



Wald- zustandsbericht 2000

Freistaat  Sachsen

Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

In Sachsen wurde die Waldschadenserhebung im Jahr 2000 zum 10. Mal durchgeführt. Auf einem Raster von 4 x 4 km sind dazu insgesamt 6 840 Bäume in 285 Waldbeständen begutachtet worden.

Die Erhebung weist 19 % der sächsischen Waldfläche als deutlich geschädigt, 37 % als schwach geschädigt und 44 % ohne erkennbare Schäden aus. Damit hat sich der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche im Vergleich zum Vorjahr um 3 Prozentpunkte verringert und liegt unter dem Niveau zu Beginn der 90er-Jahre.

Für die Hauptbaumarten und Wuchsgebiete gilt:

- Der Schadverlauf zeigt im Zeitraum 1991 bis 2000 für die Baumarten gegenläufige Trends: Während sich bei den Nadelbaumarten ein Schrumpfungstrend andeutet, ist bei den Laubbaumarten eine tendenzielle Schadzunahme zu beobachten.
- Bei der Fichte (43,8 % der Waldfläche) liegen die deutlichen Schäden in diesem Jahr mit 20 % um 7 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr. Ausgelöst durch das zeitige, warme Frühjahr nahm allerdings der Befall durch Borkenkäfer, speziell des Buchdruckers, zu.
- Bei der Kiefer (31,7 % der Waldfläche) sind die deutlichen Schäden mit 11 % ähnlich niedrig wie in den vorangegangenen fünf Jahren und damit deutlich schwächer ausgeprägt als Anfang der 90er-Jahre. In Nordwestsachsen weisen die Kiefern einen ungünstigeren Kronenzustand auf als in Ostsachsen.
- Weiterhin extrem hoch ist das Schadniveau der Eiche (6,1 % der Waldfläche). Trotz eines geringen Rückgangs im Vergleich zu 1999 liegt der Flächenanteil deutlicher Schäden noch über 50 %. Die Eiche bleibt somit die am stärksten geschädigte Baumart in Sachsen. Der Einfluss von Fraßschäden auf den Belaubungszustand war in diesem Jahr unbedeutend.
- Der Anteil deutlicher Schäden an der Buche (2,8 % der Waldfläche) ist 2000 erneut angestiegen. Damit setzt sich der seit 10 Jahren beobachtete Trend fort. Das Erscheinungsbild älterer Buchen war in diesem Jahr zusätzlich von Fruchtanhang geprägt.
- Die Schadausprägung unterscheidet sich zwischen den einzelnen sächsischen Wuchsgebieten erheblich. Die höchsten Schäden treten im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland auf. Dort ist das Schadniveau inzwischen höher als im Erzgebirge und wird von den in diesem Gebiet dominierenden Laubbaumarten bestimmt. Im großflächig mit Fichte bestockten Erzgebirge hat sich der Zustand des Waldes dagegen selbst in Gebieten, die in der Vergangenheit stark geschädigt waren, verbessert. Vergleichsweise günstig stellte sich das Erscheinungsbild der von Kiefern geprägten Wuchsgebiete Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland dar.

Der drastische Rückgang der Schwefelmissionen hat insbesondere in den Waldökosystemen des Erzgebirges zu einer Abnahme der Gesamtsäurebelastung geführt. Auch die Stickstoffeinträge haben sich teilweise verringert. Sie überschreiten aber weiterhin deutlich die langfristig tolerierbaren Eintragsraten.

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

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

Einhergehend mit den verminderten SO₂-Immissionen nahmen auch die Schwefelgehalte in den Nadeln und Blättern markant ab. Sie liegen zwar noch über dem Niveau in Schwefel-Reinluftgebieten, eine akute Gefährdung kann allerdings weitgehend ausgeschlossen werden. Mit Stickstoff-, Phosphor-, Kalzium- und Kalium sind die Bestände meist ausreichend und belastungsfrei ernährt. Labil ist dagegen die Magnesium-Versorgung von ungekalkten Fichtenbeständen in den sächsischen Mittelgebirgen.

The tenth assessment of forest damage in Saxony took place in the year 2000. A total of 6 840 trees in 285 forest stands were included on the basis of a 4 x 4 km grid.

Of the Saxon forest area, 19 % were shown to be visibly damaged, 37 % slightly damaged, and 44 % apparently undamaged. The visibly damaged forest area had been reduced by 3 percent compared to the previous year, and even fell below the level found in the early 90's.

In the following details are given in respect of the main tree species and growth areas.

- During the period from 1991 to 2000, the course of die-back reveals **contradictory trends** from species to species: conifers are showing a diminution of damage, whereas deciduous trees are still being increasingly affected.
- **Norway spruce** (*Picea abies* [L.] KARST.), which accounts for 43.8% of the forest area, has a proportion of 20% visibly damaged trees, that is 7 % less than last year. However the early, warm spring led, to increased infestation with bark beetle (*Scolytidae*), particularly bark-scarab (*Ips typographus*).
- **Scots pine** (*Pinus sylvestris* L.), contributing to the forest area with a proportion of 31.7%, shows the same extent of visible damage (11%) as was the case in the preceding 5 years, a figure considerably reduced from that of the early 90's. The state of the pine crowns in north-western Saxony is much less satisfactory than those in the east.
- The degree of visible damage in **oak** (*Quercus robur* L. and *Qu. petraea* [MATT.] LIEBLEIN), which covers 6.1 % of the forest area, continues to be extremely severe. Though it has improved slightly in comparison to 1999, more than 50 % of the oaks still display clear evidence of damage. Thus the oak is still the tree genus suffering most in Saxony. The effect of insects feeding on foliage was insignificant this year.
- For **beech** (*Fagus sylvatica* L.), occupying 2.8 % of the forest area, the degree of damage again increased in 2000. The trend observed over 10 years is thus continued. Older beech trees were this year noticeably distinguished by excessive fruiting (beechmast).
- As to the character and the degree of damage there is a marked difference between the **Saxon growth areas**. The worst die-back is to be found in the Saxon-Thuringian loess hill region. The level is now higher there than in the Ore Mountains (Erzgebirge), a fact which can be attributed to the predominance of deciduous trees in the former place. In the Erzgebirge, on the other hand, where spruce dominates the stands over a large area, the condition of the forest has improved, even in the parts that were previously seriously affected. There is a relatively favourable profile in the growth areas where pine is the characteristic species: the old-moraine lands of central north-east Germany and of Düben and Lower Lusatia (Niederlausitz).

The drastic reduction in **sulphur** emissions has led to a decrease in the overall acid pollution, particularly in the forest ecosystems of the Erzgebirge. However the **nitrogen** input has, remained unchanged and is much too high. Because of acidification affecting so wide an area in connection with the "long-term memory" of forest soils, forest ecosystems are stabilising only very gradually. Base saturation, being below 15 % at most of the sites, points out small elasticity of the soil system to acid stress and therefore indicates high risk to the roots from aluminium poisoning. However, large-scale liming was carried out to compensate the impact of acidification, and thus the risk of acid stress could be reduced on wide areas.

In response to the lower emissions of sulphur dioxide, the sulphur content in needles and foliage has also sunk noticeably. In both, however, it is still above generally excluded.

The stands are, as a whole, adequately and not excessively supplied with nitrogen, phosphorus, calcium and potassium. In contrast, the availability of magnesium in spruce stands which were not given extra lime in the Saxon lower mountain ranges tends to be unstable.

Stan zdrowotny lasów saksońskich w roku 2000 - podsumowanie

Ocena stanu zdrowotnego lasów w Saksonii w roku 2000 została przeprowadzona po raz dziesiąty. Na kwadracie 4 x 4 km oceniono w tym celu 6840 drzew w 285 drzewostanach.

Ocena ta wykazuje na 19 % powierzchni lasów Saksońskich szkody wyraźne, na 37 % szkody lekkie, a na 44 % nie stwierdzono szkód. Udział szkód wyraźnych w porównaniu do roku poprzedniego obniżył się o 3 procent i leży poniżej stanu z początku lat 90-tych.

Dla głównych gatunków drzew i rejonów klimatycznych można podsumować:

Przebieg szkód w okresie 1991 - 2000 wykazuje przeciwstawne tendencje dla różnych gatunków drzew. U drzew iglastych stwierdzono zmniejszenie szkód, natomiast u gatunków liściastych obserwuje się tendencje wzrostowe.

- U świerka (43,8 % ogólnej powierzchni lasu) udział wyraźnie uszkodzonych drzew wynosi w tym roku 20 % - jest to 7 % mniej w porównaniu do roku poprzedniego. Wzrosło jednak, wywołane przez wczesną i ciepłą wiosnę, nasilenie korników w drzewostanach, głównie drukarza (*Ips typographus*).
- U sosny (31,7 % ogólnej powierzchni lasu) szkody są podobnie niskie jak w ostatnich pięciu latach, a więc wyraźnie niższe niż na początku lat 90-tych. W północno-zachodniej Saksonii wygląd koron sosen jest bardziej niekorzystny niż we wschodniej Saksonii.
- U dęba (6,1 % ogólnej powierzchni lasu) poziom szkód jest nadal skrajnie wysoki. Mimo nieznacznego zmniejszenia się szkód udział wyraźnie uszkodzonych dębów stwierdzono nadal na więcej niż 50 % powierzchni. Dąb jest więc w dalszym ciągu najbardziej uszkodzonym gatunkiem w Saksonii. Szkody wyrządzone przez owady liściożerne w tym roku były nieznaczne.
- Szkody u buka (2,8 % ogólnej powierzchni lasu) w roku 2000 ponownie się podwyższyły. Od dziesięciu lat obserwowany trend kontynuuje się. Wygląd starszych buków cechuje w tym roku duża liczba owoców.
- Istnieją znaczne różnice intensywności szkód pomiędzy rejonami klimatycznymi. Najwyższe szkody rejestrowano na „Saksońsko-Turingeńskich wzniesieniach lessowych“. Tu poziom szkód jest w międzyczasie wyższy niż w Górach Rudawskich, co jest wywołane przez dominowanie gatunków liściastych w tym rejonie. W Górach Rudawskich, gdzie na dużych powierzchniach rosną drzewostany świerkowe, polepszył się stan zdrowotny lasów nawet na terenach, które dawniej były wyraźnie uszkodzone. Względnie lepszy jest wygląd lasów w rejonach „Środkowy północno-wschodni niemiecki krajobraz morenowy starszy“ i „Düben-Dolnołużycki krajobraz morenowy starszy“, gdzie dominuje sosna.

Drastyczny spadek emisji związków siarki doprowadził przede wszystkim w Górach Rudawskich do obniżenia ogólnego zakwaszenia gleb. Obciążenia przez związki azotu pozostają natomiast bez zmian i są nadal za wysokie. Ze względu na zakwaszenie gleb na rozległych terenach i długoterminowej „pamięci“ gleb, stabilizacja ekosystemów leśnych następuje tylko powoli. Nasylenie zasadami, które na większości siedlisk wynosi poniżej 15 %, pokazuje niską elastyczność gleb wobec kwasów oraz wysokie zagrożenie przez toksyczność aluminium w strefie korzeniowej.

W tej samej mierze, jak nastąpiło obniżenie emisji SO_2 , znacznie obniżyła się zawartość siarki w igłach i liściach. Mimo, że leży ona powyżej zawartości w terenach o czystym powietrzu, można wykluczyć aktualne zagrożenie. Wyposażenie drzewostanów w azot, fosfor, wapień i potas jest wystarczające i bez obciążenia. Natomiast wyposażenie w magnez drzewostanów świerkowych, na nie nawożonych wapieniami obszarach wzgórz saksońskich jest labilne.

Přehled zdravotního stavu lesů Saska v roce 2000

V roce 2000 byla v Sasku už po desáté provedena evidence poškození lesních porostů. Na síti 4x4 km bylo celkem vyhodnoceno 6 840 stromů v 285-ti porostech.

Monitoring vykazuje 19 % saské lesní plochy jako zřetelně, 37 % jako slabě poškozené. Ostatních 44 % lesních porostů není poškozeno. Tímto výsledkem se podíl zřetelně poškozených porostů ve srovnání s loňským rokem snížil o 3% a tím leží pod hladinou počátku devadesátých let.

Pro hlavní dřeviny a jejich růstové stanoviště platí:

- V období 1991 – 2000 se ve stupni poškození jednotlivých dřevin ukazuje **protisměrný průběh**. Na jedné straně se u jehličnanů projevuje zlepšení, u listnáčů se oproti tomu zdravotní stav zhoršuje.
- U **smrku** (43,8 % lesní plochy) jsou zřetelné škody o 7 % nižší než v loňském roce a dosahují 20 %. V důsledku brzkého a teplého jara se však zvýšila napadení kůrovci, hlavně lýkožroutem.
- U **borovice** (31,7 % lesní plochy) s 11-ti% zřetelných škod je stupeň poškození podobně nízký jako v posledních pěti letech. Tímto výsledkem vykazuje borovice podstatně lepší zdravotní stav než na počátku devadesátých let. V severozápadním Sasku vykazují koruny borovic horší olistnění než ve východním Sasku.
- Nadále je velmi poškozen **dub** (6,1 % lesní plochy). I když se škody oproti loňskému roku nepatrně snížily, podíl poškozených ploch je nadále větší než 50 %. Tím zůstává dub nejvíce poškozenou dřevinou v Sasku. Vliv žíru listožravým hmyzem byl bez významu.
- Podíl zřetelných škod na **buku** (2,8 % lesní plochy) se v letošním roce opět zvýšil. Tím se potvrdil známý průběh posledních deseti let. Starší buky vykazovaly navíc dobrou fruktifikaci.
- Stupeň poškození je rozlišný v jednotlivých **růstových oblastech**. Nejvyšší škody byly zjištěny v Saskoturiňských pahorkatinách. Zde je poškození lesních porostů momentálně vyšší než v Krušných horách. Důvod je vysoké zastoupení listnáčů v této oblasti. Ve smrkových porostech Krušných hor se zdravotní stav, i v oblastech, které byly v minulosti velmi silně poškozeny, zlepšil. Podobná je situace v růstové oblasti borovice, střední – severovýchodní Sasko, Nizolužické Staromorény.

Drastické snížení zanášení **sírových zplodin** do lesních ekosystémů se projevilo úbytkem zatížení kyselinami. Oproti tomu je celkové zatížení **dušikem** nadále velice vysoké.

Z důvodu velkoplošného zakyselení a „dlouhodobé paměti“ **lesních půd** je pokračující stabilizace lesních ekosystémů zpomalená.

Basické nasycení, které u většiny stanovišť vykazuje hodnotu pod 15 % jasně znázorňuje nepatrnou pružnost půd oproti vlivu kyselin. Totéž platí pro vysoké ohrožení kořenových systémů vlivem hliníkové toxicity. Velkoplošné vápnění způsobilo zmírnění zakyselení půd a tím nebezpečí dalšího zvýšení koncentrace kyselin na většině ploch lesních půd.

Souměrně se snížením koncentrace oxidu siřičitého se rovněž podstatně snížil obsah síry v jehličí a listů. Ještě se sice pohybuje nad úrovní nezatížených oblastí, akutní nebezpečí však už nehrozí. Dušikem, fosforem, vápníkem a draslíkem je většina porostů dobře zásobena, živiny jsou přijatelné. Labilní je pouze zásoba hořčíku ve smrkových porostech, které dosud nebyly vápněny.

Waldzustandsbericht 2000

(Waldzustandsbericht nach § 58 SächsWaldG)

Inhalt

	Seite
Vorbemerkungen	3
Grundlagen der Waldzustandserfassung	5
Rahmenbedingungen für den Waldzustand	9
Witterung	9
Bodensubstrate	13
Immissionen	13
Stoffeinträge und -austräge	16
Waldzustand 2000	22
Kronenzustand	22
Allgemeine Schadsituation	22
Schäden an den Hauptbaumarten	23
Regionale Ausprägung der Schäden	36
Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen	42
Verbisserhebung auf Verjüngungsflächen	44
Bodenzustand	46
Basensättigung	46
pH-Werte	47
Gehalte von Blei und Kupfer in den Humusauflagen	49
Ernährungszustand	50
Zusammenfassung	53
Maßnahmen zur Verbesserung des Waldzustandes	55
Verzeichnisse	57
Abbildungen	57
Tabellen	59
Literatur	59
Abkürzungen	60

Vorbemerkungen

Der allgemeine Gesundheitszustand des sächsischen Waldes hat sich in diesem Jahr verbessert. Diese erfreuliche Botschaft verbreitet der Waldzustandsbericht des Jahres 2000. Sogar in unserem Hauptschadgebiet, dem Erzgebirge, sind die Fichten wieder „grüner“ geworden. Die Laubbäume hingegen besitzen allerdings nach wie vor ein bedenklich hohes Schadniveau. Damit setzt sich die Schwerpunktverlagerung im Schadgeschehen fort.

Ein wesentlicher Grund, weshalb wir – trotz all unserer Anstrengungen zur Verminderung der Schadstoffbelastung und bei der Sanierung der Wälder – nicht mit einer schnelleren Verbesserung des Waldzustandes rechnen können, liegt in der jahrzehntelangen Einwirkung der Schadstoffeinträge und deren Anreicherung im Waldboden begründet. Durch das „chemische Langzeitgedächtnis“ des Bodens kann sich der Wald davon nur allmählich erholen. Aber auch die aktuellen Säurebelastungen überschreiten immer noch das für das Waldökosystem verträgliche Maß. Weiterhin werden besonders in den höheren Lagen des Erzgebirges die Ozonschwellenwerte für den Schutz der Vegetation häufig überschritten.

Insgesamt sollten wir, und damit möchte ich jede Bürgerin und jeden Bürger Sachsens ansprechen, konsequent auf die Verminderung der Emissionen hinwirken. Geeignete Mittel dafür sind der Einsatz verbesserter Technologien und ein sparsamer Energieverbrauch.

Wir wollen uns im Wald erholen, wünschen uns in ihm eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt und nehmen seine Leistungen für ein gesundes Klima und sauberes Wasser gern in Anspruch. Zur Freude der Waldbesitzer wächst die Nachfrage nach Holz aus unseren Wäldern. Aber nur ein gesunder Wald kann auf Dauer unseren Wünschen gerecht werden. Deshalb wird die Forstwirtschaft in den nächsten Jahren die Waldschadenssanierung, insbesondere die Bodenschutzkalkungen, fortführen. Diese Maßnahmen, für deren Umsetzung erhebliche Mittel in allen Waldbesitzarten eingesetzt wurden, haben sich bewährt.

Das 1992 begonnene Waldumbauprogramm, mit dem die Schaffung von standortgerechten, strukturierten Mischwäldern in Sachsen eingeleitet wurde, ist ein Schwerpunkt in der Arbeit der Landesforstverwaltung. Für die Realisierung dieses anspruchsvollen Programms kommt dem Aufwachsen der Verjüngung der geschädigten Eichen und Buchen eine besondere Bedeutung zu. Wie die diesjährige durchgeführte Verbissschadensinventur zeigt, werden diese Baumarten durch Wild noch zu stark verbissen. Es ist deshalb Aufgabe der Jäger, waldverträgliche Wildbestände verstärkt anzustreben.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass wir auf dem richtigen Weg sind mit unseren Anstrengungen zum Schutz des Waldes. Langfristig werden diese zu einer Gesundung unserer Wälder führen.



Steffen Flath

Grundlagen der Waldzustandserfassung

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts hat das Auftreten von Waldschäden infolge von Schadstoffbelastungen die Erforschung von Ursachen und Zusammenhängen in Sachsen begründet. Mit zunehmender Flächenausdehnung und Intensität erlangte auch die Schaderfassung und -quantifizierung mehr und mehr an Bedeutung. Schon 1965 wurde für die Region „Mitteldeutsches Industriegebiet und Lausitz“ eine großräumige Diagnose der Rauchschäden erstellt. Zu Beginn der 80er-Jahre wurde auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit der Einführung von Monitoring-Programmen begonnen, 1986 in der DDR die Ökologische Waldzustandskontrolle eingeführt.

