die EU-Staaten) festgelegten bzw. im Göteborger Protokoll (für die drei benachbarten Beitrittsländer Polen, Tschechien und Slowakei) vereinbarten Obergrenzen nicht überschritten werden. Dass durchweg mehr NO_x als Ammoniak gemindert werden muss, hat seinen Grund in den zumeist strikteren Obergrenzen für NO_x . Die Tatsache, dass der Ammoniak-Ausstoß in Polen und Tschechien schon heute unterhalb der für 2010 gültigen Höchstgrenze liegt, ist jedoch einem starken Rückgang der dortigen Emissionen zwischen 1990 und 1997 geschuldet.

In Deutschland ist bis 2010 eine Verminderung der Emissionen von Stickstoffoxiden um mehr als 40 % gefordert. Nach neuesten Zahlen aus 1999 hat sich diese Zahl aufgrund weiterer Einsparungen auf 34 Prozent reduziert. Der Ausstoß an Ammoniak muss bis 2010 noch um weitere 12 % vermindert werden.

Würde man die deutschlandweiten Minderungsverpflichtungen der NEC-Richtlinie auf Berlin und Brandenburg anwenden, müssten die NO_x -Emissionen 2010 auf etwa 90 kt zurückgehen. Der Vergleich mit den in Tabelle 3 angegebenen Emissionen von 108 kt im Jahr 2000 zeigt, dass dieses Ziel schon fast erreicht ist. Für Berlin allein ist der geforderte prozentuale Rückgang der NO_x -Emission sogar schon jetzt erfüllt.

Angesichts fehlender Daten kann für Ammoniak derzeit keine klare Aussage gemacht werden. Schätzungen der Ammoniakemissionen aus Tierhaltung lassen jedoch vermuten, dass weitere Maßnahmen zur Verringerung der Ammoniakemissionen notwendig sind um dem Minderungsziel der NEC-Richtlinie zu entsprechen.

Neben den bisher erwähnten emissionsseitigen Minderungsverpflichtungen sind in der kürzlich in Kraft getretenen EU-Richtlinie 99/30 Grenzwerte für die Schadstoffbelastung – unter anderem auch für Stickstoffoxid – festgelegt worden. Aus der Verpflichtung diese Grenzwerte innerhalb bestimmter Fristen (für Stickstoffdioxid bis 2010) einzuhalten, erwächst zusätzlicher Druck in den kommenden Jahren emissionsmindernde Maßnahmen umzusetzen.

Wie in Kapitel 6.1 erwähnt, wird der NO_x -Grenzwert zum Schutz der Vegetation zwar überall in Berlin und Brandenburg eingehalten. Da in Berlin aber der NO_2 -Jahresgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit deutlich überschritten wird, muss der Stickstoffoxidausstoß im Berli-

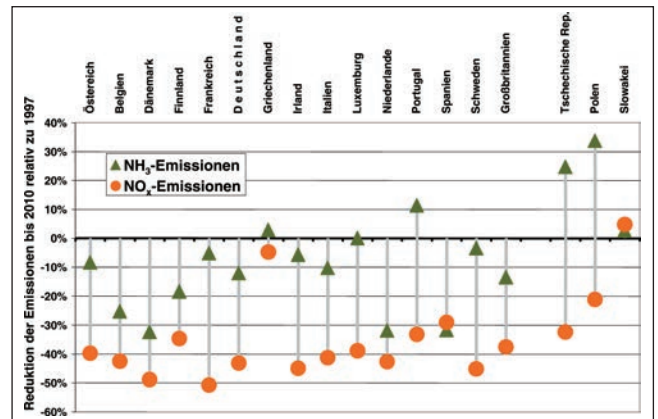


Abb. 88: Europaweit vereinbarte Reduktion der Emissionen bis 2010

ner Stadtgebiet – über die eingangs erwähnte Reduzierung hinaus – bis 2010 nochmals deutlich gesenkt werden. Ob die derzeit geschätzte Abnahme von 30 % bis 2010 aufgrund bereits geplanter Verbesserungen im Verkehr und Anlagenbereich ausreicht, ist zumindest zweifelhaft. Der im Konzept zum Stadtentwicklungsplan Verkehr formulierte Anspruch, bis 2015 die EU-seitigen Immissionsgrenzwerte „deutlich“ (das heißt um mindestens 25 %) zu unterschreiten und eine „Reduzierung der verkehrsbedingten stofflichen Belastung für Boden und Gewässer“ zu erreichen, verstärkt die Notwendigkeit für zusätzliche Minderungen.