Da Waldschäden und deren Ursachen ein grenzüberschreitendes Phänomen sind und sich alle Maßnahmen zum Schutz der Wälder nicht an Ländergrenzen orientieren, wurde 1985 ein europaweites Monitoring-Programm ins Leben gerufen. Seine Durchführung obliegt der Europäischen Union (EU) und der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE).

Die Einrichtung eines europaweiten Waldschadensmonitorings geht zurück auf die Ratifizierung des Übereinkommens über weiträumige Luftverunreinigungen (Genfer Luftreinhaltekonvention der UN/ECE von 1979). Damit wurden erstmals die vielfältigen Auswirkungen von Luftverunreinigungen offiziell anerkannt und gleichzeitig ein Exekutivorgan geschaffen, das 1984 das Internationale Kooperationsprogramm zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder (ICP Forests) ins Leben rief. Im Jahre

1986 stimmten die Europäische Kommission und die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) überein, ein europäisches Waldschadensmonitoring einzuführen.

Die Konzeption des Monitorings basiert auf der Feststellung, dass sich Umweltveränderungen auf drei grundlegend unterschiedliche Bereiche auswirken, die sich in

- a) pflanzliche/tierische Lebewesen und Böden,
- b) Biozöosen und Waldökosysteme sowie
- c) Biotope und Landschaftsareale gliedern lassen.

Da zudem nicht nur direkte Reaktionen von Umweltveränderungen, sondern auch langfristige Folgen und Wechselwirkungen im Waldökosystem von Bedeutung sind, ergab sich die Notwendigkeit, innerhalb des Programmes die Untersuchungen und Erhebungen mehrstufig und mit unterschiedlicher Intensität, aber aufeinander abgestimmt, durchzuführen. Die Überlegungen führten letztlich zu einem Untersuchungsprogramm bestehend aus verschiedenen Intensitätsebenen. Damit sollte der Anspruch, ein ausreichend differenziertes und zutreffendes Bild vom Zustand des Waldes und seiner Beziehung zur Umwelt zu gewinnen, erfüllt werden.

Im Hinblick auf die Vielzahl der beteiligten Länder und unterschiedlichster Institutionen wurde als Voraussetzung für die europaweite Vergleichbarkeit der Daten bzw. Ergebnisse eine genaue Festlegung der Methodik vorgenommen.

Dementsprechend sind sämtliche Methoden des Programms

– von der Erhebung genau definierter,

charakteristischer Parameter im Gelände bis hin zur Analyse im Labor – in umfangreichen Manualen festgelegt. Sie werden ständig auf nationaler und internationaler Ebene harmoni-

Level I

siert und weiterentwickelt.

Ein europaweit systematisch eingerichtetes Inventurraster von 16 x 16 km mit teilweise weiterer Verdichtung in den Mitgliedsstaaten, bildet die Grundlage der Datenerfassung. Dieses großflächige Untersuchungsnetz der unteren Intensitätsstufe entspricht dem Level-I-Programm. Es umfasst die jährliche Kronenansprache der **Waldschadenserhebung (WSE)** und die bisher einmalig durchgeführte **Bodenzustandserhebung (BZE)**. Ziel ist die Gewinnung von Erkenntnissen über die räumlichen und zeitlichen Veränderungen des Waldzustandes und dessen Beziehungen zu Stressfaktoren, insbesondere zu Luftschadstoffen. In Sachsen bildet ein Raster von 4 x 4 km (entspricht 285 Probebeständen) die Grundlage für die Untersuchungen im Level-I-Programm (vgl. Abb. 1).

Waldschadenserhebung

An jedem Rasterpunkt, der auf eine Holzbodenfläche mit einer Bestockung von mindestens 60 cm Höhe fällt, werden 24 systematisch ausgewählte Bäume (vgl. Abb. 2) begutachtet.

Dabei sind die Kronenverlichtung und der Anteil vergilbter Nadeln/Blätter wesentliche Parameter, die den äußerlich sichtbaren, aktuellen Gesundheitszustand der Bäume charakterisieren. Aus beiden Schadsymptomen wird entsprechend Tab. 1 eine **kombinierte Schadstufe** ermittelt.

Die Vergilbung nimmt ab einem Anteil von 26 % der vorhandenen Nadel-/Blattmasse Einfluss auf die kombinierte Schadstufe. Kronenverlichtungen von mehr als 25 % (ohne Vergilbung) bzw. darunter mit entsprechendem Vergilbungsanteil werden als „deutliche Schädigungen“ (Schadstufen 2–4) klassifiziert.

Die kombinierte Schadstufe findet vorrangig zur Darstellung der aktuel-

Abb. 1: Lage der Stichprobenpunkte im 4 x 4-km-Raster (Level I) und der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF=Level II) in Sachsen

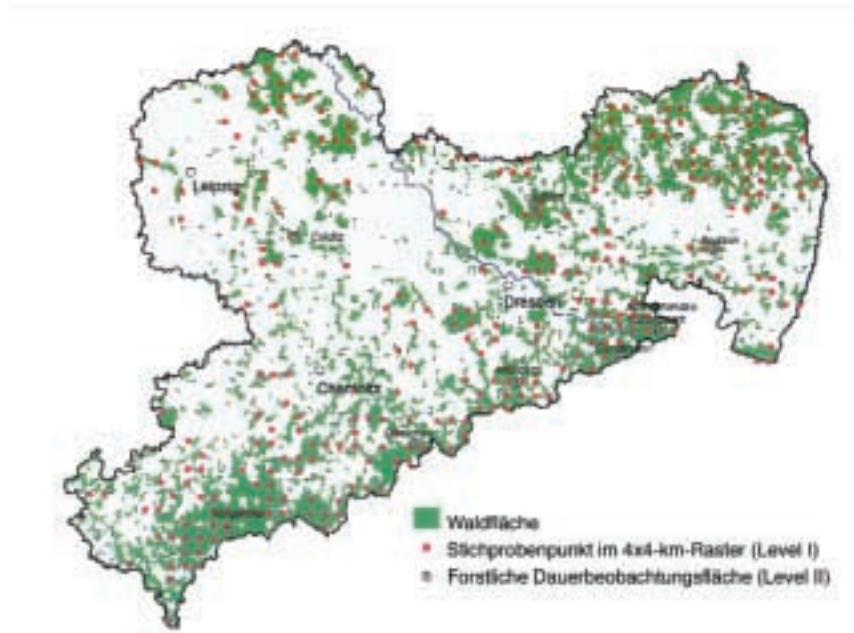
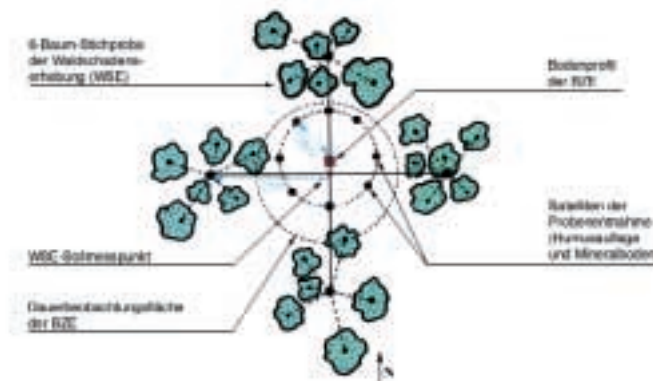


Abb. 2: Schematische Übersicht zur Durchführung der Kronen- und Bodenzustandserhebung



Tab. 1: Herleitung der kombinierten Schadstufe aus Kronenverlichtung (KV) und Vergilbung

Kronenverlichtung [%]	Anteil vergilbter Nadeln/Blätter [%]			
	0–10	11–25	26–60	61–100
0 –10	0	0	1	2
11–25	1	1	2	2
26–60	2	2	3	3
61–99	3	3	3	3
100	4	-	-	-

0 = ohne Schadmerkmale
 1 = schwach geschädigt
 2 = mittelstark geschädigt
 3 = stark geschädigt
 4 = abgestorben

} deutlich geschädigt

len Schadenssituation Verwendung, für Untersuchungen zum Schadensverlauf wird sie durch die **mittlere Kronenverlichtung** ergänzt.

Das Erscheinungsbild eines Einzelbaumes ist stets von einer Vielzahl von Einflussfaktoren geprägt. Einige dieser Faktoren (Blüte/Fruktifikation, biotische Schäden durch Wild, Insekten und Pilze, abiotische Schäden durch Wind, Schnee, Eis und – soweit eindeutig zuzuordnen – Immissionen usw.) werden bei der WSE erfasst, bleiben aber bei der Bildung der kombinierten Schadstufe unberücksichtigt.

Bodenzustandserhebung

An den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Rasters wurde in Sachsen zwischen 1992–97 zusätzlich die Bodenzustandserhebung (BZE) durchgeführt.

Die Entnahme von Boden- und Humusproben für chemische Analysen erfolgte in den Haupthimmelsrichtungen an 8 Satellitenpunkten in 10 m Entfernung vom jeweiligen zentralen Bodenprofil (vgl. Abb. 2), dessen langfristige Markierung für zukünftige

Untersuchungen durch die Versenkung einer elektronischen Unterflurmarke erfolgte. Nadel- und Blattuntersuchungen sind ebenfalls Bestandteil des Programms.

Detaillierte Angaben zur Methodik von Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik sind der Arbeitsanleitung zur BZE (BML 1990 und 1994) und dem sächsischen Bodenzustandsbericht (RABEN et al. 2000) zu entnehmen.

Die wichtigsten chemischen Parameter sind:

- pH-Werte (H₂O bzw. KCl in der organischen Auflage und im Mineralboden)
- C_{org}- und N-Gehalte von Nadel-, Humusauflage- und Mineralbodenproben
- Bestimmung der Gehalte von K, Mg, Ca, Mn, Al, Fe, S, P, Pb, Cu, Zn, Cd in Humus- und Nadelproben
- Effektive Kationenaustauschkapazität von Mineralbodenproben (AKe oder KAK)

Level II

Das Level-II-Programm wurde eingerichtet, um Zustand und Entwicklung typischer Waldökosysteme in Europa unter dem Einfluss von Luftverunreinigungen sowie klimatischen und anderen Stressfaktoren detaillierter zu erforschen.

Aus bereits längerfristig existierenden und neu aufzubauenden Dauerbeobachtungsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings wurde ein europaweites Netz dieser Level-II-Flächen gebildet.

In Sachsen wurde 1993 mit der Einrichtung von Level-II-Flächen begonnen. Mittlerweile existieren 8 **forstliche Dauerbeobachtungsflächen (DBF)**, deren Untersuchungsprogramm dem Level-II-Standard der EU entspricht. In das europaweite Messnetz sind davon 6 Flächen integriert (vgl. Tab. 2).

Das umfangreiche Untersuchungsprogramm gliedert sich in kontinuierliche und periodische Messungen (vgl. Tab. 3).

Tab. 2: Kurzbeschreibung zu den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (Level-II)

Ild. Nr. EU-Nr	Wuchsgebiet	Forstamt	Geologie	Höhe (m)	Bestand	Betrieb seit
2001 041401	Erzgebirge	Klingenthal	Eibenstocker Granit	840	Fichte	07/1993
2002 041402	Erzgebirge	Olbernhau	Grauer Gneis	720	Fichte	10/1994
2003 041403	Elbsandstein- gebirge	Cunnersdorf	Quadersandstein mit Lösslehm	440	Fichte	07/1993
2004 041404	Oberlausitzer Bergland	Neukirch (ehem. Bautzen)	Lausitzer Granodiorit	440	Fichte	07/1995
2005 041405	Düben-Nieder- lausitzer Bergland	Laußnitz	diluvialer Decksand	170	Kiefer	10/1994
2006 041406	Sächs.-Thüring. Löss-Hügelland	Colditz	Lösslehm	185	Eiche	07/1995
2007	Elbsandstein- gebirge	Bad Schandau / Nationalpark Sächs. Schweiz	Basalt und Qua- dersandstein mit Lösslehm	260	Buche	09/1998
2008	Erzgebirge	Altenberg	Rhyolith	750	Fichte	05/2000

Die beiden Messnetze unterschiedlicher Intensität sind methodisch abgestimmt und werden vor dem Hintergrund einer Regionalisierung von Zustandsparametern und Entwicklungsprozessen möglichst integrativ und zeitnah ausgewertet.

Andere Monitoringsysteme, wie z. B. das „Forstschutzmeldewesen“, liefern ergänzende Informationen und helfen, die Ergebnisse der Level-I- und -II-Programme zu interpretieren.

Abb. 3a, b: Freiland- und Bestandesmessfläche der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal, Westliches Erzgebirge



Tab. 3: Messprogramm auf den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen

Kontinuierliche Messreihen	Erfassung/ Probenahme	chemische Analyse
Parameter		
<i>Meteorologie</i> (im Waldbestand und auf der Freifläche) * Globalstrahlung * Luftfeuchtigkeit * Lufttemperatur * Bodentemperatur * Windrichtung * Windgeschwindigkeit * Niederschlagsmenge	stündlich	
<i>Stoffeinträge</i> aus der Atmosphäre (Nasse Deposition im Waldbestand und auf der Freifläche) * Niederschlagsmenge (pH-Wert) * Makroelemente (NO ₃ -N, NH ₄ -N, Org.-N, SO ₄ -S, PO ₄ -P, Cl, Ca, Mg, Na) * Schwermetalle (Pb, Cd, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg)	wöchentlich wöchentlich 14-täglich	monatlich monatlich vierteljährlich
Stoffinhalte des <i>Bodensickerwassers</i> (Waldbestand) und des <i>Quellwassers</i> (falls vorhanden) * Makroelemente (NO ₃ -N, NH ₄ -N, Org.-N, SO ₄ -S, PO ₄ -P, Cl, Ca, Mg, Na; Al, Fe, DOC) * Schwermetalle (Cu, Cd, Pb, Zn, Co, Cs, Ni)	14-täglich 14-täglich	monatlich vierteljährlich
Erfassung des <i>Streufalls</i> * Makroelemente (C _{ges} , N _{ges} , P _{ges} , S, Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, Mn) * Schwermetalle (Cu, Zn, Cd, Pb, Co, Cs, Ni)	monatlich monatlich	monatlich monatlich
Periodische Zustandserhebungen		
<i>Zustand</i> des Waldbestandes * Terrestrische Kronenansprache (Kronenverlichtung, Vergilbung, abiotische und biotische Schäden, Fruktifikation) * Ertragskundliche Parameter (Durchmesser, Höhe, Kronenansatz, Kronenradius)	jährlich 5-jährlich	
<i>Waldernährung</i> * Nadelproben aus der Baumkrone (Parameter wie im Streufall)	2-jährlich	2-jährlich
<i>Vegetationskartierung</i>	jährlich	

Rahmenbedingungen für den Waldzustand

Wälder sind komplexe Systeme aus lebenden und unbelebten Komponenten, die über vielfältige Wachstums- und Zersetzungsprozesse miteinander verflochten sind. Diese Lebensprozesse wiederum stellen zentrale Stoff- und Energieflüsse des Ökosystems dar. Werden sie durch die unterschied-

lichsten Umweltfaktoren beeinflusst, wirken sie sich auf das gesamte Ökosystem aus. Zu den Umweltfaktoren zählen z. B. die Witterung (Niederschläge, Sonneneinstrahlung, Frost etc.), aber auch sämtliche anthropogenen Eingriffe des Menschen, so beispielsweise waldbauliche Maßnah-

men, wie Durchforstungen und Holzernte. In der jüngeren Vergangenheit verursachten insbesondere Fremd- bzw. Schadstoffeinträge unnatürlich hohe direkte und indirekte Belastungen der Ökosysteme und prägten entscheidend die Vitalität und Stabilität der Wälder.

Witterung

Die Ausbildung einer bestimmten Vegetationsform, z. B. des Waldes in einem Landschaftsraum, resultiert aus den dort herrschenden klimatischen und bodenbezogenen (edaphischen) Rahmenbedingungen (Standortsverhältnisse).

Durch die Witterung werden wesentliche Stoff- und Energieumsatzprozesse in der gesamten Vegetation eines Wald-ökosystems beeinflusst. Insbesondere der Verlauf und die Quantität der Stoffproduktion sowie eine adäquate Transpiration hängen in starkem Maße von der Witterungsdynamik ab. Das Ergebnis dieser komplexen Wechselwirkungen zwischen Witterung, Bodeneigenschaften und Waldvegetation hat wesentliche Auswirkungen auf Vitalität, Reservestoffbildung, Wachstum und Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber Umwelteinflüssen. Dabei sind u. a. Temperatur, Niederschlag, standortsabhängige Bodenfeuchte in Wechselwirkung mit der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) in ihrer jahreszeitlichen Dynamik von entscheidender Bedeutung. Sowohl die Luft- und Bodenfeuchtigkeit als auch die Temperatur und die PAR-Strahlung regulieren die Transpiration und damit die Wasser- und Nährstoffaufnahme sowie die mögliche Stoffproduktion. Neben den direk-

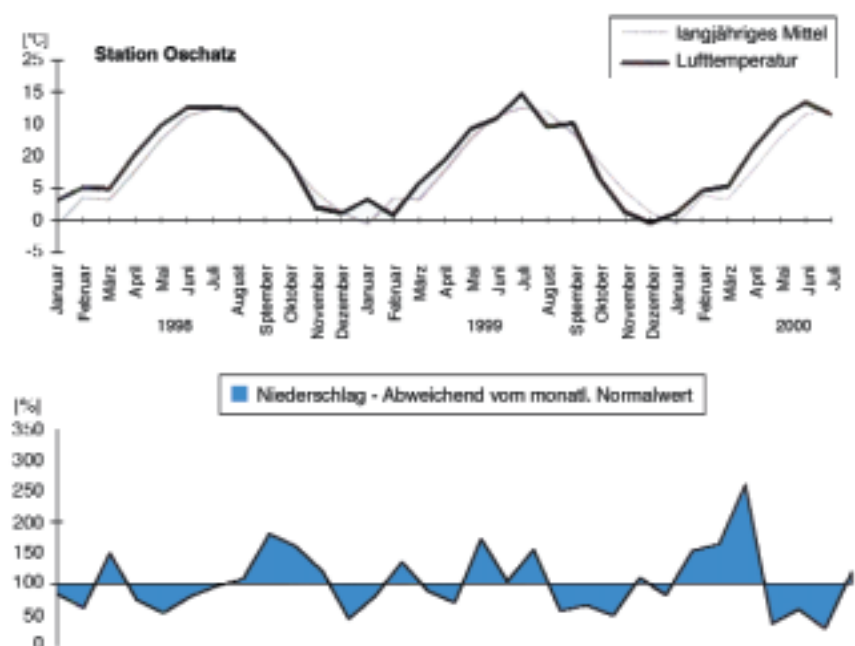
ten Wirkungen dieser Umweltfaktoren, nimmt die Witterung auch indirekt Einfluss auf das Pflanzenwachstum (z. B. Steuerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, Entwicklungsbedingungen für Schadinsekten etc.).

Die in *Abb. 4a-d*. dargestellten Daten der Wetterstationen Oschatz und Marienberg des DWD charakterisieren den Witterungsverlauf der Jahre 1998 bis 2000.

Sie befinden sich in den Wuchsgebieten Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (Oschatz, 150 m NN) und Erzgebirge (Marienberg, 639 m NN) und repräsentieren zwei wichtige Waldregionen Sachsens. Die langjährige Jahresmitteltemperatur beträgt in Oschatz 8,7 °C, die langjährige Niederschlagssumme 575 mm. Für Marienberg sind es 6,2 °C und 896 mm.

Da der Wald auch die Witterung in

Abb. 4a, b: Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdynamik von 1998–2000 mit den langjährigen Mittelwerten an der DWD-Station Oschatz (jeweils Monatsmittelwerte, Quelle: Deutscher Wetterdienst–Radebeul)



seiner Umgebung beeinflusst, sich in seinem Inneren ein eigenes Klima ausbildet und sich die Witterung auf Waldökosysteme spezifisch auswirkt (beispielsweise Bodenfeuchte), werden die langjährigen Wetterdaten des DWD durch ein Messnetz von Waldklimastationen ergänzt, die von der LAF betrieben werden.

Zwei der Waldklimastationen befinden sich unweit der meteorologischen DWD-Messtellen im Forstamt Taura (vergleichbar mit Oschatz) und im Forstamt Olbernhau (vergleichbar mit Marienberg). Zur besseren räumlichen Differenzierung werden weiterhin Daten aus den Waldklimastationen Klingenthal (Westerzgebirge) und Weißwasser (Lausitz) herangezogen.

Der Winter 1999/00 war vor allem im Januar und Februar mit **Temperaturen** von ca. 1–3 °C über dem langjährigen Mittel wiederum deutlich zu warm und auch überdurchschnittlich reich an **Niederschlag**. Im Zeitraum März bis Mitte April herrschte eine hinsichtlich der Lufttemperatur ausgeglichene und überaus niederschlagsreiche Witterungsperiode vor, die zeitweise bis zu 300 % der langjährigen Monatsniederschlagsmengen erbrachte. Im gesamten Winter 1999/00 wurden keine nennenswerten Bodenfrostperioden registriert. Ab Mitte April setzte eine sehr warme und trockene Witterungsperiode ein, die bis Ende Juni anhielt. Spätfröste, die in vergangenen Jahren Schäden an Waldverjüngungen verursachten, blieben 2000 fast vollständig aus. Von Ende April bis Anfang August herrschte kühle Witterung vor, die jedoch keine, das Defizit nachhaltig auffüllenden Niederschläge brachte. Jahreszeitlich sehr früh – in Tieflandsbereichen schon in der 2. Aprilhälfte und im Mittelgebirgsraum Mitte Mai – kam es zu ersten Sommertagen (Maximum der Lufttemperatur über 25 °C). Im August entwickelte sich eine wärmere Witterungsperiode ebenfalls ohne flächen-

Abb. 4c, d: Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdynamik von 1998–2000 mit den langjährigen Mittelwerten an der DWD-Station Marienberg (jeweils Monatsmittelwerte, Quelle: Deutscher Wetterdienst–Radebeul)

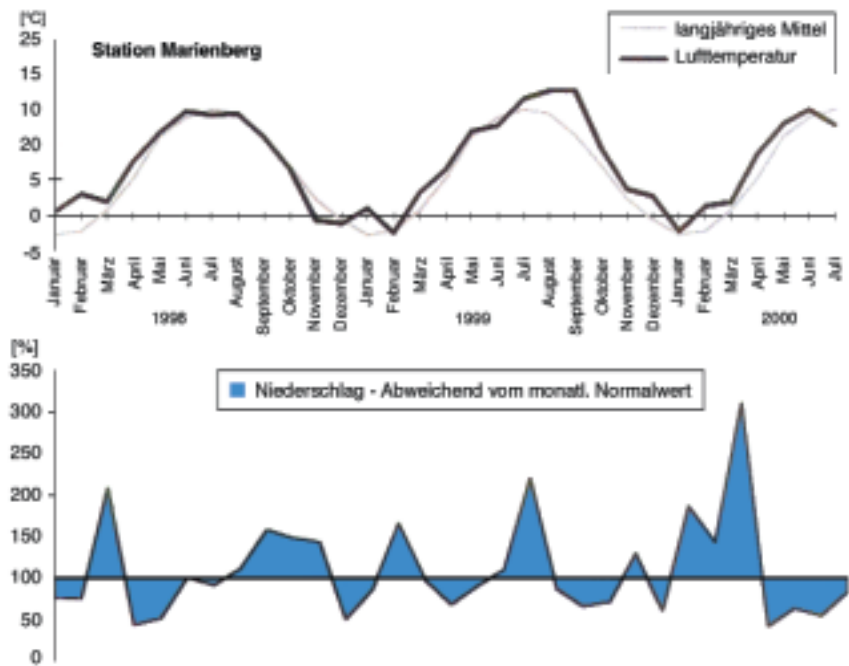
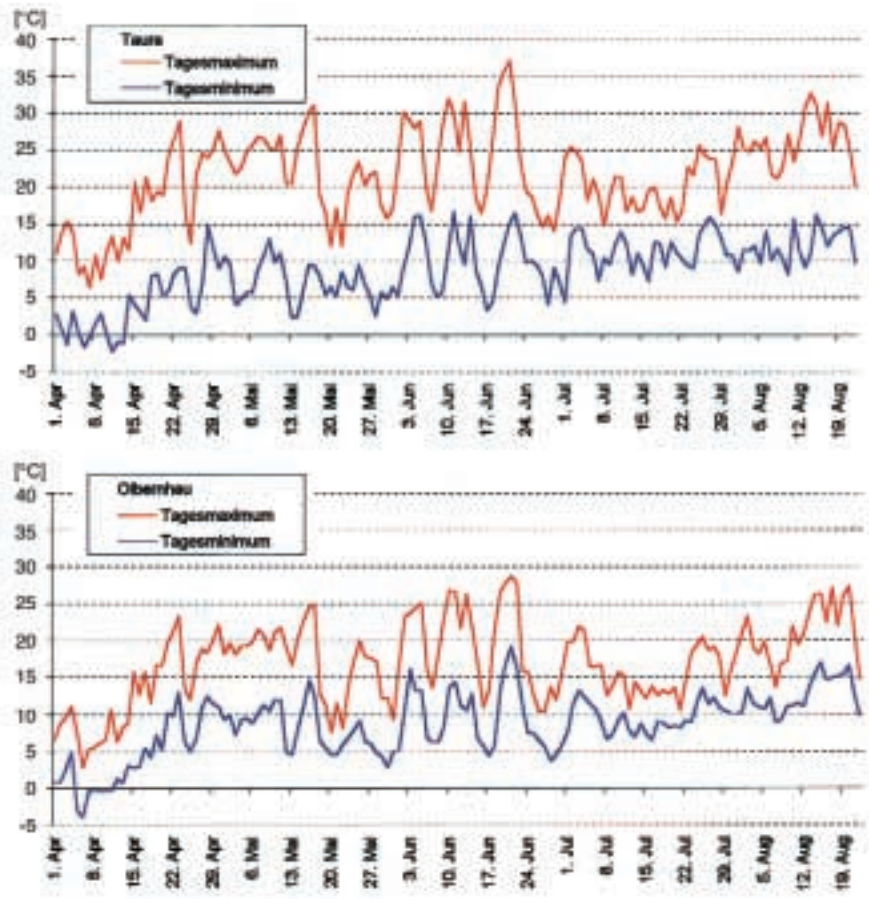


Abb. 5a, b (von oben nach unten): Tagesextreme der Lufttemperatur von April bis August 2000 an den Waldklimastationen Taura und Olbernhau



deckend nachhaltige Niederschläge.

Die Abb. 5a, b zeigen die Lufttemperaturdynamik an den Waldklimastationen im Zeitraum April bis August 2000

für einen Mittelgebirgs- (Olbernhau) und einen Tieflandstandort (Taura).

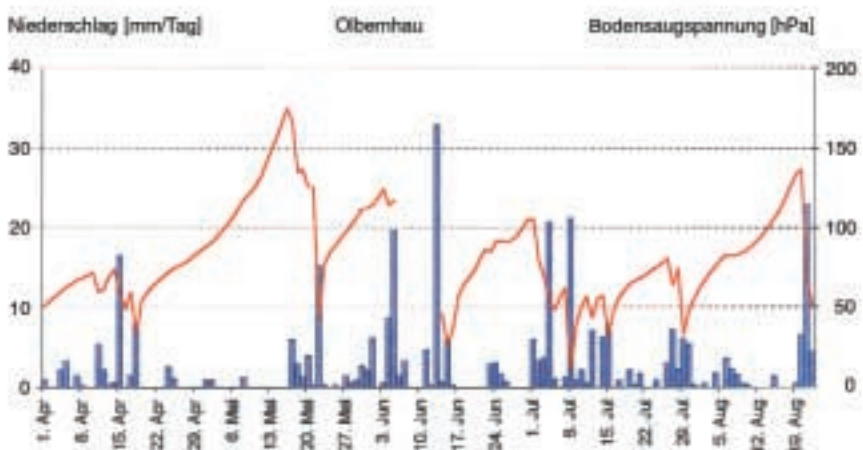
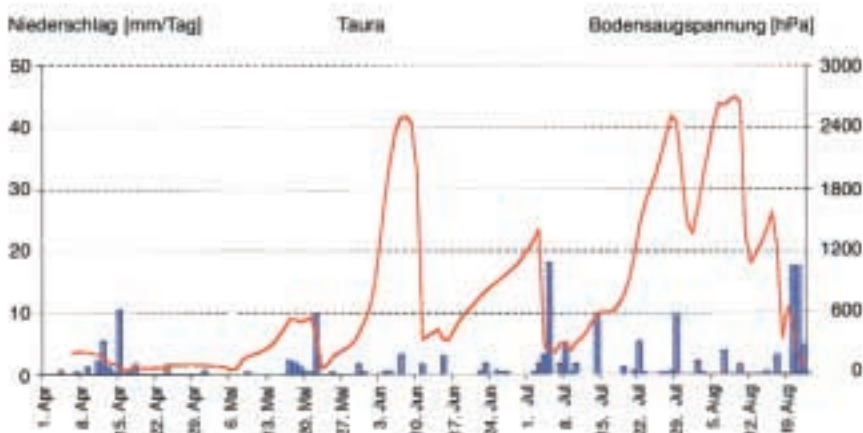
Die **Bodenfeuchte**verhältnisse in den sächsischen Wäldern werden anhand

der Daten für die Bodensaugspannung in 30 cm Tiefe an typischen Waldklimastationen dargestellt. Die Saugspannung gibt an, wie fest das Bodenwasser im Boden gebunden ist. Bei Bodensaugspannungen oberhalb etwa 400–500 hPa kommt es, je nach Bodensubstrat und Witterungsbedingungen, zu Wasserstress für die Bäume, da Bodenwasser nicht schnell genug pflanzenverfügbar ist. Dieser Stress verschärft sich mit steigenden Saugspannungswerten. Wegen der periodisch auftretenden Bodenaustrocknung auf den Tieflands-Sandstandorten wurden neben klassischen Tensiometern (deren Messbereich physikalisch bedingt begrenzt ist) erstmals auch sogenannte Equi-Tensiometer eingesetzt. Diese können Saugspannungen bis in den Bereich des permanenten Welkepunktes von Pflanzen (15 000 hPa) registrieren. In ausgeprägten Trockenperioden erreichen die Saugspannungen der Sandböden im sächsischen Tieflandsbereich durchaus Saugspannungen bis 10 000 hPa.

Abb.6 : Waldklimastation der Sächsischen Landesanstalt für Forsten



Abb. 7 a, b (von oben nach unten): Bodenfeuchtedynamiken und Niederschläge im Zeitraum April bis August 2000 für den Tieflands-Sandstandort Taura (Nordwestsachsen) und den Mittelgebirgsstandort Olbernhau (mittleres Erzgebirge)



Die Abb. 7a, b zeigen den Verlauf der Bodensaugspannungen von April bis August 2000 für einen Sandstandort des Tieflandes (Taura – Nordwestsachsen) und einen Mittelgebirgsstandort (Olbernhau – mittleres Erzgebirge). Zur besseren regionalen Untersetzung der Bodenfeuchtedynamiken in sächsischen Wäldern werden in den Abb. 8 und 9 zwei weitere Standorte (Lausitz/Westerzgebirge) hinzugezogen.

Bedingt durch reichliche Niederschläge im März bis Mitte April begann die Vegetationsperiode 2000 in allen Wuchsgebieten mit einem gefüllten Bodenwasservorrat. Ab Mitte April kam es in allen Wuchsgebieten, vom Tiefland bis ins Mittelgebirge zu erheblichen Niederschlags- und folglich Bodenwasserdefiziten. In Nordwestsachsen setzte schon Mitte Mai, in der Lausitz zunächst etwas abgeschwächt

und zeitversetzt, eine Periode von teilweise extremem Wasserstress für die Vegetation ein, die bis Mitte August anhielt. Jeweils im Mai, Juni und Juli verschärfte sich die Situation auf den Sandstandorten des Tieflands derart, dass dort die Wasserversorgung als außergewöhnlich kritisch zu bezeichnen war. Die kurzzeitigen Niederschläge während der Vegetationsperiode konnten den sich immer weiter aufbauenden Bodenwasserstress nicht verhindern. Es kam zu Trockenstress- und Absterbeerscheinungen an Bäumen, insbesondere an Verjüngungen.

Die Hügellands- und Mittelgebirgsstandorte sind durch die besseren Bodensubstrate und höheren Niederschlagsmengen von diesem extremen Wasserstress für die Vegetation weitestgehend verschont geblieben.

In allen Wuchsgebieten und über sämtliche Standortbereiche führten die bis August aufgelaufenen Niederschlagsdefizite zu einer Austrocknung des Unterbodens (bis ca. 1 m Tiefe) und zu deutlich vermindertem Abfluss bzw. Grundwasserneubildungsraten. Durch die jahreszeitlich bedingte geringere Transpirationsaktivität der Vegetationsdecke und einige Niederschlagsereignisse in der 2. Augusthälfte verminderte sich allerdings ab Ende August der Bodenwasserstress für die Bäume. Diese Niederschläge reichten jedoch noch nicht aus, um die Bodenwasservorräte aufzufüllen und damit den Bodenwasserstress für die Bäume nachhaltig zu beenden (Stand: Ende August/Anfang September, Redaktionsschluss des Berichtes).

Vor allem der jahreszeitlich früh einsetzende Wasserstress im Jahre 2000 ist hinsichtlich seiner Auswirkungen auf Vitalität und Wachstum von Bäumen kritisch zu beurteilen. Zu Beginn der Vegetationsperiode reagieren Pflanzen besonders empfindlich auf erheblichen Wassermangel. Die

Abb. 8: Jahresverlauf 2000 der Bodenfeuchtedynamiken für typische Standorte Sachsens.

Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge)
Tiefland (Sand): Taura (Nordwestsachsen)/Weißwasser (Lausitz)

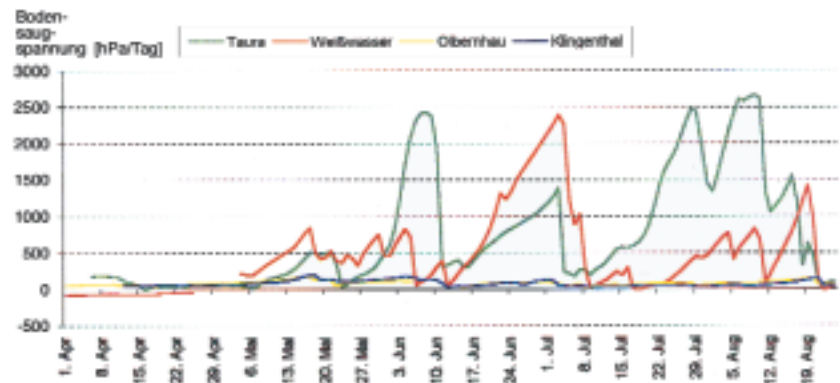
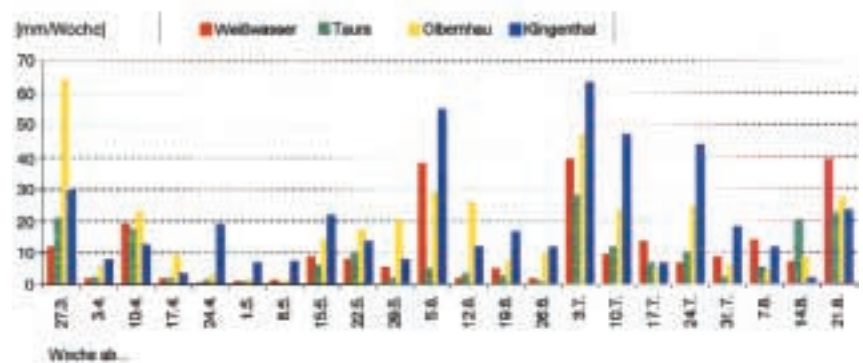


Abb. 9: Wochensummen der Niederschläge 2000 für typische Standorte Sachsens

Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge)
Tiefland (Sand): Taura (Nordwestsachsen)/Weißwasser (Lausitz)



notwendigen Prozesse der Bildung von Reservestoffen und Knospenanlagen für das kommende Frühjahr wurden vermutlich durch den frühen Wassermangel erheblich gestört und in der Folge sind nachhaltige Schäden für die Vitalität und das Wachstum im kommenden Jahr zu befürchten.

Als Vergleich zum Verlauf der Bodenfeuchtedynamiken sollen die Wochensummen der Niederschläge für die Vegetationsperiode 2000 dargestellt werden (vgl. Abb. 9).

Diese zeigen sehr gut die Unterschiede zwischen den Regionen und – im Vergleich mit den Grafiken der Bodenfeuchtedynamiken – die Auswir-

kungen der Niederschlagsverhältnisse auf die Bodenfeuchte.

Insgesamt zeichnete sich die Vegetationsperiode des Jahres 2000 durch ein strahlungsreiches, warmes und sehr trockenes Frühjahr aus. Spätfrostschäden an der Vegetation traten kaum auf. Die Bodenwasserverhältnisse müssen für den Zeitraum von Mai bis August 2000 als sehr angespannt bezeichnet werden. Auf den Sandstandorten des Tieflandes kam es zu teilweise extremem Trockenstress. Insbesondere der jahreszeitlich früh einsetzende Wasserstress hat zu nachhaltigen Beeinträchtigungen von Vitalität und Wachstum der Wälder geführt. Bedingt durch die kontinuierlichen Prozesse von Um-

weltanpassung, Wachstum und Vitalitätsentwicklung von Bäumen sind negative Auswirkungen für die Vegetationsperiode 2001 anzunehmen. Auf den Mittelgebirgsstandorten, die Böden höherer Wasserspeicherkapa-

zität aufweisen (beispielsweise Löss-Substrate), waren die Wälder über die gesamte Vegetationsperiode keinen extremen Wassermangelsituationen ausgesetzt. Über alle Standorte kam es jedoch bis Ende August zu einer

erheblichen Absenkung der Bodenwasservorräte und daraus resultierenden minimalen Abfluss- bzw. Grundwassereubildungsraten.

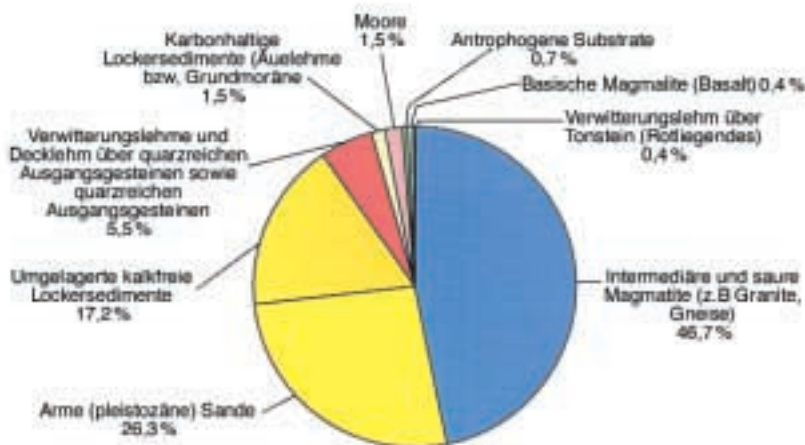
Bodensubstrate

Insbesondere im Hinblick auf die langfristig verfügbaren Nährstoffe sowie die Pufferkapazität der Waldböden zählen in Sachsen, bedingt durch die insgesamt relativ erdalkaliarmen geologischen Substrate, nur die Gruppe der basischen Magmatite (z. B. Basaltverwitterungslehme im Zittauer Gebirge),

die der karbonathaltigen Lockersedimente (z. B. Auenlehme) und die der umgelagerten, kalkfreien Lockersedimente (z. B. entkalkte Löss des Hügellandes, Geschiebelehme) zu den besseren Standorten. Diese Standorte umfassen jedoch nur etwa 19 % der BZE-Rasterpunkte (vgl. Abb. 10).