Dadurch ist zu erwarten, dass die Stickstoffeinträge insbesondere in die ballungsraumnahen Waldökosysteme einen weiteren Rückgang erfahren. Wie groß die Entlastung letztlich sein wird, muss erst durch Untersuchungen mit Modellen ermittelt werden, die regionale und überregionale Transporte der relevanten Schadstoffe simulieren können. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die für die Schädigung der Waldökosysteme relevanten Schadstoffemissionen aufgrund jüngster internationaler Vereinbarungen auf ein Niveau gesenkt werden, das bis 2010 einen Rückgang der 1990 gemessenen Überschreitungen der kritischen Belastung für Säure um mindestens die Hälfte erwarten lässt. Bedingt durch EU-seitige Anforderungen zum Gesundheitsschutz und im Zusammenwirken mit den im Berliner Stadtentwicklungsplan Verkehr formulierten Zielsetzungen werden die NO_x -Emissionen in Berlin bis 2010 um mehr als ein Drittel gesenkt werden müssen. Dies wird mittel- und langfristig, insbesondere für die ballungsraumnahen Waldökosysteme eine weitere Entlastung auf dem Weg zur langfristigen Vermeidung von Überschreitungen der kritischen Belastungsschwellen mit sich bringen.

7 Schlussfolgerungen

Prioritäres Ziel ist eine Beseitigung oder zumindest eine Reduzierung der Ursachen, die zu den Schäden in Waldökosystemen führen. Aufgrund der vielfältigen Faktoren, die für die Gesundheit unserer Wälder von Bedeutung sind, müssen Maßnahmen der Forstwirtschaft beim Waldbau mit Maßnahmen der Umweltpolitik zur weiteren Verminderung der Schadstoffeinträge aus der Luft Hand in Hand gehen.

Ziele zur Verminderung der waldschadensrelevanten Luftverschmutzung

Was den **Stand der Verminderung der** für den Zustand der Wälder relevanten **Luftverschmutzung** angeht, ist durch den signifikanten Rückgang der Schwefeldioxid- und Stickstoffoxidemissionen aus Kraftwerken und Industrieanlagen sowie durch schadstoffreduzierte Fahrzeuge schon viel erreicht worden. Dies drückt sich beispielsweise dadurch aus, dass die neuen EU-Grenzwerte für ökosystembezogene Konzentrationen von SO₂ und NO_x in der Luft überall in Berlin und Brandenburg eingehalten werden.

Für den Zustand der Wälder spielt aber der Schadstoffeintrag in die Ökosysteme die entscheidende Rolle und damit letztlich die Frage, ob und um wieviel diese Einträge die Grenzen für Schadwirkungen (Critical Loads) überschreiten.

Bezüglich der Entwicklung solcher Überschreitungen ist festzustellen, dass

- der dramatische Rückgang der SO₂-Konzentration in der Luft auch zu einer deutlichen Verringerung des säurebildenden Schwefeleintrages in die Wälder und daher zu einer spürbaren Verminderung der Überschreitungen der Critical Loads für Säure geführt hat.
- bei den aus dem Verkehr stammenden Stickstoffoxidkomponenten ebenfalls eine Verbesserung eingetreten ist. Allerdings fällt, ähnlich wie beim Trend der Stickstoffdioxidkonzentration in der Luft, auch der Rückgang der stickstoffhaltigen Einträge in die Waldböden weniger deutlich aus. Das Niveau der Überschreitungen, insbesondere der Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff, ist immer noch relativ hoch.

Die bisher getroffenen Maßnahmen haben also zu einer spürbaren Verbesserung geführt. Die Einhaltung des international akzeptierten Ziels Überschreitungen der Critical Loads langfristig zu vermeiden, erfordert jedoch zusätzliche Anstrengungen.