Etwa die Hälfte der Profile (47 %) gehören der Gruppe der so genannten intermediären und sauren Magmatite oder Metamorphite an, zu denen in Sachsen vor allem die Gneise und Granite im Erzgebirgsbereich zählen. Mehr als ein Viertel der Standorte (26,3 %) ist der Gruppe der armen pleistozänen Sande zuzuordnen. Zu den ärmeren Standorten zählen auch die Böden auf dem quarzreichen, oftmals lössüberlagerten Quadersandstein (5,5 %) im Gebiet der Sächsischen Schweiz. In Sachsen dominieren – verglichen z. B mit Süddeutschland – arme Waldstandorte, deren Widerstandskraft gegenüber langfristigen Säurebelastungen nur gering ist. Dadurch konnten sich chemische und biologische Bodenveränderungen auf der Mehrzahl der Standorte vergleichsweise rasch und intensiv ausprägen.

Abb. 10: Anteile der Substratgruppen bei der Bodenzustandserhebung (BZE; n = 278)



Immissionen

Schwefeldioxid (SO₂), Schwefel, Schwefelsäure

Schwefeldioxid entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wie z. B. Braunkohle und Öl in großen Kraftwerken und Industriefeuerungen durch Oxidation des darin enthaltenen Schwefels. Da der Bedarf an Wärme und Elektroenergie während der winterlichen Heizperiode signifikant ansteigt, zei-

gen die SO₂-Immissionen eine deutliche jahreszeitliche Dynamik mit erhöhten Konzentrationen im Winter, in dessen Verlauf es in Verbindung mit speziellen meteorologischen Bedingungen zum charakteristischen „Wintersmog“ kommen kann.

Bei Pflanzenaufnahme wirkt es als Stoffwechselgift und verursacht Beeinträchtigungen der Fotosynthese und anderer physiologischer Prozesse inklusive Funktionsstörungen des Spalt-

öffnungsapparates der Blattorgane. Diese können letztlich zu Nadel-/Blattschäden führen.

Bereits bei geringen Konzentrationen und Aufnahmezeiten durch das Blatt können Störungen des Wasser- und Nährstoffhaushaltes auftreten und auch die Frosthärte der Blattorgane und das Feinwurzelwachstum nachteilig beeinflusst werden.

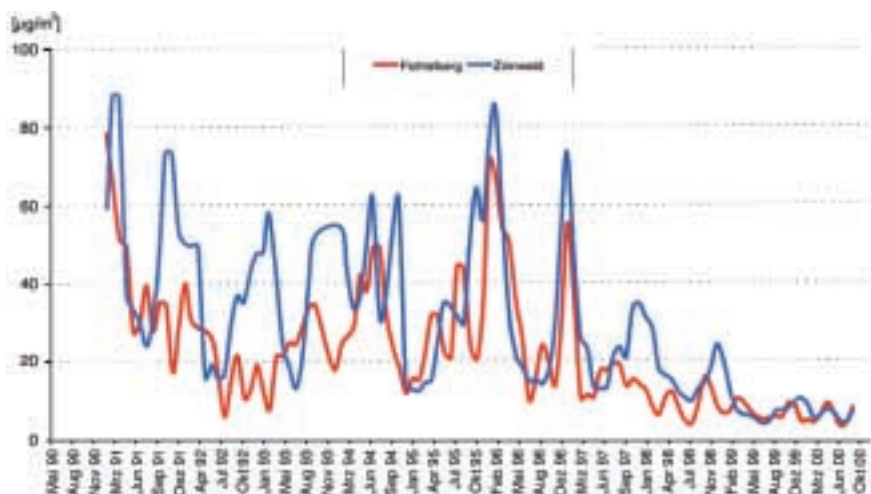
Mit dem politischen Systemwechsel in

den Jahren 1989/1990 und dem damit verbundenen enormen wirtschaftlichen Strukturwandel – besonders aber auch als Ergebnis verstärkter grenzübergreifender Anstrengungen der letzten Jahre zur Reduktion der Emissionen – verbesserte sich die Luftqualität deutlich. Die Anzahl der Großfeuerungsanlagen reduzierte sich in Sachsen von 88 im Jahr 1989 auf 24 im Jahr 1999. Mit dem Neubau moderner und hocheffizienter Kraftwerke in Boxberg und Lippendorf erfolgte in Sachsen die Verstromung der Braunkohle umweltfreundlicher. Die Energieträgerumstellung von Feuerungsanlagen in Industrie, Gewerbe und Hausbrand in Sachsen auf umweltfreundlichere Brennstoffe leistete einen wesentlichen Beitrag zur flächenhaften Reduzierung der Emissionen. Nach Abschluss des Kraftwerksanierungsprogramms in der Tschechischen Republik 1998 konnte eine deutliche Reduzierung der Schwefeldioxidimmission im sächsischen Erzgebirge registriert werden. Entsprechend gingen die SO_2 -Konzentrationen der Luft zurück (vgl. Abb. 11). Während in Sachsen noch in den 80er-Jahren häufig SO_2 -Jahresmittelkonzentrationen im Bereich von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen wurden, konnte 1998 erstmalig der von der UN/ECE zum Schutz empfindlicher Ökosysteme festgelegte kritische Konzentrationswert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ großflächig unterschritten werden.

Stick(stoff)oxide, Nitrat, Ammonium, Salpetersäure

Durch den drastischen Rückgang der NO_x -Emissionen bei Großfeuerungsanlagen (von 1990–1998 um ca 75 %, LFUG 1998) sind die heutigen Hauptquellen für die Bildung der lufthygienisch wichtigen Stickoxide ($NO_x = NO$ und NO_2) die Hochtemperaturverbrennungsvorgänge der Motoren aus dem Straßenverkehr. Trotz Katalysatortechnik und strenger

Abb.11: Entwicklung der Monatsmittelwerte der SO_2 -Konzentration an den Messstationen Fichtelberg und Zinnwald im sächsischen Erzgebirge (Datenquelle: LfUG)



Abgasvorschriften sind aufgrund des Anstieges der Zahl der Fahrzeuge und der spezifischen Fahrleistungen die Stickoxidkonzentrationen weiterhin hoch (LfUG 1999). Gegenüber Stickstoffmonoxid (NO), das in der Atmosphäre aus NO_2 bei der Ozonbildung ständig neu gebildet wird, (NO_2 -Photolyse), besitzt Stickstoffdioxid (NO_2) ansonsten eine wesentlich höhere Lebensdauer. NO_2 ist im Hinblick auf eine Belastung der Waldökosysteme besonders relevant. Einerseits stellt es die wichtigste Vorläufersubstanz für die Bildung von Ozon in den bodennahen Luftschichten dar und hat somit Bedeutung hinsichtlich der jährlich ansteigenden Ozonbelastung. Andererseits ist es Ausgangskomponente für die Bildung von Nitrat (NO_3), das seinerseits zusammen mit Ammoniak (NH_3) eine Hauptquelle für den Stickstoffeintrag in unsere Wälder bildet. Die Wirkung von Nitrat im Waldökosystem ist dabei durchaus zwiespältig zu betrachten: Nitrat ist ein Nährstoff, der in stickstoffbelasteten Ökosystemen zu ungünstigen Elementrelationen bei der Pflanzenernährung führt und gleichzeitig einen erheblichen Säureeintrag bzw. eine Säurebelastung für die Waldbestände und die Waldböden darstellen kann. Das durch ein übermäßiges Nitratangebot angeregte

Pflanzenwachstum hat einen erhöhten Bedarf an anderen Nährelementen, wie z. B. Magnesium und Kalzium, zur Folge, die jedoch auf vielen Standorten nicht ausreichend zur Verfügung stehen. Eine ähnliche Problematik resultiert aus der erheblichen NO_2 -Aufnahme durch die Blattorgane, die wie eine „Blattdüngung“ wirkt. Die zweite Hauptquelle für atmosphärische Stickstoffeinträge in die Waldökosysteme stellen Ammoniumverbindungen (NH_4) dar, die in der Luft relativ rasch aus Ammoniakemissionen gebildet werden. Emissionsbilanzen zufolge kommen Letztere zu großen Teilen aus der Landwirtschaft, wo sie in Verbindung mit dem Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel und der Intensivtierhaltung mit Gülleausbringung freigesetzt werden.

Daneben ist die Entwicklung des Straßenverkehrs als weitere Quelle mit Aufmerksamkeit zu verfolgen. Nur etwa 10 % der Ammoniak-Emissionen entstammen heute natürlichen Quellen. Neben Nitrat ist Ammonium die zweite Stickstoffvariante, die von Pflanzen aufgenommen wird. Auch NH_4 wirkt auf die Pflanzen wachstumsfördernd. Da auch bei der Ammoniumaufnahme aus Nebel oder Regen die Nährelemente Kalium, Magnesium

und Kalzium aus den Blättern/Nadeln ausgewaschen werden, führt dies unter Umständen ebenfalls zu empfindlichen Ungleichgewichten bei der Nährstoffversorgung. Nährstoffungleichgewichte wiederum erhöhen direkt oder indirekt (z. B. durch Veränderung der Nahrungsqualität für nadel- und blattfressende Insekten) die Anfälligkeit der Bäume gegen andere Stressfaktoren. In Fichtenbeständen wird Ammonium gegenüber Nitrat bei der Stickstoffernährung bevorzugt. Der verbleibende Teil des Ammoniums wird meist gänzlich in Nitrat umgewandelt und verlässt das Ökosystem mit dem Sickerwasser. Damit liegt in zweifacher Hinsicht ein ökosystemarer Versauerungseffekt vor: Die Wurzelaufnahme von NH_4 induziert eine äquivalente Protonen- also Säureabgabe an den Boden. Demgegenüber bewirkt die Versickerung ungenutzter Nitrat-Anionen einen äquivalenten Austrag von Nährstoffkationen (z. B. Ca und Mg) und induziert auf diese Weise eine Abnahme von Säureneutralisierungskapazität bzw. eine Zunahme der Bodenversauerung. Diese bodeninternen Säurebelastungen können z. T. bedeutsamer sein als der direkte Säureeintrag über die Deposition. In sauren Böden besteht in Gegenwart von Ammonium außerdem eine nur eingeschränkte Fähigkeit der Wurzelzellen zur Aufnahme anderer Nährelemente, wodurch Nährstoffungleichgewichte bzw. latente Nährstoffmängel verstärkt werden können. Vor allem in trockenen Regionen kann zudem eine von dem reichen Stickstoffangebot profitierende Bodenvegetation eine ernsthafte Konkurrenz bei der Wasserversorgung der Waldbestände darstellen.

Wie Schwefeldioxid sind auch die Stickstoffoxide Säurebildner, die durch Luftfeuchtigkeit zu Salpetersäure umgewandelt werden. Deren jeweilige Säurewirksamkeit hängt jedoch stark von der Art des Eintrages entweder als nasse und feuchte Deposition

mit dem Regen- oder Nebelniederschlag oder als trockene bzw. gasförmige Deposition im Kronenbereich ab. Zusammenfassend ist hinsichtlich der Stickstoffeinträge festzustellen, dass sie nicht nur als Nährstoff, sondern auch als Schadstoff wirksam werden und den Nährstoffhaushalt der Wälder auf vielfältige Weise beeinflussen oder sogar aus dem Gleichgewicht bringen können. Hinzu kommen langfristige Auswirkungen für das gesamte Ökosystem bis hin zur Abgabe klimawirksamer Spurengase, wie Lachgas, an die Atmosphäre.

Ozon (O_3)

Ozon ist ein sekundärer Luftschadstoff, der erst in der Atmosphäre bei starker Sonneneinstrahlung unter Einfluss der UV-Strahlung fotochemisch aus Stickoxiden und Sauerstoff entsteht. Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC) beschleunigen diesen Prozess. Die Ausgangskomponenten entstammen neben der Industrie vor allem den Hochtemperaturverbrennungen aus Kraftfahrzeug- und Flugverkehr sowie dem Einsatz von Lösungsmitteln. Im Gegensatz zu Stickstoff wirkt Ozon auf Pflanzen ausschließlich als Schadstoff. Besonders in den bewaldeten Mittelgebirgsregionen können die aus den besiedelten Gebieten über größere Entfernungen angeströmten stickoxidhaltigen Abgase unter dem Einfluss der dort intensiveren UV-Strahlung sehr effektiv zu Ozon umgesetzt werden. Demgegenüber ist die Rückreaktion des Ozons in diesen Hochlagen gegenüber den Ballungszentren der tiefer gelegenen Zonen verhältnismäßig schwach. Aufgrund des hohen Schädigungspotenzials und eines vielfach kontinuierlichen Anstiegs der durchschnittlichen Konzentrationen wird dem Ozon in den letzten Jahren mehr Beachtung geschenkt. Ozon ist z. B. ein wesentlicher Bestandteil des so genannten „Sommersmogs“.

Bei Pflanzen greift Ozon aufgrund seiner oxidativen Wirkung die Struktur des Zellgewebes an. Bereits geringe Ozon-Konzentrationen von $40\text{--}50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft können beim ersten Kontakt mit pflanzlichem Gewebe schädigende Wirkungen hervorrufen. Ozon gelangt über die Spaltöffnungen in die Blätter und bewirkt in den Pflanzen einen geänderten Stoffwechselstatus und es treten Blattnekrosen und Verfärbungen auf. Die induzierten Wachstumshemmungen und sichtbaren Symptome werden in der Regel aber nicht direkt durch Ozon verursacht, sondern treten in Verbindung mit einem zweiten Stressor (z. B. Pathogene wie Rotfäulepilze oder Witterungsextreme) auf. In den relativ wenigen Untersuchungen an Waldbäumen zeigte sich, dass Buche und Eiche empfindlicher gegenüber Ozon reagieren als Nadelbäume. Auffällig ist der an Kiefer und Fichte festgestellte „Memory-Effekt“, wonach es nach einer Ozonbelastung erst mit einjähriger Verzögerung zu sichtbaren Symptomen und zu einem Einbruch der Photosyntheseleistung der Bäume kommt.

Grenzwerte hinsichtlich einer Ozonschädigung existieren in Verbindung mit dem Critical-Level-Konzept, das sich auf die Dosis – also die kumulative Wirkung einer Schadstoffkonzentration über die Zeit – bezieht, und somit nicht nur die Konzentration berücksichtigt. Als aktueller Index gilt der AOT40-Wert. Er basiert auf der Addition der Stundenmittelwerte von Ozon unter Abzug von jeweils 40 ppb (= $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Verlauf des Sommerhalbjahres. Dabei geht man davon aus, dass die Pflanze das Ozon bis zu 40 ppb entgiften kann und erst längerfristige Konzentrationen über $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu Schadreaktionen führen. Als Schwellenwert für Waldökosysteme wird ein akkumulierter Summenwert von $10\ 000\ \text{ppb} \times \text{h}$ angenommen, der nach den Daten des Lan-

desamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) in den Mittelgebirgslagen des Erzgebirges regelmäßig erheblich überschritten wird.

Schwermetalle, Stäube

Infolge eines seit dem Mittelalter intensiven Bergbaus und einer entsprechend starken Hüttenindustrie hat speziell in Sachsen über Jahrhunderte eine umfangreiche Sedimentation von schwermetallhaltigen Stäuben stattgefunden, die lokal teilweise zu enormen Schadstoffanreicherungen in den Waldökosystemen führten.

Waldökosysteme besitzen aufgrund ihrer hohen Oberflächenrauigkeit eine bedeutende Filterfunktion für Stäube. Folglich werden die in unterschiedlichem Umfang geogen bedingten Schwermetallgehalte der Böden durch die atmosphärischen Schwermetalleinträge erheblich gesteigert. Auch die in der Vergangenheit fast ausschließlich mit Braunkohle betriebenen Kraftwerke haben erheblich

zum Schwermetalleintrag beigetragen. Leichter flüchtige Spurenelemente wie Blei und Cadmium werden über lange Strecken transportiert und gehen in den Gebieten mit hohen Niederschlägen, insbesondere in den höheren Lagen der Mittelgebirge, nieder. Trotz Modernisierung und teilweiser Schließung von Hüttenanlagen sind nach Feststellung des Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG 1999) auch heute noch erhöhte Spurenelementgehalte im Schwebstaub feststellbar.

Ein Gefährdungspotenzial durch akkumulierte Schwermetalle in den Waldböden besteht hauptsächlich für die Bodenorganismen und die Pflanzenwurzeln. Besonders für die Zersetzerorganismen können über die einfache Säurebelastung hinaus zusätzliche toxische Wirkungen auftreten, wodurch z. B. Streuabbauprozesse verzögert und Nährstoffmangelsituationen möglich werden. Auch Feinwurzelschäden sind bei hohen Schwermetallgehalten in der Bodenlösung nicht

auszuschließen. Damit wächst in Abhängigkeit von der standörtlichen Gesamtsituation mit zunehmender Belastung und Versauerung der Oberböden auch die Gefahr eines Übertritts von Schwermetallen in das Oberflächen- bzw. Grundwasser.

Eine Besonderheit stellen die umfangreichen Einträge von basisch wirkenden Feinstäuben in Verbindung mit den Emissionen der Brikett- und Kohlefabriken bzw. der Kohlekraftwerke dar. Sie haben in der Vergangenheit in der weiteren Umgebung der Emittenten – besonders im pleistozänen Flachland – zu einer teilweise deutlichen Aufbasung der Böden geführt und einen ausgeprägten Versauerungsprozess vielfach verhindert, sind aber seit 1990 stark rückläufig.

Stoffeinträge und -austräge

Im Rahmen der forstlichen Umweltkontrolle werden auf mittlerweile 8 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II der EU) kontinuierliche Analysen der Stoffeinträge mit dem Niederschlag (Depositionen) und zur chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung bzw. des Bodensickerwassers durchgeführt.