Weil der Ferntransportanteil der für Waldschäden relevanten Schadstoffe beträchtlich ist, müssen Maßnahmen zu ihrer Minderung auch auf europäischer Ebene getroffen werden. Dies betrifft insbesondere die notwendige Minderung der Ozonbelastung, die trotz eines deutlichen Rückgangs im vergangenen Sommer im langjährigen Mittel noch über den kritischen Belastungsschwellen liegt. Die im EU-Rahmen kürzlich festgelegten Verpflichtungen zur Minderung der Schadstoffemission bis 2010 sind in Berlin und Brandenburg für Schwefeldioxid schon jetzt erreicht und für Stickstoffoxide und ozonbildende Kohlenwasserstoffe zum größten Teil erfüllt. Handlungsbedarf besteht vermutlich im Bereich der überwiegend aus der Landwirtschaft stammenden Ammoniakemission. Werden die international vereinbarten

Maßnahmen in Deutschland und den angrenzenden Nachbarstaaten umgesetzt, kann dadurch bis 2010 ein Rückgang der 1990 gemessenen Überschreitungen der Critical Loads für Säure um mehr als die Hälfte erwartet werden.

Über diese international geforderten Emissionsminderungen hinaus besteht insbesondere in Berlin die Verpflichtung zur weiteren Reduktion der Stickstoffemissionen. Um EU-seitige und im Rahmen der Erstellung des Berliner Stadtentwicklungsplans Verkehr formulierte Luftreinhalteziele zum Gesundheitsschutz zu erreichen, müssen die NO_x-Emissionen in Berlin bis 2010 um mehr als ein Drittel gesenkt werden.

Dies wird mittel- und langfristig insbesondere für die ballungsraumnahen Waldökosysteme eine weitere Entlastung auf dem Weg zur langfristigen Vermeidung von Überschreitungen der kritischen Belastungsschwellen mit sich bringen.

Maßnahmen der Forstwirtschaft gegen „Neuartige Waldschäden“

Neben den Anstrengungen zur Minderung der Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe tragen auch **waldbauliche Maßnahmen** dazu bei, dass die Waldschäden zumindest innerhalb bestimmter Grenzen gemindert oder wenigstens verzögert werden.

Wälder sind weniger empfindlich gegenüber Belastungen, wenn sie eine hohe innere Stabilität aufweisen, eine dem Standort angepasste Arten- und Strukturvielfalt besitzen und auf Böden wachsen, die in der Lage sind säurehaltige Einträge abzapfen. Dies sind in aller Regel Wälder, die den natürlichen Waldgesellschaften ähnlich sind. Ziel der Berliner Forsten und der Landesforstverwaltung Brandenburg ist es standortgerechte, naturnahe und produktive Wälder zu erhalten, zu entwickeln und unter Bewahrung der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit mit naturnahen Methoden zu bewirtschaften.

Die Entwicklung der Berliner Wälder, die vorrangig der Schutz- und Erholungsnutzung dienen, hin zu naturnahen Mischwäldern ist schon sehr weit fortgeschritten. Im Grunewald, Tegeler und Spandauer Forst, aber auch in den Wäldern von Köpenick, Buch und Treptow wachsen weitgehend Mischwälder aus heimischen Laub- und Nadelbäumen. Im Flächenland Brandenburg mit insgesamt über 1 Millionen ha Wald sind längere Zeiträume zum Aufbau naturnaher Wirtschaftswälder einzuplanen. 1997 legte die Landesforstverwaltung eine detaillierte mittel- bis langfristige Waldentwicklungsplanung für die Brandenburger Wälder vor, welche die Möglichkeiten und die Grenzen des Waldumbaus aufzeigt.

Tab. 5: Ziele der ökologischen Waldentwicklung im Landeswald von Brandenburg

	Nadelwald	Laub-Nadel-Mischwald	Laubwald
Ist	68 %	15 %	17 %
Ziel	26 %	49 %	25 %

Demnach wird der Anteil der reinen Nadelwaldbestände, die im Eigentum des Landes sind, von derzeit ca. 162.000 ha auf ca. 60.000 zugunsten der Mischwälder aus Laub- und Nadelbäumen und reinen Laubwäldern drastisch reduziert. Seit 1990 wurden bereits über 13.000 ha Kiefernwald in gemischte, strukturreiche und naturnähere Wälder umgebaut. Jedes Jahr kommen weitere Flächen hinzu. Diese gesteuerte Entwicklung des Landeswaldes von Brandenburg zu naturnäheren Wäldern ist langfristig das größte ökologische Vorhaben der Landesregierung.