Entsprechend der in den letzten Jahren deutlich rückläufigen Schwefeldioxidkonzentrationen der Luft hat auch der Eintrag an Sulfatschwefel in die Waldökosysteme bzw. die Waldböden, speziell in den vorher hoch belasteten Regionen des Erzgebirges, teilweise drastisch abgenommen (vgl. Abb. 12). Während in den 80er-Jahren vielfach Schwefel-Einträge von jährlich mehr

als 150 kg pro Hektar in den Fichtenwäldern des Erzgebirges gemessen wurden, lagen die S-Einträge auf sämtlichen Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen im Jahr 1999 bei etwa 20 kg/ha und darunter. Die S-Einträge sind damit mittlerweile ähnlich hoch wie in vergleichbaren Regionen der alten Bundesländer. Hauptsächlich aufgrund dieser Entwicklung ist auch ein Trend ansteigender pH-Werte, also geringerer Säurekonzentrationen, in den Niederschlägen feststellbar und auch die Säureeinträge haben sich auf den vorher hoch belasteten Flächen drastisch vermindert. Die auf der Grundlage der Stoffeinträge des Jahres 1997 ermittelten kritischen Belastungsraten (Critical Loads) für den Eintrag der Säurebildner Schwefel und

Stickstoff zeigen jedoch, dass vor dem Hintergrund nur geringer Pufferraten der überwiegend stark versauerten Waldböden Sachsens langfristig tolerierbare Säurebelastungsraten der Standorte teilweise um ein Mehrfaches überschritten werden. An der Mehrzahl der Standorte treiben demnach die Luftschadstoffeinträge die Bodenversauerung weiter voran. Auf Flächen, auf denen keine Gegenmaßnahmen (z. B. Bodenschutzkalkung) erfolgen, schreitet der Prozess der Verarmung der Böden an wesentlichen Nährstoffen voran und es besteht weiterhin die Gefahr der Freisetzung von toxischen Metallkationen wie Aluminium. Im Vergleich zu den gesunkenen Schwefeleinträgen ist beim Nitratstickstoff und beim Ammoniumstick-

Abb. 12: Jährliche Schwefel- (SO_4-S) und Stickstoff- ($N_{ges} = NO_3-N + NH_4-N$) Einträge in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (NAS = Nationalpark Sächsische Schweiz)

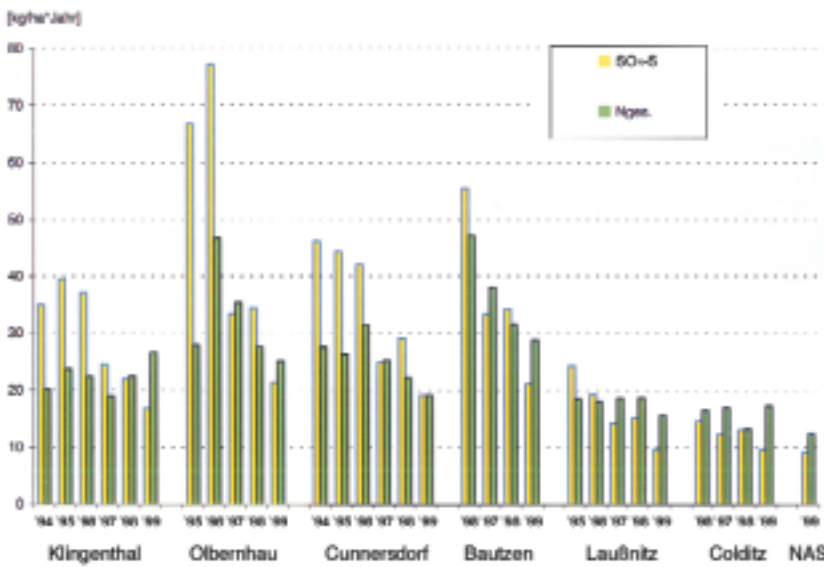
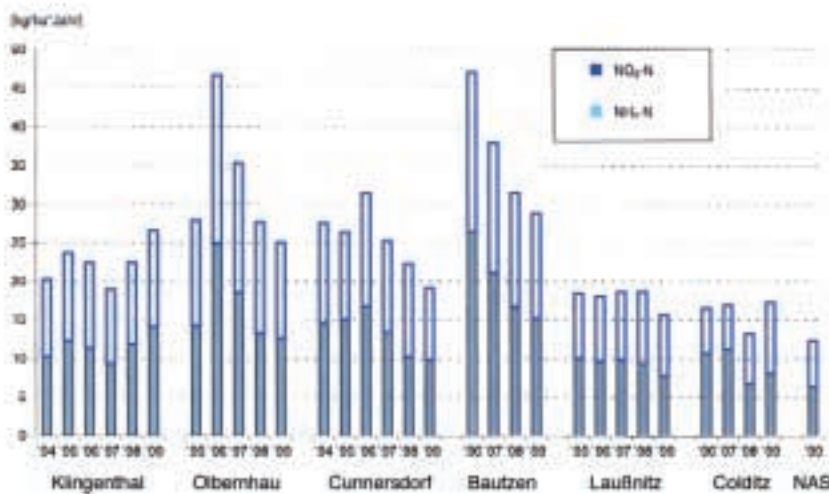


Abb. 13: Jährliche Nitrat- (NO_3-N) und Ammonium- (NH_4-N) Einträge in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (NAS = Nationalpark Sächsische Schweiz)



stoff keine durchgreifende Verringerung der Eintragsraten festzustellen. Sie schwanken etwa zwischen 15 bis 30 kg pro Hektar und Jahr. Dabei ist zu berücksichtigen, dass erhebliche Stickstoffmengen bereits im Kronenraum aufgenommen werden und damit die Belastungsrate insgesamt noch erheblich höher sein kann. Diese Tatsache wird bei der Kalkulation der kritischen Belastungsraten durch übermäßige, eutrophierende Stickstoffeinträge (Critical Loads) berücksichtigt.

Danach werden die zulässigen N-Eintragsraten auf allen Dauerbeobachtungsflächen aber auch an allen Messpunkten im 4 x 4-km-Raster – häufig um ein Vielfaches überschritten, so dass eine zunehmende Stickstoffsättigung der Ökosysteme zu erwarten ist. Obwohl in den letzten Jahren auch die Einträge von Stickstoff auf dem überwiegenden Teil der Dauerbeobachtungsflächen gesunken sind, ist der prozentuale Anteil der durch N-Einträge induzierten Säurebelastung ange-

stiegen. Bei den Stickstoffeinträgen entfallen etwa 50–60 % auf Ammoniumstickstoff. Mit Ausnahme von Klingenthal, Laußnitz und Colditz ist auf den Beobachtungsflächen im Vergleich zu 1995/96 ein deutlicher Rückgang der Stickstoffeinträge zu verzeichnen (vgl. Abb. 13).

Trotz des Rückgangs der Stoffeinträge macht sich eine positive Entwicklung in den versauerten Waldböden durch deren „chemisches Gedächtnis“ oftmals nur verzögert bemerkbar. Sie haben in der Zeit hoher Schwefeldepositionen große Mengen Schwefel in Form von Aluminiumsulfaten gebunden und gespeichert, die erst bei verstärktem Rückgang der Schwefeleinträge wieder abgebaut und mit dem Sickerwasser ausgetragen werden. Dadurch werden sowohl die Bodenlösung als auch das Sickerwasser noch über einen längeren Zeitraum mit hohen Schwefel- und Aluminiumgehalten belastet und ein Toxizitätsrisiko durch erhöhte Al-Konzentrationen vermindert sich nur allmählich. An den Beispielen der Messflächen Klingenthal und Olbernhau im westlichen bzw. mittleren Erzgebirge wird deutlich, dass deshalb neben hohen Aluminiumausträgen die Schwefelausträge die aktuellen Schwefeleinträge häufig um ein Vielfaches überschreiten (vgl. Abb. 14 a und b).

Auch zeigen sich in beiden Messfeldern erhebliche Stickstoffausträge von jährlich etwa 5 bis 15 kg Nitrat, womit ein Beleg für die Stickstoffsättigung des Ökosystems und die Überschreitung des ökosystemverträglichen Schwellenwertes (Critical Load) vorliegt. Das kann langfristig einen Standorts- und Vegetationswandel sowie höhere Gefährdungen durch Pilzinfektionen und Insektenbefall sowie Verjüngungsprobleme nach sich ziehen. Andere Gefahren drohen aus einer Verlagerung der Biomasse in den Sprossbereich zulasten der Wurzeln, was Risiken bei der Nährelementver-

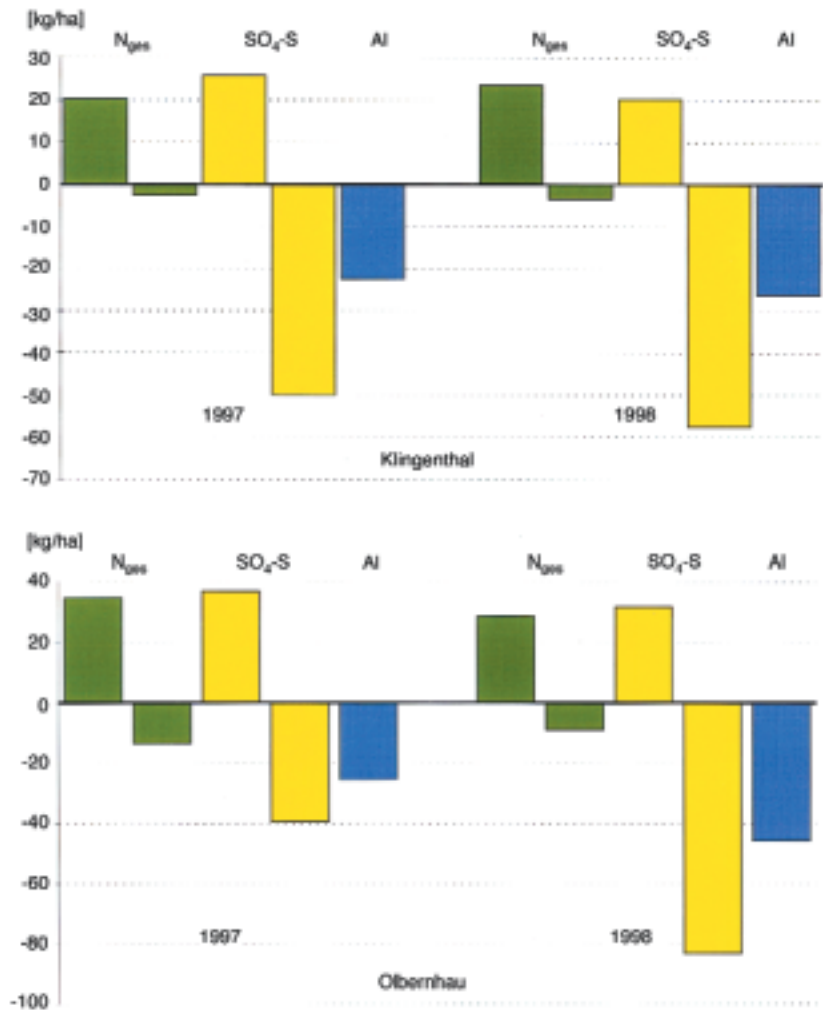
sorgung sowie hinsichtlich des Auftretens von Trockenstress und Sturmwurf hervorruft.

Die Nitratgehalte im Sickerwasser können bei Störungen im Ökosystem relativ rasch ansteigen. Obwohl im Messfeld Colditz seit Beginn der Untersuchungen der Critical-Load-Wert des Stickstoffeintrages nicht überschritten wurde und keine messbaren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auftraten, ist die Nitratbefruchtung seit Herbst 1998 sehr deutlich angestiegen (vgl. Abb. 15a). Diese Entwicklung ist möglicherweise auch im Zusammenhang mit dem starken Raupenfraß und einer zunehmenden Kronenverlichtung des Eichenbestandes zu sehen. Der mit der Nitratfreisetzung verbundene Versauerungsdruck hat bisher aufgrund der ausreichenden Pufferkapazität des Lössbodens noch zu keinen erhöhten Säuregehalten (Einbruch der pH-Werte) bzw. zu keinem Anstieg der Aluminiumgehalte im Sickerwasser geführt.

Demgegenüber befindet sich der Standort Neukirch/Bautzen (geschlossener Fichtenaltbestand) bei einer 2- bis 3fachen Überschreitung der langfristig tolerierbaren Stickstoffeintragsrate in einem ausgeprägten Zustand der Stickstoffsättigung. Seit Beginn der Untersuchung treten erhöhte Nitratgehalte im Sickerwasser auf (vgl. Abb. 15b) und die jährlichen Stickstoffausträge betragen über 20 kg pro Hektar.

Die Schwefel- und Aluminiumgehalte prägen weiterhin die Kationen- und Anionenzusammensetzung in der Bodenlösung sowie im Sicker- und Quellwasser der Waldökosysteme. Den Zusammenhang verdeutlicht die nach Kationen und Anionen gegliederte Darstellung am Beispiel der Messfläche Olbernhau (vgl. Abb. 16). Mit fortschreitender Bodentiefe wird die starke Säure (H⁺) zunehmend durch Pufferprozesse bzw. Kationenaus-

Abb. 14a, b: Jährlicher Eintrag mit dem Bestandesniederschlag und Austrag mit dem Sickerwasser in 100 cm Bodentiefe (Elementbilanzen 1997 und 1998) ausgewählter Elemente in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Klingenthal (westliches Erzgebirge) und Olbernhau (mittleres Erzgebirge)



tauschvorgänge gegen Aluminium der Bodenfestphase ausgetauscht und dadurch in eine schwächere Säure umgewandelt. Ein erheblicher Anteil der dabei auftretenden sehr hohen Schwefel- und Al-Konzentrationen erklärt sich hierbei aus der Mobilisierung bzw. Auflösung der gespeicherten Al-Sulfat-Salzphase. Erst im Quellwasser – also nach Austauschreaktionen im tieferen Unterboden bzw. Grundwasserleiter – dominieren die basischen Kationen gegenüber Aluminium und bilden das chemische Gleichgewicht zu den hohen Sulfatgehalten auf der Seite der Anionen. Die Darstellung veranschaulicht zudem, mit welchen hohen Verlusten an Nährelementen aus dem Ökosystem die hohen Schwe-

felausträge verbunden sind.

Einige Beispiele zur zeitlichen Entwicklung chemischer Parameter im Sicker- und Quellwasser verdeutlichen im Folgenden, dass sich dennoch auch in den Waldböden eine der Entwicklung bei den Stoffeinträgen ähnliche positive Entwicklung der Belastung bemerkbar macht. Sowohl im Sickerwasser als auch im Quellwasser sind die Schwefelgehalte und damit auch die S-Austräge und die an sie gekoppelten Nährelementausträge – trotz Prozessüberlagerung durch die genannten Schwefelmobilisierungsvorgänge – auffällig zurückgegangen (vgl. Abb. 17 und 18).

Abb. 15a, b (von oben nach unten): Entwicklung der Nitrat-(NO₃-N)-Gehalte im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Colditz und Neukirch/Bautzen

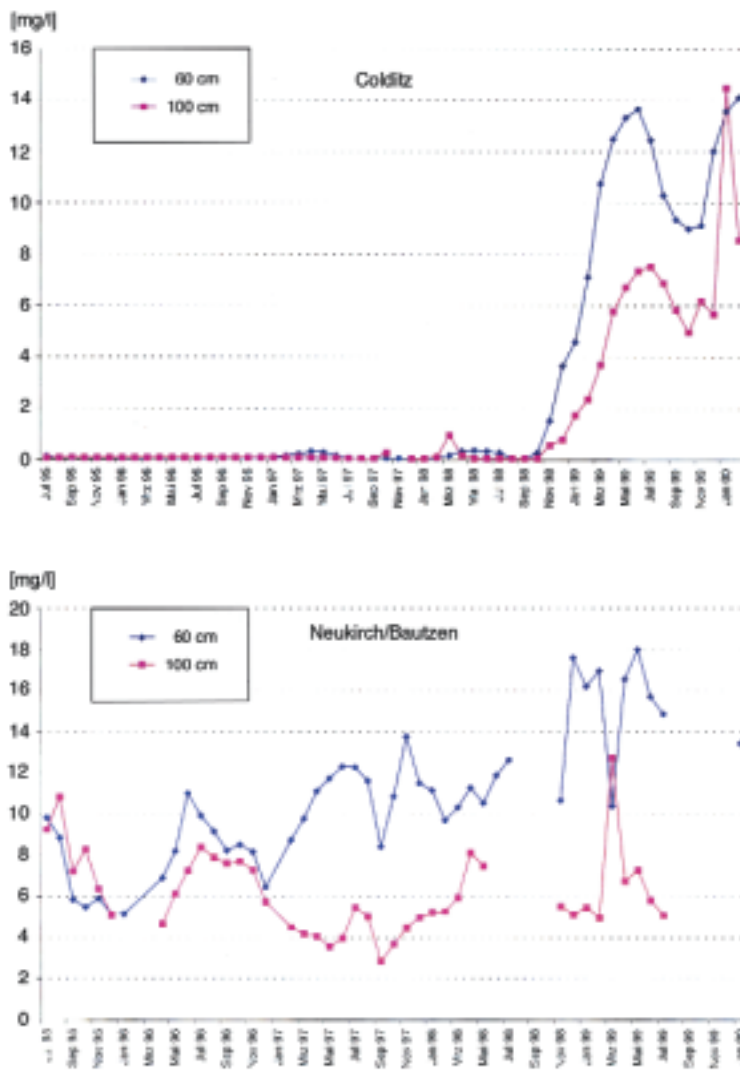
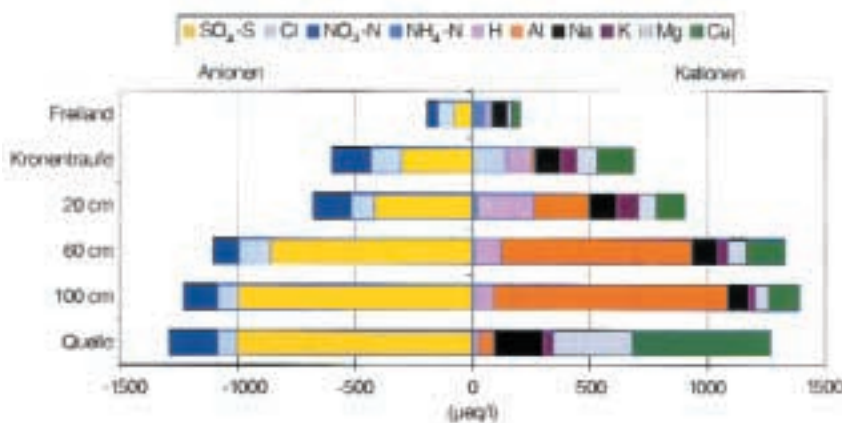


Abb. 16: Mittlere jährliche Ionenzusammensetzung der bedeutendsten Anionen und Kationen in der Lösungsphase der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau im Jahr 1998 (Sickerwasser in 20, 60 und 100 cm Tiefe; Quelle = Waldquelle unterhalb der Messfläche)



Erwartungsgemäß ist der Verlauf bei den Al-Gehalten – speziell in den Waldquellen – weniger stark ausgeprägt (vgl. Abb. 19 und 20).

Nach einer zwischenzeitlichen Abnahme des pH-Wertes im Anschluss an den durch hohe Säureeinträge gekennzeichneten Schadwinter 1995/96, ist im Messfeld Klingenthal – synchron zur Entwicklung im Quellwasser – ein deutlicher Rückgang der Säurekonzentration im Sickerwasser feststellbar (vgl. Abb. 21). Die pH-Werte liegen erstmals seit Beginn der Untersuchungen im Jahr 1993 deutlich oberhalb des Aluminium-Pufferbereiches von pH 3,8–4,2. Das BC/Al-Verhältnis, Ausdruck für das molare Verhältnis zwischen den basischen Kationen (BC = Ca+K+Mg) und Aluminium im Sickerwasser, wird zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch die Bodenversauerung angewandt. Es überschreitet den für Fichtenökosysteme kritischen Schwellenwert von 0,9 (vgl. Abb. 22 und Waldschadensbericht 1998). Das Risiko einer Aluminiumtoxizität scheint folglich abzunehmen. In den anderen, in der Vergangenheit aber wesentlich stärker durch Stoffeinträge betroffenen Fichtenbeständen des Untersuchungsprogramms (Olbernhau, Cunnersdorf, Bautzen) ist dieser Trend momentan noch nicht erkennbar. Jedoch spiegelt sich auch dort der Rückgang der Schwefelbelastung bis in das Quellwasser deutlich wider.

Die Entlastung der Waldökosysteme ist besonders in den vormals stark betroffenen Erzgebirgesstandorten zu verzeichnen, wobei sich die Stickstoffsättigung der Ökosysteme zunehmend als problematisch erweist.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass in den letzten Jahren besonders in den südlichen Landesteilen Sachsens die Schwefeleinträge in die sächsischen Waldökosysteme erheblich

zurückgegangen sind und sich mittlerweile auf einem Niveau stabilisiert haben, das etwa dem aus vergleichbaren Regionen der alten Bundesländer ähnelt.