Der Landeswald hat aber nur einen Anteil von etwa 1/4 an der gesamten Waldfläche von Brandenburg. Der übrige Wald ist vorwiegend im Besitz von privaten und kommunalen Eigentümern. Auch hier ist, ähnlich wie im Landeswald, die potenzielle Möglichkeit eines Waldumbaus angezeigt.

Tab. 6: Ziele der ökologischen Waldentwicklung im Nichtlandeswald von Brandenburg:

	Nadelwald	Laub-Nadel-Mischwald	Laubwald
Ist	75 %	11 %	14 %
Ziel	45 %	41 %	14 %

Im Nichtlandeswald ist die ökologische Waldentwicklungsplanung als wichtiger Bestandteil der forstlichen Rahmenplanung eine Orientierungshilfe für den Eigentümer, die eigenen Ziele und Vorstellungen zu entwickeln. Die Forstverwaltung begleitet diesen Entscheidungsprozess im Rahmen der Anleitung, Beratung und Betreuung des Privatwaldes. Das Land fördert die ökologische Waldentwicklung im Privatwald mit jährlich über 15 Millionen DM.

Aber nicht nur durch den Aufbau von Wäldern, die sich an den natürlichen Waldökosystemen orientieren, versuchen die Forstverwaltungen von Berlin und Brandenburg neuartige Waldschäden zu vermindern. Auch im Rahmen der täglichen waldbaulichen Arbeit wird mit naturnahen Methoden der Waldwirtschaft Einfluss auf die Stabilität der Wälder genommen. Hierzu gehören folgende Maßnahmen:

- Verbesserung der Standortverhältnisse
- Nutzung natürlicher Entwicklungsprozesse, insbesondere der natürlichen Verjüngung
- Reduzierung überhöhter Wildbestände, die die natürliche Entwicklung von Wäldern verhindern
- Förderung der biologischen und strukturellen Vielfalt
- Verbot von Kahlschlägen
- Erhöhung des Anteils alter Bäume und des Totholzes
- Integrierter Waldschutz, insbesondere durch biologische und mechanische Verfahren
- Förderung von seltenen Baumarten
- Erhaltung von Niststätten für Vögel
- Erhalt, Entwicklung und Anlage von Waldrändern als Traufschutz und Habitat
- Aufbau eines Netzes von Naturwäldern und Beachtung des Biotopverbundes
- Anwendung boden- und bestandespfleglicher Technologien.

Es gibt jedoch noch viele offene Fragen, wie eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft im Nordostdeutschen Tiefland auf den verschiedenen Standorten gestaltet werden kann. Einige dieser Fragestellungen werden in einem der größten forstwissenschaftlichen Forschungsprojekte in Deutschland derzeit bearbeitet. Seit mehreren Jahren untersuchen im Rahmen eines Forschungsverbundes die Universitäten Lüneburg, Greifswald, Freiburg und Cottbus, die Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, das Fraunhofer Institut, die Landesforstanstalt Eberswalde sowie weitere Institute, wie eine ökologisch orientierte Waldbewirtschaftung im Nordostdeutschen Tiefland umgesetzt werden kann. Die Landesforstverwaltungen koordinieren die zahlreichen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Forschungsprojekte.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Forschungen ergänzen die ökologische Waldentwicklungsplanung sowie den naturnahen Waldbau. Sie werden von den Forstverwaltungen genutzt, um auf dem Weg einer naturnahen und standortgerechten Waldwirtschaft etwas trittsicherer zu gehen und so unsere Wälder gegenüber den zahlreichen Belastungen weniger anfällig zu machen.

Tabellenanhang: Ergebnisse der Waldschadenserhebung

Land Berlin

Stichprobeneinheit	kombinierte Schadstufe(n) in Prozent ¹						mittlere Kronen- ver- lichtung	Stichpro- benum- fang (Bäume)
	0	1	2	3	4	2-4		
<i>Baumarten und Altersgruppen</i>								
Kiefer	9,0	64,3	25,5	0,6	0,6	26,7	23	656
bis 60-jährig	10,8	65,8	22,9	0,0	0,5	23,4	23	406
über 60-jährig	6,0	62,8	29,6	1,6	0,8	32,0	24	250
andere Nadelbäume	46,2	44,2	9,6	0,0	0,0	9,6	15	52
bis 60-jährig	46,2	44,2	9,6	0,0	0,0	9,6	15	52
über 60-jährig								0
Buche	15,0	70,0	15,0	0,0	0,0	15,0	19	20
bis 60-jährig	28,6	71,4	0,0	0,0	0,0	0,0	16	7
über 60-jährig	7,7	69,2	23,1	0,0	0,0	23,1	20	13
Eiche	3,6	52,6	41,6	1,5	0,7	43,8	28	137
bis 60-jährig	5,6	50,0	44,4	0,0	0,0	44,4	27	36
über 60-jährig	3,0	53,5	40,6	2,0	1,0	43,6	29	101
andere Laubbäume	18,2	49,0	27,3	1,4	4,2	32,9	26	143
bis 60-jährig	21,1	55,0	22,0	1,8	0,0	23,9	21	109
über 60-jährig	8,8	29,4	44,1	0,0	17,6	61,8	39	34
Baumartengruppe Laubbäume	11,3	52,0	33,0	1,3	2,3	36,7	26	300
Baumartengruppe Nadelbäume	11,7	62,9	24,3	0,6	0,6	25,4	23	708
Gesamtergebnis 2001	11,6	59,6	26,9	0,8	1,1	28,8	24	1008
bis 60-jährig	15,6	61,1	22,6	0,3	0,3	23,3	22	610
über 60-jährig	5,5	57,3	33,4	1,5	2,3	37,2	27	398
Gesamtergebnisse der Vorjahre								
2000	20,9	54,6	22,5	1,0	0,9	24,5	22	3744
1999	29,5	52,7	15,6	1,3	0,9	17,8	20	3864
1998	28,2	60,3	9,6	1,1	0,8	11,5	18	3840
1997	27,8	52,2	15,9	0,8	3,3	20,0	22	3768
1996	37,2	49,7	11,9	0,6	0,6	13,1	17	936
1995	32,4	49,7	16,4	0,8	0,7	17,9	19	3864
1994	32,6	46,6	19,2	1,0	0,6	20,8	20	3864
1993	31,2	44,1	23,3	1,3	0,1	24,7	20	3744
1992	34,7	51,4	12,6	1,1	0,3	14,0	17	3744
1991	22,5	48,1	28,1	1,2	0,1	29,4	22	1896

¹ geringfügige Abweichungen zu 100 % durch Rundungsfehler möglich

Land Brandenburg

Stichprobeneinheit	kombinierte Schadstufe(n) in Prozent ¹						mittlere Kronen- ver- lichtung	Stichpro- benum- fang (Bäume)
	0	1	2	3	4	2-4		
Baumarten und Altersgruppen								
Kiefer	53,1	40,7	5,8	0,3	0,2	6,3	13	11193
bis 60-jährig	58,5	36,4	4,7	0,2	0,1	5,1	12	6255
über 60-jährig	46,3	46,0	7,2	0,4	0,2	7,7	15	4938
andere Nadelbäume	70,8	25,9	2,4	0,9	0,0	3,3	9	672
bis 60-jährig	72,3	25,1	1,9	0,7	0,0	2,5	8	593
über 60-jährig	59,5	31,6	6,3	2,5	0,0	8,9	12	79
Buche	51,2	33,2	14,7	0,6	0,3	15,5	15	361
bis 60-jährig	82,9	17,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7	82
über 60-jährig	41,9	38,0	19,0	0,7	0,4	20,1	17	279
Eiche	34,5	38,7	25,6	1,3	0,0	26,9	20	476
bis 60-jährig	59,5	22,2	17,7	0,6	0,0	18,4	15	158
über 60-jährig	22,0	46,9	29,6	1,6	0,0	31,1	22	318
andere Laubbäume	52,9	34,6	8,4	1,6	2,5	12,5	16	1074
bis 60-jährig	48,7	36,9	8,8	1,9	3,7	14,4	19	672
über 60-jährig	60,0	30,8	7,7	1,0	0,5	9,2	13	402
Baumartengruppe Laubbäume	48,0	35,4	13,9	1,3	1,5	16,6	17	1911
Baumartengruppe Nadelbäume	54,1	39,8	5,6	0,3	0,1	6,1	13	11865
Gesamtergebnis 2001	53,3	39,2	6,8	0,5	0,3	7,5	13	13776
bis 60-jährig	59,0	35,1	5,1	0,4	0,4	5,9	12	7760
über 60-jährig	45,9	44,5	8,9	0,5	0,2	9,7	15	6016
Gesamtergebnisse der Vorjahre								
2000	52,8	38,7	7,6	0,6	0,3	8,5	14	13727
1999	57,2	35,4	6,6	0,5	0,3	7,4	13	13589
1998	52,6	37,6	9,0	0,5	0,3	9,8	14	13604
1997	48,7	41,5	8,9	0,6	0,3	9,7	14	13656
1996	47,7	40,8	10,3	0,8	0,4	11,5	15	13656
1995	47,1	39,1	12,1	1,1	0,6	13,8	16	13584
1994	42,1	40,1	15,6	1,5	0,6	17,8	17	13367
1993	43,8	39,2	17,1	1,2	0,6	17,1	17	13224
1992	29,7	44,8	23,8	1,4	0,3	25,5	21	13008
1991	29,0	37,7	29,5	3,9	0,0	33,3	23	12618