Die Stickstoffeinträge zeigen ebenfalls eine sinkende Tendenz, weisen jedoch noch Abbaupotenziale auf. Dies wird durch die überwiegende und mehrfache Überschreitung der langfristig tolerierbaren N-Eintragsraten (Critical Loads) in den sächsischen Waldökosystemen belegt und unterstreicht die Notwendigkeit zur weiteren Verminderung von Stickstoffemissionen.

Bedingt durch den drastischen Rückgang der Schwefelimmisionen hat sich die Gesamtsäurebelastung, insbesondere in den Waldökosystemen des Erzgebirges, erheblich verringert, während der aus Stickstoffeinträgen und Umsetzungsprozessen von Stickstoffverbindungen im Ökosystem resultierende Säurebelastungsanteil vielfach auf etwa 50 % angestiegen ist. Nur für einzelne, besser nährstoffversorgte Standorte im Bereich des Hügellandes und des pleistozänen Tieflandes mit hoher Pufferkapazität ist anzunehmen, dass mittlerweile die tolerierbare Säurebelastungsrate eingehalten wird.

Die Schwefelgehalte von Bodenlösung und Sickerwasser in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen sind wegen des „chemischen Gedächtnisses“ der Waldböden zwar weiterhin hoch, aber ebenfalls rückläufig. Damit verringert sich auch der Verlust an Nährstoffkationen bzw. an Neutralisierungskapazität aus den Böden. Auch bei den Aluminiumgehalten von Sicker- und Quellwasser der stark versauerten Standorte zeichnet sich ein allmählicher Rückgang ab. Dennoch sind Sulfat auf der Seite der Anionen und Aluminium auf der Kationenseite die dominierenden Ionen in Bodenlösung und Sickerwasser. Dies gilt insbesondere für die tiefgründig versauerten

Abb. 17: Entwicklung der Schwefel-(SO₄-S)-Gehalte im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe in der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)

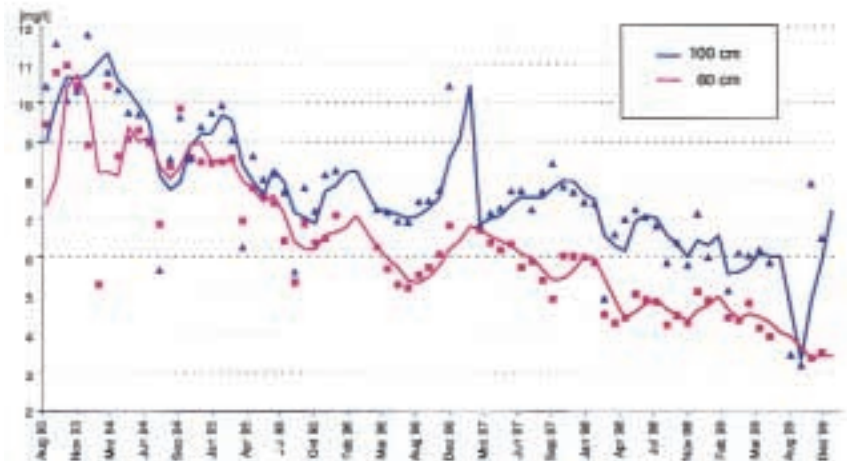


Abb. 18: Entwicklung der Schwefel-(SO₄-S)-Gehalte im Quellwasser (3 Waldquellen) der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); Juli 1993 bis Dezember 1999

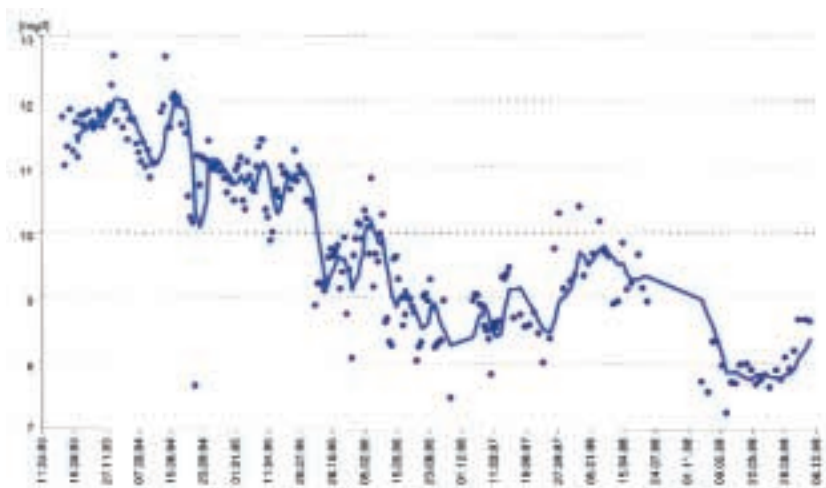


Abb. 19: Entwicklung der Aluminiumgehalten im Sickerwasser der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); Juli 1993 bis Dezember 1999

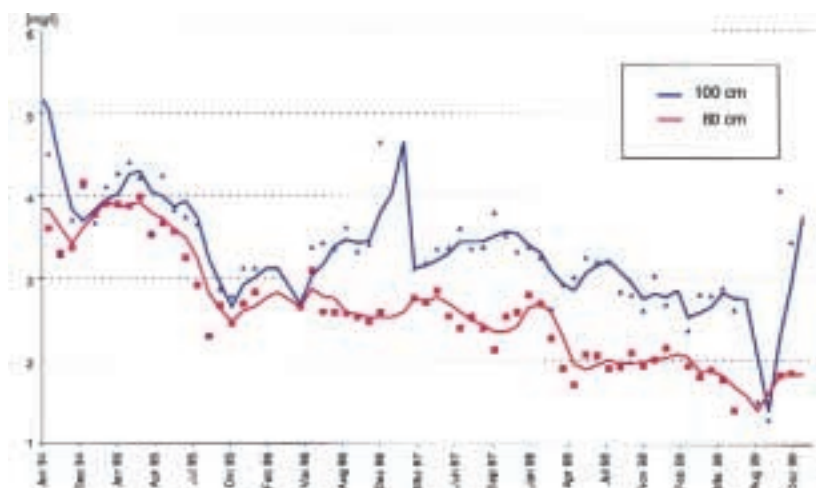


Abb. 20: Entwicklung der Aluminiumgehalte von 3 Waldquellen der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); September 1994 bis Dezember 1999 (gelbe Linie = Mittelwert)

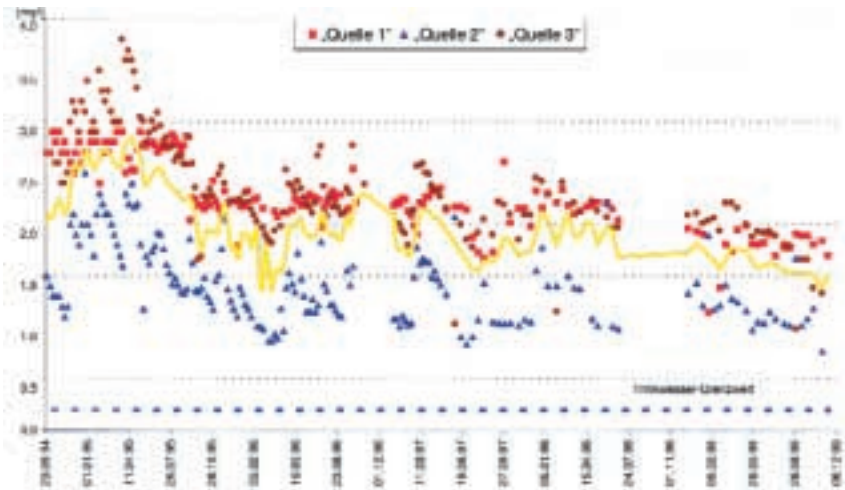


Abb. 21: Entwicklung der Säure-(H⁺-)Konzentration im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)

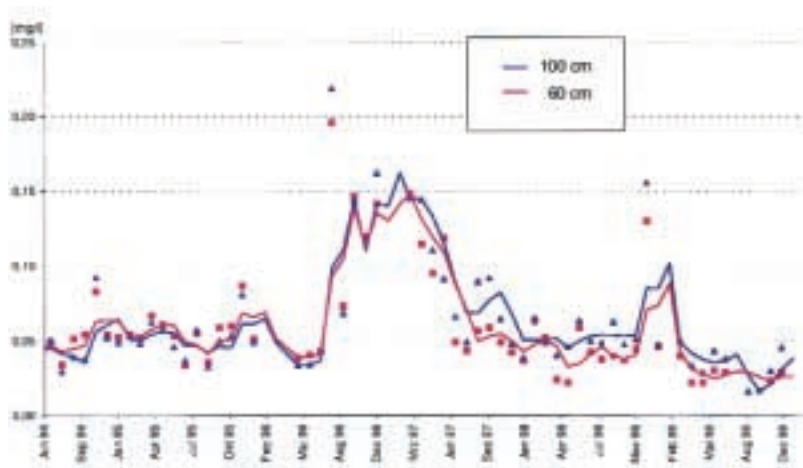


Abb. 22: Entwicklung der BC/Al-Verhältnisse im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)



Erzgebirgsstandorte. Aluminium-Ionen können bei ungenügender Pufferkapazität des Sickerwasserleiters auch zukünftig bis in die Waldquellen verlagert werden.

Kronenzustand

Allgemeine Schadsituation

Die Waldschadenserhebung 2000 weist in Sachsen

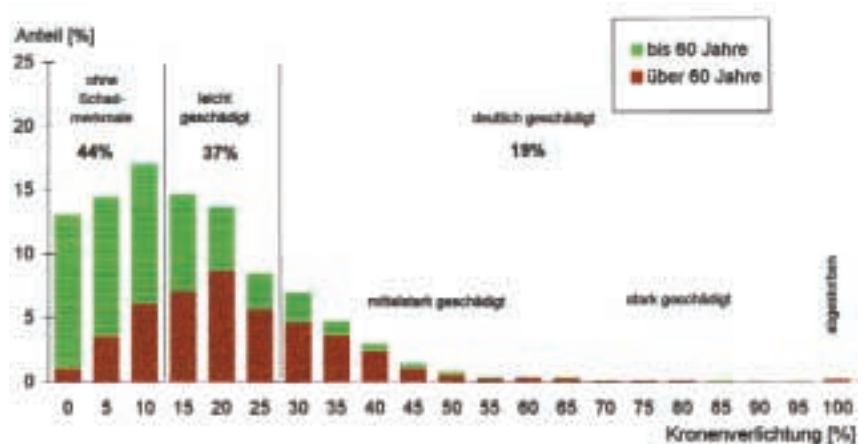
- 19 % der Waldfläche als deutlich geschädigt (Schadstufen 2–4)
- 37 % als schwach geschädigt (Schadstufe 1) und
- 44 % ohne erkennbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) aus (vgl. Abb. 24).

In der Gruppe deutlich geschädigter Bäume sind mit 17 % die mittelstark geschädigten (Schadstufe 2) und mit 2 % die stark geschädigten bzw. abgestorbenen Bäume (Schadstufen 3 + 4) vertreten.

Wie die Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung (vgl. Abb. 23) verdeutlicht, ist der Kronenzustand älterer Bäume im Vergleich zu jüngeren erheblich stärker durch negative Umwelteinflüsse geprägt. Der Anteil deutlich geschädigter, über 60-jähriger Bäume ist im Jahr 2000 mit 30 % um 3-mal höher als bei den jüngeren. Während die Häufigkeitsverteilung der über 60-jährigen Bäume ihr Maximum bei einer Kronenverlichtung von 20 % ausbildet, liegt es bei den bis 60-jährigen Bäumen bei 0 bis 10 %.

Im Zeitraum von 1991 bis 2000 schwankte der Anteil deutlicher Schäden (Schadstufen 2–4) zwischen 17 und 27 % (vgl. Abb. 24). Im Jahr 1991 wurde mit 27 % deutlicher Schäden das höchste Schadniveau registriert. Anfang der 90er-Jahre hielt sich der Anteil deutlicher Schäden über 20 %. 1995 sank er auf 17 % ab und schwankte bis 1998 nur unwesentlich im Be-

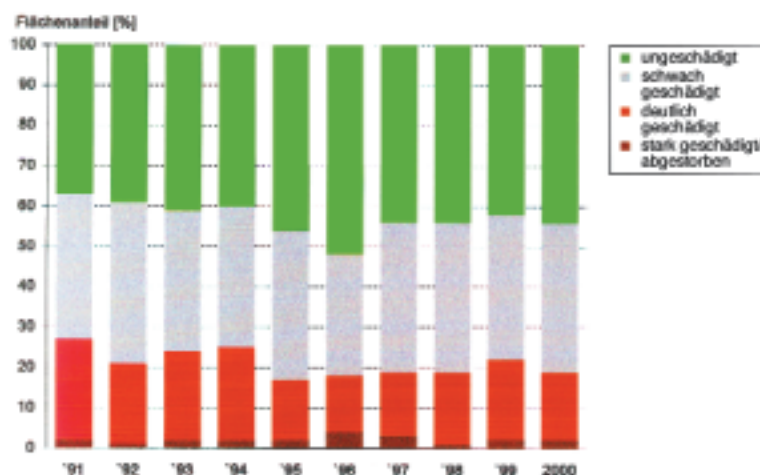
Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung (KV) in den Altersbereichen

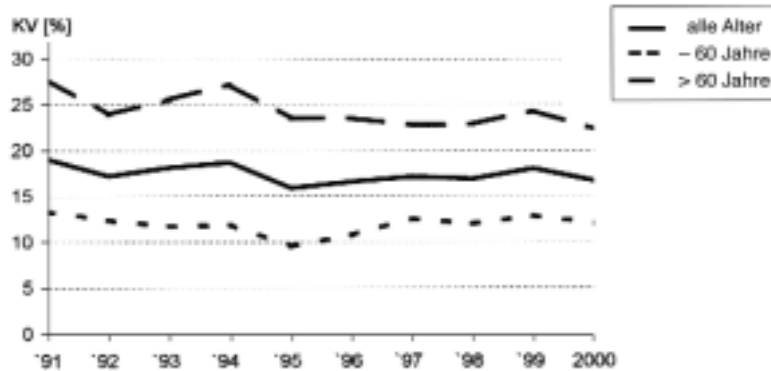


reich von 17 bis 19 %. Auf dieses Niveau haben sich die Schäden, nach einem leichten Anstieg 1999, auch im Jahr 2000 wieder eingeepegelt. Damit hat sich der Anteil deutlicher Schäden im Vergleich zum Vorjahr um 3 Prozentpunkte verringert. In den älteren, über 60-jährigen Beständen beträgt der Schadrückgang 5 Prozentpunkte, in den jüngeren 2 Prozentpunkte. Er konzentriert sich jedoch schwerpunktmäßig auf einzelne Baumarten bzw. Baumarten-

gruppen. Die Verschiebungen in den einzelnen Schadstufen kommen auch in der Veränderung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentes zum Ausdruck. Das diesjährige Schadniveau liegt demzufolge unter dem zu Beginn der 90er-Jahre (vgl. Abb. 24b).

Abb. 24a, b: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991 bis 2000





- 19 Bäume wurden bei forstlichen Eingriffen entnommen
- 1 Baum war geworfen
- 10 Bäume gehörten nicht mehr zur herrschenden Bestandesschicht
- 1 Baum war bereits vor mehreren Jahren abgestorben.

Der Ersatz von Stichprobenbäumen hat nachgewiesener Maßen kaum Einfluss auf das Ergebnis der Waldschadenserhebung für größere Auswerteeinheiten (Baumart, Wuchsgebiet).

Da die Stichprobenbestände sowohl einer forstlichen Bewirtschaftung als auch anderen Einflüssen unterliegen, ist es möglich, dass Stichprobenbäume aus dem Kollektiv ausscheiden. Streng syste-

matisch wird dann ein Ersatzbaum ausgewählt. In diesem Jahr mussten 31 Bäume (entspricht 1 %) vom Kollektiv der über 60-jährigen Stichprobenbäume ersetzt werden:

Schäden an den Hauptbaumarten

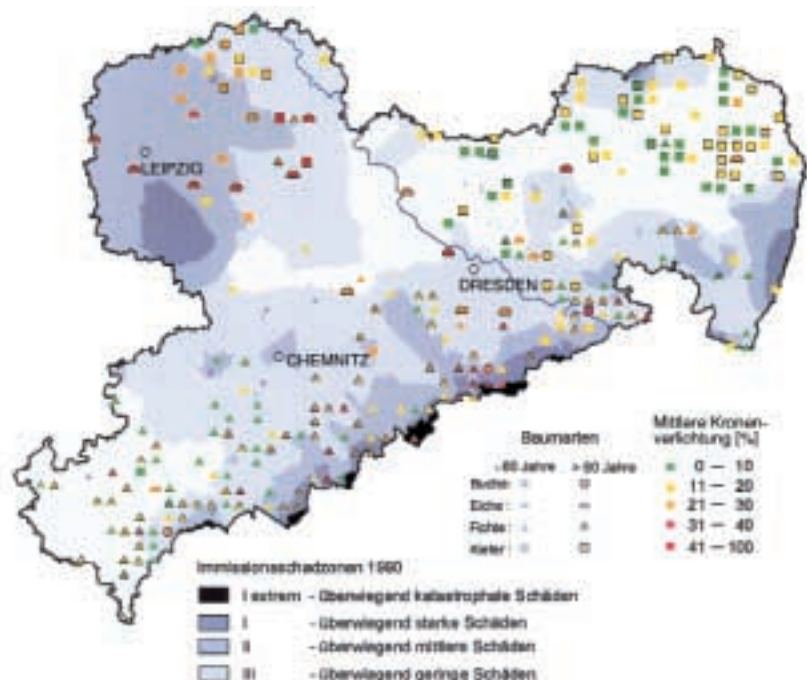
Fichte und Kiefer sind mit 43,8 % bzw. 31,7 % Anteil an der Waldfläche die dominierenden Baumarten in den sächsischen Wäldern. Sie prägen damit auch das Gesamtergebnis der Waldschadenserhebung entscheidend. Im Gegensatz zur Fichte und Kiefer haben Buche und Eiche deutlich geringere Flächenanteile und werden damit seltener von der Waldschadenserhebung erfasst. Speziell für die Buche können daher die Aussagen nicht abgesichert werden.

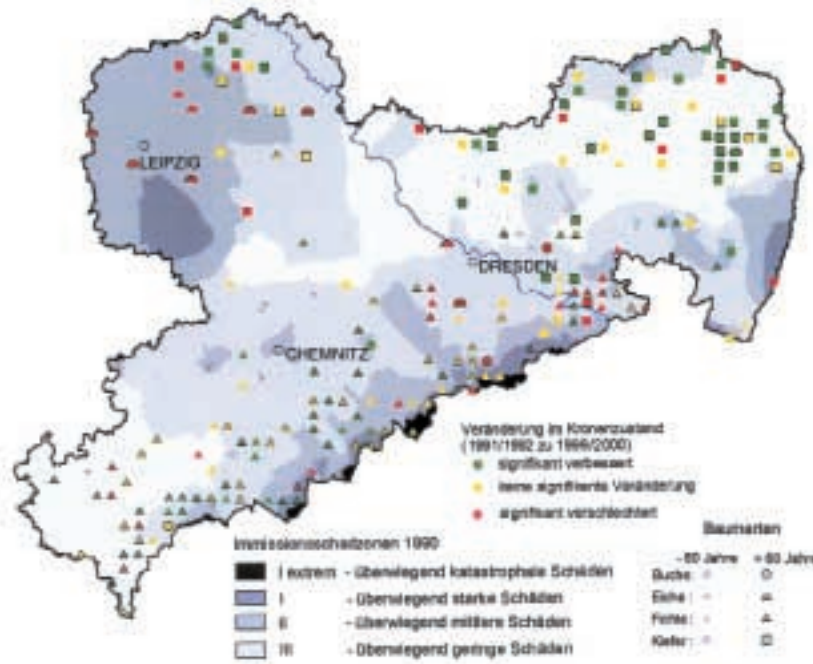
Einen Eindruck der räumlichen Verteilung der Baumarten sowie Schäden und deren Veränderungen vermitteln die Abb. 25a, b sowie 26. Berücksichtigt wurde die jeweils am Stichprobenpunkt dominierende Hauptbaumart, wenn sie mit mindestens 5 Bäumen vertreten war. Bei Mischbeständen wurden z. T. verschiedene Baumarten in die Analyse einbezogen, in der Karte jedoch nur die häufigsten vorkommende berücksichtigt. Die

Ergebnisse werden bei der Zustandsbeschreibung der jeweiligen Baumarten interpretiert. Die Tab. 4 enthält die

zusammengefassten Ergebnisse für die Baumarten.

Abb. 25 a, b: Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Hauptbaumarten 2000 und deren Veränderung von 1991/92 zu 1999/00 an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster (mindestens 5 Bäume der Hauptbaumart am Stichprobenpunkt, t-Test für gepaarte Stichproben)

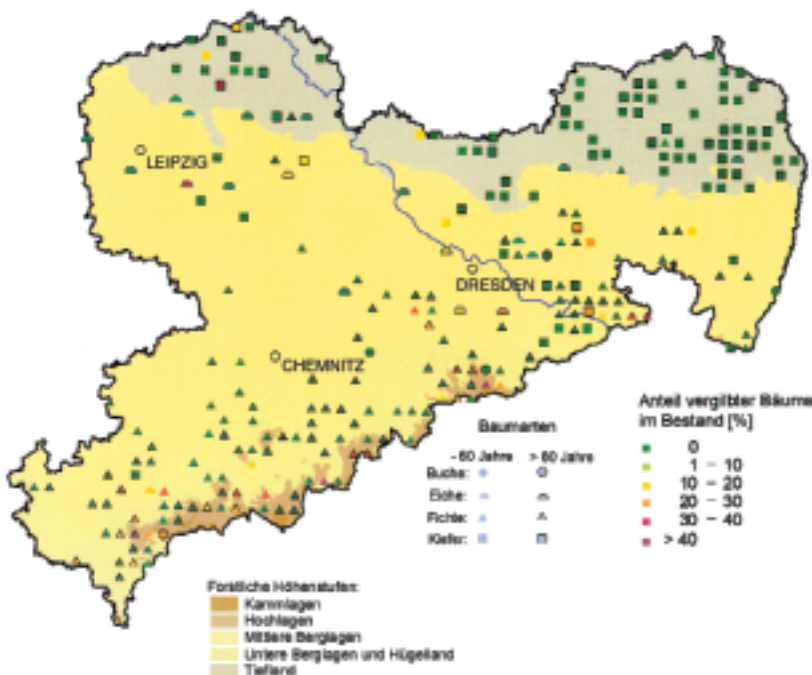




Tab. 4: Veränderung der mittleren Kronenverlichtung von 1991/92 zu 1999/00 an den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Raster

Hauptbaumart im Bestand	Anzahl Bestände	Anteil [%]		
		signifikant verbessert	keine Veränderung	signifikant verschlechtert
Fichte	120	37	46	17
Kiefer	87	47	39	14
Eiche	27	11	45	44
Buche	19	0	68	32

Abb. 26: Nadel- bzw. Blattvergilbungen 2000 an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster



Fichte

Kronenzustand

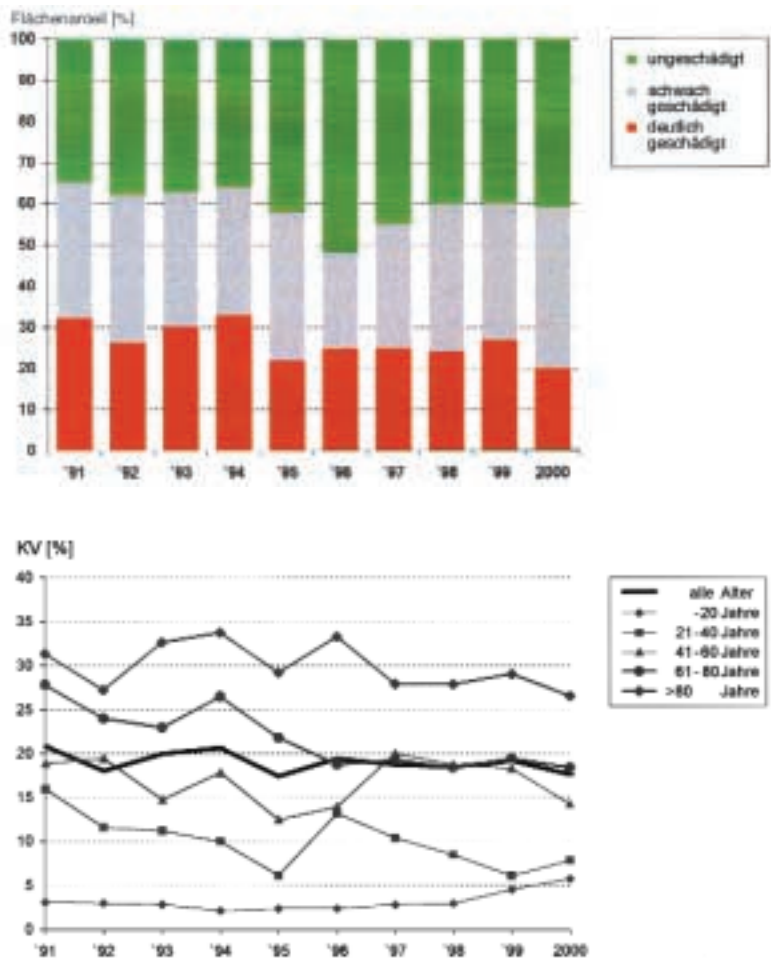
Für die Baumart Fichte weist die Waldschadenserhebung 2000 einen Flächenanteil deutlicher Schäden von 20 % aus. Damit hat sich die deutlich geschädigte Fichtenfläche im Vergleich zum Vorjahr um 7 Prozentpunkte verringert und den niedrigsten Wert im gesamten 10-jährigen Erhebungszeitraum erreicht. Schwach geschädigte Fichten haben einen Flächenanteil von 39 %, Fichten ohne sichtbare Schäden von 41 %.

Ausgehend von einem hohen Schadenniveau Anfang der 90er-Jahre zeichnete sich bei der Fichte 1995 ein deutlicher Rückgang der Schäden ab. Im Zeitraum von 1996 bis 1998 ist der Anteil deutlicher Schäden bei der Fichte nahezu gleich hoch geblieben. Er schwankte zwischen 22 und 25 %, stieg 1999 noch einmal kurzzeitig an und pegelte sich im Jahr 2000 aber wieder auf das niedrigere Niveau ein (vgl. Abb. 27). Im Gegensatz zu den Vorjahren sind somit 2000 die deutlichen Schäden bei der Fichte nahezu gleich hoch wie das Mittel aller Baumarten. Die schwachen Schäden stiegen an, während der Flächenanteil ohne Schadmerkmale mit 41 % fast konstant geblieben ist.

Die mittlere Kronenverlichtung verringerte sich von 20,8 % (1991) auf 17,6 % (2000). Insbesondere bei den älteren, über 60-jährigen Fichten, die im Vergleich zu den jüngeren durch ein höheres Schadenniveau gekennzeichnet sind, ist eine Schadabnahme zu verzeichnen. Damit verringert sich auch die altersabhängige Differenzierung der Schäden etwas (vgl. Abb. 27b).

Die Fichtenbestände, die sich schwerpunktmäßig in den Mittelgebirgslagen von Südost- bis Südwestsachsen erstrecken, sind hinsichtlich ihrer Schädigung weit gespreitet (vgl. Abb. 25a).

Abb. 27a, b (von oben nach unten): Veränderung der Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Fichte von 1991 bis 2000



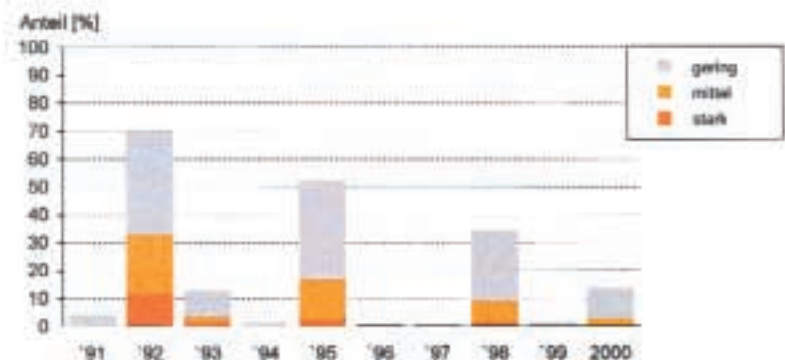
Während sich in den vergangenen Jahren im grenznahen Bereich des Erzgebirges (Immissionsschadzone I und I_{extrem}) Bestände mit starker

Abb. 28: Vergilbte Altfichte



Schädigung (Kronenverlichtung > 60 %) häuften, sind die Schäden in dem Gebiet heute überwiegend geringer. In Südwestsachsen dominieren Bestände ohne bzw. mit geringer Schädigung. In einer Analyse zur Veränderung der Kronenverlichtung der Fichten von 1991/92 zu 1999/00

Abb.29: Fruktifikation der Fichte von 1991 bis 2000



wurden für 37 % der untersuchten Fichtenbestände eine Verbesserung, für 17 % eine Verschlechterung und für 46 % keine signifikante Änderung nachgewiesen (vgl. Abb. 25b).

Nadelvergilbungen wurden 2000 an 7 % aller Fichten festgestellt. Bei 1 % der Fichten, an denen Nadelvergilbungen in mittlerer bis starker Ausprägung registriert wurden, führten diese zur Eingruppierung in eine höhere Schadstufe.

Bestände, in denen mehr als 1/5 der Fichten vergilbte Nadeln aufweisen, sind vor allem in den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge sowie in der Sächsischen Schweiz zu finden (vgl. Abb. 26 und 28).

In diesem Jahr **fruktifizierten** zwar mehr Fichten als im letzten Jahr. Verglichen mit Jahren stärkerer Fruktifikation, wie z. B. 1992 und 1995, war der Zapfenbehang bei der Fichte auch in diesem Jahr selten. 11 % der älteren, über 60-jährigen Fichten, hatten geringen und 2 % mittleren bis starken Zapfenbehang (vgl. Abb. 29, Tab. 9).

Biotische Schäden

Auch in diesem Jahr war der **Buchdrucker** (*Ips typographus* L.) der biotische Schadfaktor, der zu nennenswertem Befall führte (vgl. Abb. 30). Die registrierte Menge befallener Bäume stieg nach einem Rückgang im Vorjahr wieder an. Per 31.7. belief

sich die erfasste Befallsholzmenge auf 125 % des vergleichbaren Vorjahreswertes und erreichte damit das Niveau von 1992. Der rasche Temperaturanstieg auf überdurchschnittliche Werte zu Beginn der 3. Aprildekade förderte den Schwarmflug des Käfers, der besonders in den höheren Lagen der Mittelgebirge bis zu 2 Wochen früher als üblich einsetzte. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Trockenheit erhöhte offensichtlich die Befallsbereitschaft der Fichten.

Bedingt durch die kühle Witterung in den Sommermonaten verlangsamte sich die Entwicklung wieder. Es kam, wie einzelne Schwarmbeobachtungen zeigten, nicht zur Anlage von Geschwisterbruten bei der 2. Käfergeneration, sodass eine explosionsartige Massenvermehrung dieser schädlichen Käferart ausblieb.

Durch konsequente Anwendung der integrierten Bekämpfungsstrategie, vor allem die rechtzeitige Sanierung des Stehendbefalls in den Wäldern aller Eigentumsarten, kann die aktuelle Befallszunahme erfolgreich kontrolliert werden.

Besonders in Südostsachsen verursachte der **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus* L.) in Fichtenjungbeständen Stehendbefall. Auch in älteren Beständen führte der Befall in den Baumkronen, z. T. in Verbindung mit anderen Borkenkäferarten, zum Absterben einzelner Fichten.

Nach den beiden Zwischenflugjahren 1998 und 1999, in denen nur ein geringer Teil der im Boden überliegenden Larven der **Fichten-Gespinstblattwespe** (*Cephalcia abietis* L.) schwärmte und demzufolge auch die fraßbedingten Nadelverluste sehr gering waren (vgl. Abb. 31), musste jedoch besonders in den Schadgebieten von 1997 wieder mit einem erhöhten Auftreten dieses Schädlings gerechnet werden.

Bereits im Frühjahr zeichnete sich im

Abb.30: Durch Buchdrucker befallene Holzmenge von 1989 bis 2000 (Angabe für 2000 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 2000/01 sichtbar)

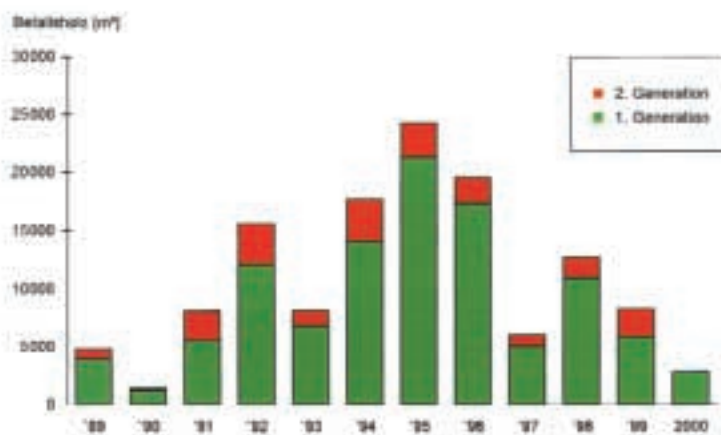
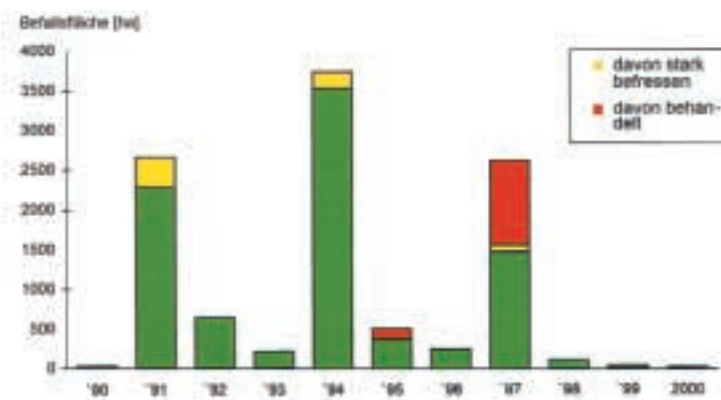


Abb. 31: Befallsflächen durch Fichten-Gespinstblattwespe 1990 bis 2000



Rahmen der routinemäßigen Überwachung ab, dass zwar der Anteil der in diesem Jahr schlüpfenden Wespen (gebietsweise bis 100 %) erwartungsgemäß sehr hoch war, aber aufgrund der geringen Larvendichten keine bestandesbedrohenden Schäden zu erwarten waren. Gegenmaßnahmen wurden deshalb nicht vorgesehen.

Kiefer

Kronenzustand

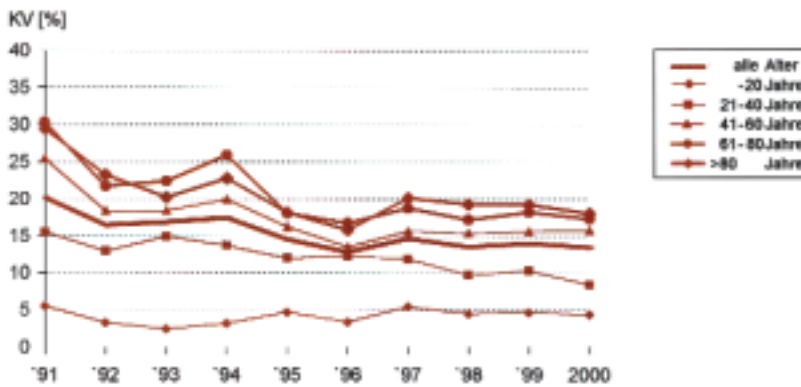
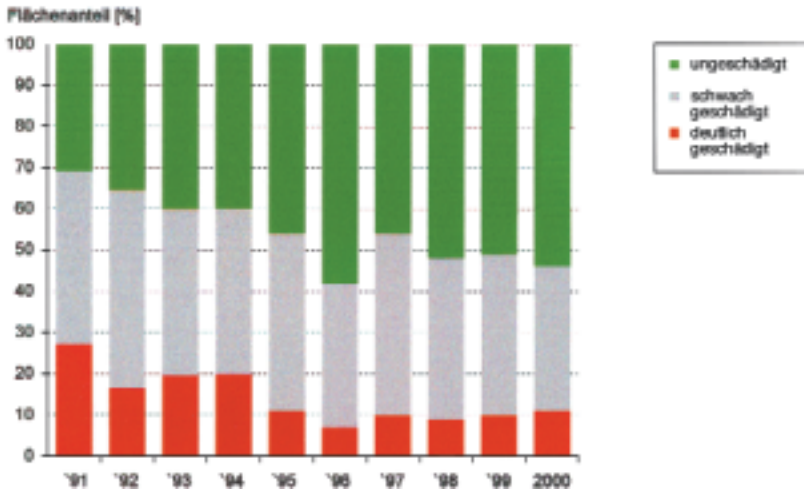
Die Kiefer hat das seit 1995 beobachtete, **niedrige Schadniveau auch 2000 beibehalten**. Mit einem Anteil deutlicher Schäden von 11 % ist es gegenüber anderen Baumarten vergleichsweise gering. Als leicht geschädigt gelten 35 %, als gesund 54 % der

Kiefernfläche (vgl. Abb. 32).

Von 1991 bis 1996 verbesserte sich der Kronenzustand der Kiefer kontinuierlich und verharrt seit dem auf diesem Niveau. Der Rückgang der deutlichen Schäden von 27 % (1991) auf 7 % (1996) steht in erster Linie in Verbindung mit einer Zunahme ungeschädigter Kiefern.

Mit knapp 14 % bewegt sich die mittlere Kronenverlichtung im Schwankungsbereich der letzten 5 Jahre. Wesentlich unterschiedliche altersabhängige Trends wurden nicht festgestellt. Die Veränderungsanalyse (vgl. Abb. 25b und Tab. 4) bescheinigt der Kiefer 1999/00 in 47 % der Bestände einen besseren Kronenzustand als in den Jahren 1991/92, in nur 14 % hatte die Kiefer ein schlechteres Erscheinungsbild.

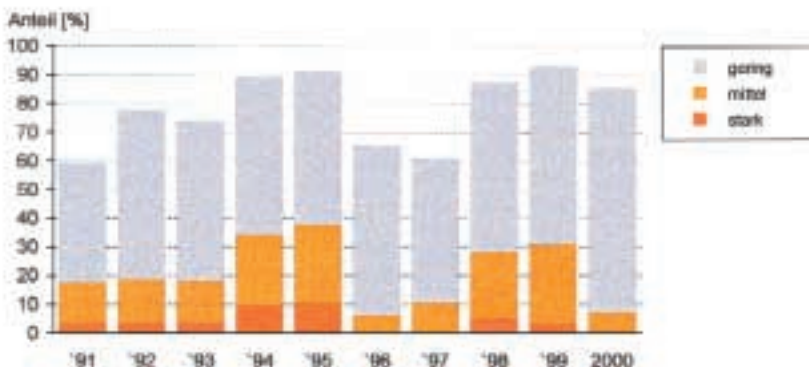
Abb. 32a, b (von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronverlichtung (KV) der Kiefer von 1991 bis 2000



Nadelvergilbungen bei der Kiefer stehen oft in Zusammenhang mit ausgesprochenen Trockenperioden und induzieren den vorzeitigen Verlust älterer Nadeln. Die besonders auf den Tieflandsstandorten ausgeprägte Früh-

jahrestrockenheit hat zum Inventurzeitpunkt im Juli/August zunächst nicht zu verstärkten Kronenverlichtungen geführt. Allerdings lag der Anteil vergilbter Kiefern mit 4 % um 3 Prozentpunkte höher als 1999. Kiefernbestän-

Abb. 33: Fruktifikation der Kiefer von 1991 bis 2000



de mit stärkeren Nadelvergilbungen waren vorrangig auf den Sandstandorten in Nordwestsachsen zu finden (vgl. Abb. 26).