¹ geringfügige Abweichungen zu 100 % durch Rundungsfehler möglich

Gesamtregion Berlin-Brandenburg

Stichprobeneinheit	kombinierte Schadstufe(n) in Prozent ¹						mittlere Kronen- ver- lichtung	Stichpro- benum- fang (Bäume ²)
	0	1	2	3	4	2-4		
Baumarten und Altersgruppen								
Kiefer	52,5	41,0	6,1	0,3	0,2	6,5	13	11357
bis 60-jährig	57,7	36,9	5,0	0,2	0,1	5,4	12	6357
über 60-jährig	45,8	46,2	7,4	0,4	0,2	8,0	15	5000
andere Nadelbäume	70,4	26,2	2,5	0,9	0,0	3,4	9	685
bis 60-jährig	71,8	25,5	2,0	0,7	0,0	2,7	8	606
über 60-jährig	59,5	31,6	6,3	2,5	0,0	8,9	12	79
Buche	50,8	33,7	14,7	0,5	0,3	15,5	15	366
bis 60-jährig	81,8	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7	84
über 60-jährig	41,5	38,4	19,0	0,7	0,4	20,1	17	282
Eiche	32,4	39,6	26,7	1,3	0,0	28,0	21	510
bis 60-jährig	56,6	23,7	19,2	0,6	0,0	19,8	16	167
über 60-jährig	20,6	47,3	30,4	1,6	0,1	32,0	23	343
andere Laubbäume	51,8	35,1	9,0	1,6	2,6	13,1	17	1110
bis 60-jährig	47,6	37,6	9,3	1,9	3,6	14,8	19	699
über 60-jährig	58,9	30,8	8,5	1,0	0,9	10,3	13	411
Baumartengruppe Laubbäume	46,6	36,0	14,6	1,3	1,5	17,4	17	1986
Baumartengruppe Nadelbäume	53,5	40,2	5,9	0,3	0,1	6,4	13	12042
Gesamtergebnis 2001	52,5	39,6	7,1	0,5	0,3	7,9	14	14028
bis 60-jährig	58,1	35,6	5,4	0,4	0,4	6,2	12	7913
über 60-jährig	45,2	44,7	9,3	0,5	0,2	10,1	15	6115
Gesamtergebnisse der Vorjahre								
2000	52,3	38,9	7,8	0,7	0,3	8,8	14	13972
1999	56,7	35,7	6,8	0,5	0,3	7,6	13	13831
1998	52,2	38,0	9,0	0,6	0,3	9,9	14	13844
1997	48,4	41,7	9,0	0,6	0,3	9,9	14	13892
1996	47,6	41,0	10,3	0,8	0,4	11,5	15	13890
1995	46,9	39,3	12,1	1,1	0,6	13,9	16	13826
1994	42,0	40,2	15,7	1,5	0,6	17,8	17	13609
1993	43,6	39,2	15,4	1,2	0,6	17,2	17	13458
1992	29,8	44,9	23,6	1,4	0,3	25,3	20	13242
1991	28,9	37,9	29,4	3,8	0,0	33,3	23	12855

¹ geringfügige Abweichungen zu 100 % durch Rundungsfehler möglich

² Fallzahlen wegen unterschiedlicher Netzdichte von Berlin und Brandenburg nach repräsentierter Fläche gewichtet

Glossar

Basen:

Chemische Verbindung, die mit einer Säure durch Neutralisation Salze bildet.

Basen sind z. B. die Pflanzennährstoffe Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium

Bestand:

Abgrenzbare Waldfläche, die sich in Struktur, Alter und Baumartenzusammensetzung von angrenzenden Flächen unterscheidet.

Bioindikation:

Reaktion eines biologischen Systems auf äußere Einflüsse, damit Grundlage für den Nachweis von Belastungen durch Umweltfaktoren und Schäden an biologischen Systemen (biochemische Ebene bis zur Ökosystemebene).

Bioindikator:

Lebewesen oder Lebensgemeinschaft, die auf Schadstoffbelastungen mit Veränderungen reagiert.

Bodenacidität:

Verhältnis von Säuren zu Basen im Boden. Bei hoher Acidität herrschen die Säuren vor.

Bodenzustandserhebung (BZE):

Auf dem Stichprobennetz (*Level I-Monitoring*) durchgeführte Untersuchung des Waldbodens und des Ernährungszustandes der Waldbäume. Die erste Bodenzustandserhebung wurde im Zeitraum 1987–1993 durchgeführt. Eine bundesweite Wiederholung dieser Erhebung ist in Vorbereitung. Teil des *forstlichen Umweltmonitoring*.

Critical Loads:

Schwellenwert für Schadstoffeinträge (Schadstoffmenge in Masse pro Flächeneinheit), bei dem nach bisherigem Wissen noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen der Ökosysteme in Struktur und Funktion zu erwarten sind.

Critical Level:

Schwellenwert für die Schadstoffkonzentration der Luft (Masse pro Volumeneinheit), bei dem nach bisherigem Wissen noch keine nachweisbaren schädlichen Veränderungen an Organismen zu erwarten sind.

Deposition:

Eintrag von Stoffen (Masse pro Flächeneinheit) in ein Ökosystem (z. B. Eintrag von Schadstoffen durch die Luft (trockene –) und mit dem Regen (nasse –) in ein Waldökosystem).

Emission:

Die von einer Quelle (Emittent) ausgehenden Luftverunreinigungen, Boden- und Wasserverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

Eutrophierung:

Nährstoffanreicherung des Wassers oder Bodens.

Forstliches Umweltmonitoring:

Überwachung des Waldzustandes mit dem Ziel, Schäden und andere Veränderungen der Waldökosysteme frühzeitig zu erkennen, um im Bedarfsfall geeignete Maßnahmen zum Schutz des Waldes zu treffen. Es umfasst das *Level I-Monitoring*, das *Level II-Monitoring* und die Waldökosystemforschung.

Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung:

Angabe der in 5 %-Stufen angesprochenen Kronenverlichtung nach ihrer Häufigkeit. Sie lässt erkennen, ob viele Bäume im Bereich der Schadstufengrenzen liegen.

Immissionen:

Schädliche Umwelteinwirkungen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Verunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

Integrierende Auswertungen:

Verknüpfung der auf den Stichprobennetzen Level I und Level II erhobenen Daten mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden und Modelle unter Einbeziehung von Daten anderer Messnetze und Kartierungen.

Klimatische Wasserbilanz:

Als Klimatische Wasserbilanz bezeichnet man die Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Höhe der *potenziellen Evapotranspiration* eines Ortes in einer bestimmten Zeitspanne. Meteorologische/klimatische und hydrologische Größen werden kombiniert.

Evaporation (E):

direkte Verdunstung von freier Bodenoberfläche und über Wasser, unter Ausschluss biologisch-physiologischer Prozesse.

Transpiration (T):

Verdunstung von Pflanzenoberflächen (Regulierung durch Öffnen/Schließen der Spaltöffnungen in den Blättern), biologisch-physiologisch relevant.

Evapotranspiration ET = E + T:

Reale Evapotranspiration (= aktuelle) ist die ET einer teilweise oder ganz mit Pflanzen bewachsenen Fläche, deren Wassernachschub durch Wassermangel, biologische oder physikalische Bedingungen begrenzt ist.

Die **potenzielle Evapotranspiration** tritt ohne diese Begrenzungen auf. Sie unterscheidet sich von der potenziellen Evaporation vor allem dadurch, dass sich auch bei optimaler Wasserversorgung unter bestimmten Bedingungen wie hoher Temperatur, niedriger photosynthetischer aktiver Strahlung die Blattoberflächen (Stomata) schließen können oder andere physiologische Vorgänge die Transpiration reduzieren.

Naturhaushalt:

Wirkungsgefüge aller natürlichen Faktoren (Mineralien, Gesteine, Boden, Wasser, Luft, Klima, Pflanzen, Tiere).

Kronenverlichtung:

Im Rahmen der Waldschadenserhebung eingeschätzter Verlust / Minderaustrieb von Nadeln und Blättern an Waldbäumen. Zunehmende Kronenverlichtung ist ein Alarmsignal, das eine Gefährdung der Wälder anzeigt.

Level I-Monitoring:

Überwachung des Waldzustandes auf dem flächendeckenden, systematischen Stichprobennetz mit repräsentativen Ergebnissen für den gesamten Wald. Das Level I-Monitoring umfasst die jährliche *Waldschadenserhebung*, die *Bodenzustandserhebung* und Untersuchungen des Ernährungszustandes der Waldbäume (Nadel-/ Blattanalysen). Teil des *forstlichen Umweltmonitoring*.

Level II-Monitoring:

Intensive Untersuchungen des Waldzustandes an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen zur Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen

Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren. Teil des *forstlichen Umweltmonitoring*.

Mittlere Kronenverlichtung:

Mittelwert der in 5 %-Stufen eingeschätzten Kronenverlichtung der Einzelbäume.

Nadel-/Blattverlust:

Synonym Kronenverlichtung, Verlust hier gegenüber einem Referenzbaum mit normaler Kronendichte verstanden.

Neuartige Waldschäden:

Waldschäden, die im Unterschied zu klassischen Rauchschäden seit Ende der 70er Jahre an allen Baumarten großflächig und auch fernab von Industrieanlagen auftreten und bei denen Luftschadstoffen als Einflussfaktor eine Schlüsselrolle zukommt.

Ökosystem:

Beziehungsgefüge aus Organismen und ihrer Umwelt.

Perzentilbereich:

Bereich einer Häufigkeitsverteilung. So liegen z. B. 75 % aller gemessenen Werte innerhalb des 75-Perzentil. Perzentilbereiche werden als relativer Bewertungsmaßstab verwandt.

pH-Wert:

Maß zur Bestimmung des sauren, neutralen oder basischen Charakters wässriger Lösungen, stellt den negativ dekadischen Logarithmus der molaren Wasserstoffionen-Konzentration dar. Die pH-Wert-Skala reicht von 1 bis 14, ein pH-Wert von 7 kennzeichnet eine neutrale Lösung.

Populationsdichte:

Zahl der Individuen einer Art, bezogen auf eine Raumeinheit

Puppen:

Entwicklungsstadium bei Schmetterlingen

Pufferung:

Fähigkeit (z. B. von Waldböden), den pH-Wert trotz Zufuhr von Säuren oder Basen durch chemische Prozesse konstant zu halten.

Rauchschäden:

Bereits in früheren Jahrhunderten in der Nähe von Industrieanlagen, vornehmlich Hüttenwerken, beobachtete Waldschäden, die auf schwefelhaltige Abgase zurückgeführt wurden.

Sickerwasser:

Wasser, das sich im Boden der Schwerkraft folgend bewegt.

Stoffbilanz:

Gegenüberstellung von Stoffeinträgen und Stoffausträgen eines Systems.

Stress:

Auswirkung einer Belastung durch Störfaktoren als Druck, Belastung, Beanspruchung und Verschleiß mit denen ein biologisches System fertig werden muss. Die Anpassung an die durch Stress hervorgerufenen Zustände kann in drei Stufen ablaufen: Alarmzustand, Widerstand, Erschöpfung.

Transnationales Stichprobennetz:

Für die Überwachung des Waldzustandes auf europäischer Ebene eingerichtetes Stichprobennetz, das derzeit 35 Staaten mit einem grenzüberschreitenden 16 x 16 km-Raster überzieht. Level I-Monitoring.

Waldschadenserhebung:

Jährlich auf dem Stichprobennetz (*Level I-Monitoring*) durchgeführte Ansprache der *Kronenverlichtung* und der Vergilbung von Nadeln und Blättern an Waldbäumen. Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung dienen als Weiser für die Vitalität der Wälder. Teil des *forstlichen Umweltmonitoring*.