Wie fast in jedem Jahr **fruktifizierte** auch 2000 wieder ein Großteil der Kiefern. An 78 % wurde geringer und an 7 % mittlerer Zapfenbehang registriert.

Biotische Schäden

In den letzten Jahren traten in den nordsächsischen Kiefernbeständen lokal begrenzte Massenvermehrungen des **Kiefernspinners** (*Dendrolimus pini* L.) und des **Kiefernspanners** (*Bupalus piniarius* L.) auf. Die Raupen beider Schmetterlingsarten fressen Kiefernadeln. Um irreversible und damit bestandesbedrohende Schäden zu verhindern, mussten räumlich eng begrenzte Maßnahmen gegen den Fraß der Kiefernspinner-Raupen durchgeführt werden. In diesem Jahr war das erstmals nach 6 Jahren nicht notwendig.

Im Winter 1999/00 wurden jedoch gebietsweise deutlich erhöhte Puppendichten der **Forleule** (*Panolis flammea* Schiff.) festgestellt. Da die Raupen dieser Schmetterlingsart bereits im zeitigen Frühjahr mit dem Fraß beginnen und dabei zum Teil auch den frischen Maitrieb schädigen, geht von dieser Art ein besonderes Gefährdungspotenzial aus. Die höchsten Puppendichten wurden in zwei Wuchsbezirken im Nordosten des Freistaates registriert. Im Rahmen der weiteren Überwachung der Populationsentwicklung zeigte sich insbesondere während des witterungsbedingt lang anhaltenden Schwarmfluges der Falter eine Verschiebung des Gefährdungsgebietes nach Nordwesten. Aber auch dort erreichten die Eidichten keine kritischen Werte, sodass keinerlei Gegenmaßnahmen erforderlich waren. Nennenswerte Fraßschäden traten ebenfalls nicht auf.

Wie bereits 1999 führte auch in diesem Jahr ein Befall durch die **Rotgelbe Kiefern-Buschhornblattwespe** (*Neodiprion sertifer* Geoff.) zu kleinflächigen Schäden in Kieferndickungen und -jungbeständen in Nordsachsen.

Die infolge der Besiedlung durch Larven des **Blauen Kiefernprachtkäfers** (*Phaenops cyanea* L.) anfallende Befallsholzmenge nahm in den letzten Jahren kontinuierlich ab (vgl. Abb. 34). Bereits im vergangenen Winter deutete sich jedoch eine Trendwende an. Es trat vermehrt Stehendbefall durch verschiedene Borkenkäferarten, vor allem durch den **Sechszähligen Kiefernborckenkäfer** (*Ips acuminatus* Gyllhal.) auf. Per 31. Juli liegt der festgestellte Stehendbefall durch verschiedene Käferarten bei 185 % des Vorjahreswertes. Im Vergleich zu 1998 entspricht das sogar 230 %. Die wesentlichen Ursachen für diesen Trendwechsel waren wahrscheinlich die für eine Käferentwicklung günstigen Temperaturen im Herbst vergangenen Jahres und in diesem Frühjahr. Das damit einhergehende Niederschlagsdefizit erhöhte zusätzlich noch die Befallsbereitschaft der Kiefern. Das einzelbaumweise bzw. kleinflächige Absterben der Kiefern erfolgt meist infolge eines kombinierten Auftretens mehrerer Schaderreger, in erster Linie stamm- und rindenbrütender Käfer, aber auch durch Pilzbefall (z. B. *Cenangium ferruginosum* Fr.) an einzelnen Ästen. Diese Entwicklung spiegelt sich aufgrund ihrer Kleinflächigkeit nicht im Kronenzustand der Kiefern wieder.

Sonstige Nadelbäume

Kronenzustand

Zur Baumartengruppe der sonstigen Nadelbäume zählt z. B. die Europäische Lärche, die zu mehr als der Hälfte in dieser Baumartengruppe vertreten ist. Die sonstigen Nadelbäume

Abb. 34: Durch Prachtkäfer befallene Holzmenge von 1989 bis 2000 (Angabe für 2000 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 2000/01 sichtbar)

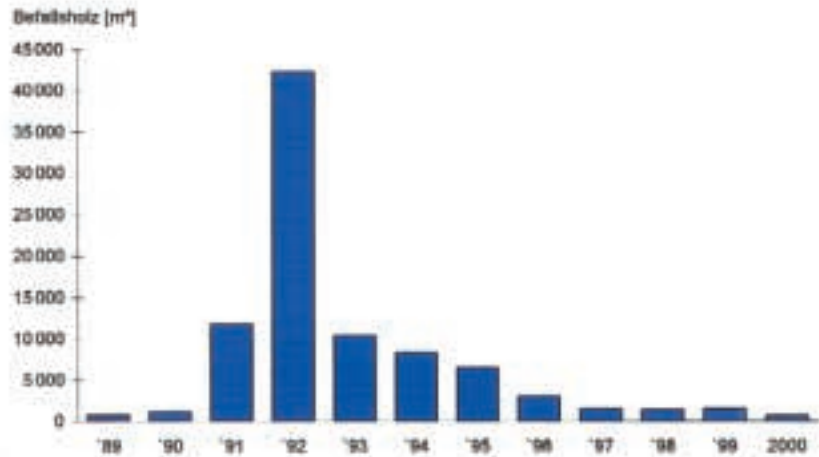


Abb. 35a, b: Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Nadelbäume sowie der Europäischen Lärche von 1991 bis 2000

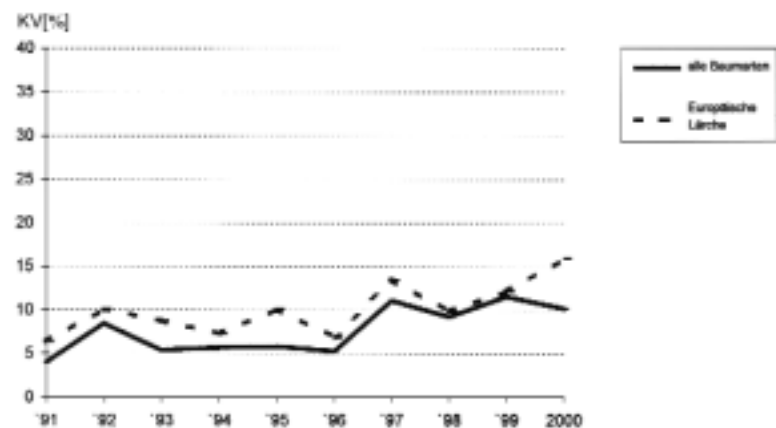
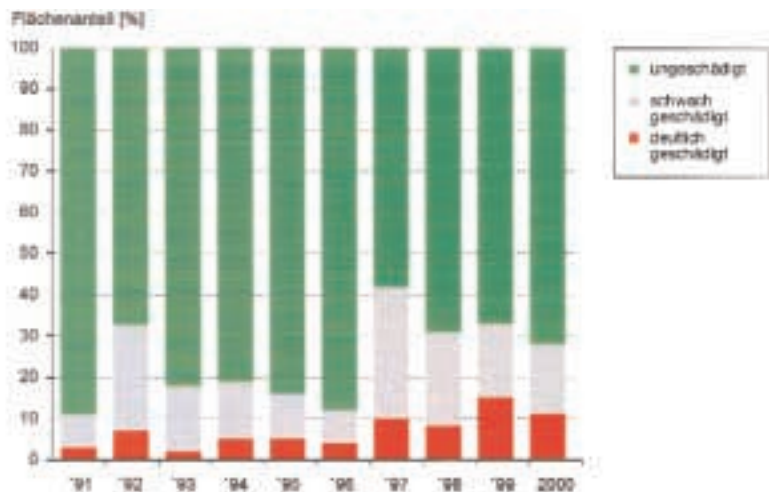


Abb. 36: Befall durch Lärchenminiermotte



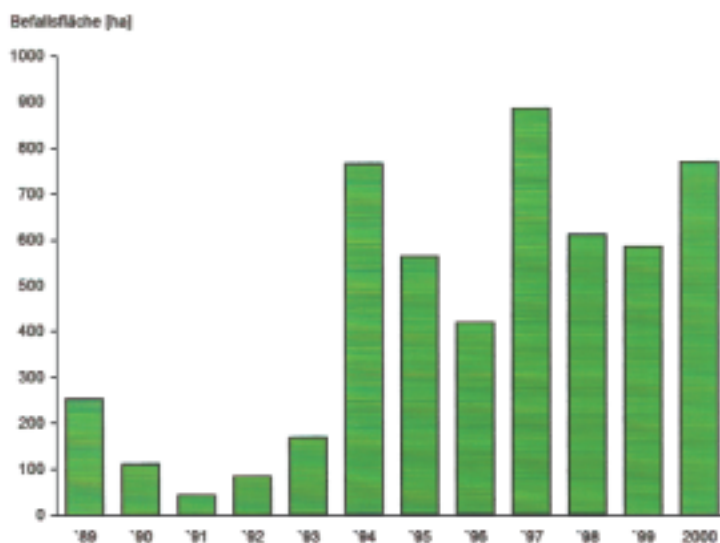
sind in Sachsen zumeist nicht autochthon und oft erst im Zuge spezieller waldbaulicher Konzeptionen, wie z. B. der Aufforstung des Erzgebirgskammes mit so genannten Ersatzbaumarten, in größerem Umfang in die sächsischen Wälder gekommen. Daher sind über die Hälfte (59 %) der begutachteten sonstigen Nadelbäume jünger als 20 Jahre, was neben vermutterter „Rauchhärte“ der ausschlaggebende Grund für das niedrige Schadenniveau dieser Baumartengruppe ist. Dennoch lässt sowohl die Zeitreihe

der Schadstufenverteilung als auch der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung ab 1997 eine Schadzunahme erkennen. Von 1996 zu 1997 erhöhte sich der Anteil deutlicher Schäden von 4 auf 10 %, der Anteil schwacher Schäden von 8 auf 32 %. (vgl. Abb. 35). Seit dem schwankt insbesondere der Anteil deutlicher Schäden in dieser Größenordnung, 2000 erreicht er 11 %. Bei der mittleren Kronenverlichtung von 1999 zu 2000 ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Bei der Europäischen Lärche setzte sich 2000 jedoch, im Gegensatz zum allgemeinen Trend, der Schadanstieg fort.

Biotische Schäden

Wie in den Vorjahren verursachte auch 2000 die **Lärchenminiermotte** (*Coleophora laricella* Hb.) wieder sachsenweit Schäden. Kurz nach dem Austrieb der Lärchen höhlen die Raupen die Nadeln besonders von Randbäumen aus. Die so geschädigten Lärchen „verloren“ dadurch ihre grüne Farbe (vgl. Abb. 36). Im Laufe der Sommermonate regenerierten sie diese Nadelverluste allerdings wieder. Die befallene Fläche stieg im Vergleich zu den beiden Vorjahren an (vgl. Abb. 37). Da immer mehr Lärchenbestände

Abb. 37: Befallsflächen durch Lärchenminiermotte 1989 bis 2000



aus den in den 80er-Jahren durchgeführten Anbauten zur Umwandlung immmissionsgeschädigter Fichtenbestände in das befallsgefährdete Alter einwachsen, ist dies auch eine Ursache für den Anstieg der Befallsfläche in den letzten Jahren. Die schon im Vorjahr aufgetretene **Scleroderris-Krankheit** (*Ascolaxia abietina* [Lagerb.] Schläpfer-Bernhard), ein Pilzbefall in Schwarzkiefernbeständen, führte auch 2000 in verschiedenen Waldgebieten zu einem Triebsterben. Verbreitet, besonders außerhalb des Waldes, wurde in diesem Jahr wieder der **Weymouthskiefernblasenrost** (*Cronartium ribicola* J. C. Fischer) nachgewiesen.

Eiche

Kronenzustand

Seit Beginn der Beobachtungen sind Stiel- und Traubeneiche die Baumarten mit dem kritischsten Kronenzustand. Die Eichen liegen mit 51 % deutlichen Schäden um 31 Prozentpunkte über dem Befund für alle Baumarten (vgl. Abb. 38). Auf nur noch 11 % der Fläche sind die Eichen gesund. Obwohl die deutlichen Schäden im Vergleich zum Vorjahr abgenommen haben, übertreffen sie noch immer das Niveau von Anfang der 90er-Jahre.

Von den 27 untersuchten Eichenbeständen weist 1999/00 fast die Hälfte einen signifikant schlechteren Kronenzustand auf als 1991/92 (vgl. Abb. 25 und Tab. 4). Nur bei ca. 1/10 der Bestände hat sich der Kronenzustand verbessert.

Die Darstellung der mittleren Kronenverlichtung veranschaulicht, dass der Kronenzustand 2000 etwa dem von 1998 entspricht.

2000 **fruktifizierten** die Eichen wieder stärker (vgl. Abb. 39). Von den älteren Eichen trug etwa die Hälfte Früchte. Inwieweit ein Zusammen-

Abb. 38a, b (von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Eiche von 1991 bis 2000

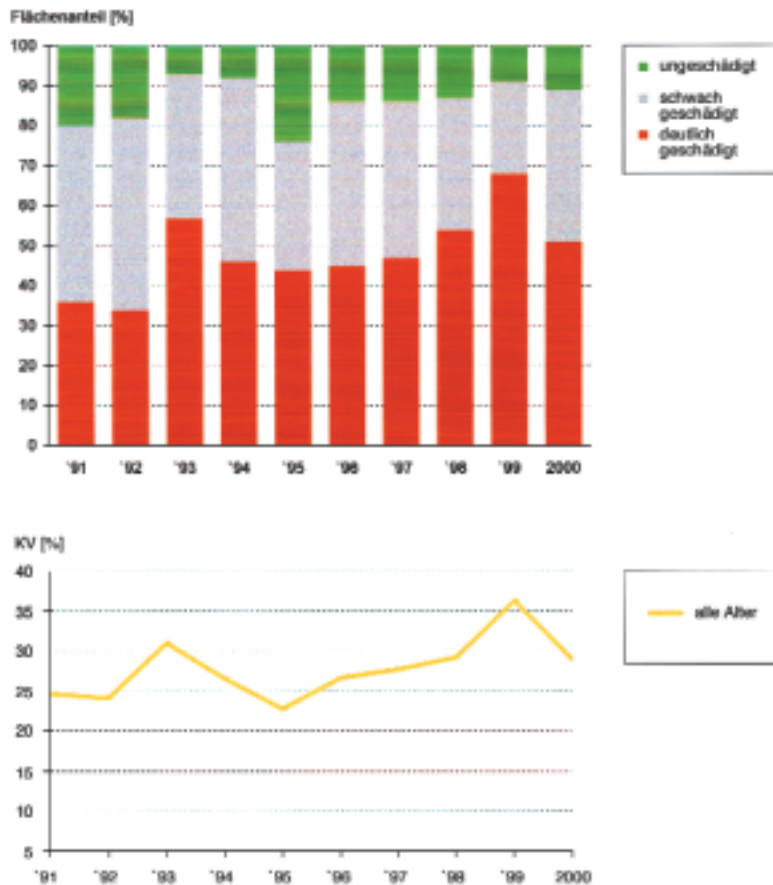
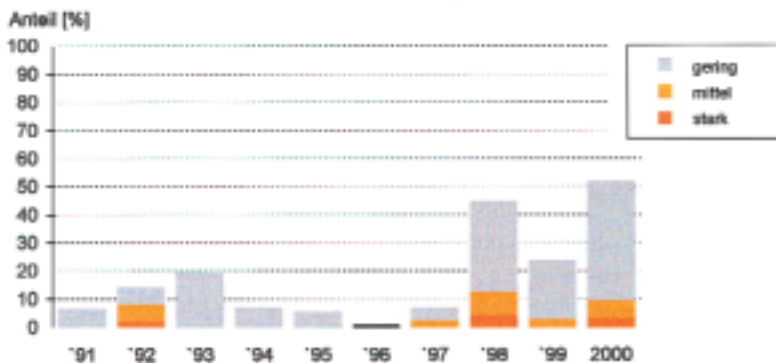


Abb.39: Fruktifikation der Eiche von 1991 bis 2000



hang des aktuell schlechten Belaubungszustandes und der Fruktifikation der letzten Jahre besteht, kann derzeit noch nicht geklärt werden.

Biotische Schäden

Der bereits 1997 zu beobachtende Rückgang der Fraßschäden durch **Eichenwickler** (*Tortrix viridana* L.) und **Frostspanner** (*Operophtera*

spec.) setzte sich, nun bereits zum 4. Mal in Folge, auch in diesem Jahr fort (vgl. Abb. 41a, b). Beim Eichenwickler, der dominierenden Phytophagenart, war die Reduktion der Schäden besonders deutlich. Die Fläche mit merklichen Fraßschäden (maximal 50 % der Blattmasse) stellt das Minimum der vergangenen 12 Jahre dar. Stärkere Fraßschäden traten nicht auf. Die Schäden konzentrieren sich auf

Eichenbestände nord- und südwestlich von Leipzig. Die durch Frostspannerarten verursachten fraßbedingten Blattverluste stagnierten auf dem sehr niedrigen Vorjahresniveau. Ursachen für den tendenziellen Rückgang sind neben den geringen Populationsdichten aus dem Vorjahr eine geringe Koinzidenz zwischen Blattaustrieb und Larvalentwicklung infolge der Frühjahrswitterung sowie der Einfluss anderer populationsreduzierender Faktoren, wie z. B. das Auftreten von Parasiten und Krankheiten.

Geringe fraßbedingte Blattverluste wurden im Juni auch an den WSE-Probepunkten registriert (vgl. Abb. 42). Bis zur Waldschadensinventur im August nahm die Belaubung der Probepflanzen um 6 % ab. Der Blattverlust der bonitierten Eichen liegt dadurch wieder auf dem Niveau der Vorjahre. Mit einer durchschnittlichen Belaubung von 67 % (2000) im Vergleich zu 60 % (1999) setzt sich die seit 1996 zu beobachtende, jährliche Zunahme des Blattverlustes nicht fort. Dies könnte Ausdruck einer beginnenden Revitalisierung nach den Fraßjahren 1993 bis 1997 in Kombination mit geringerem Befall durch **Eichenmehltau** (*Microsphaera alphitoides* Grif. &

Abb. 40: Skelettierfraß durch Eichenerdfloh

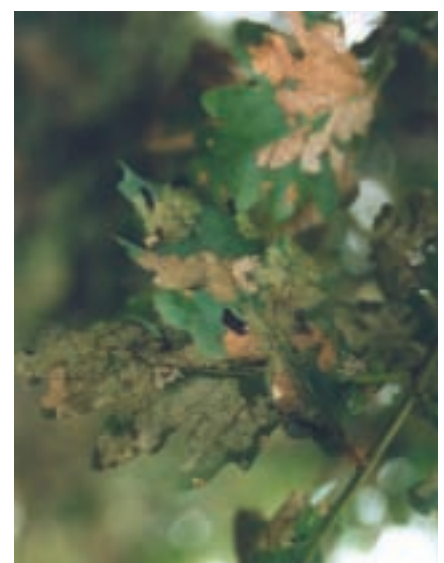


Abb. 41a, b (von oben nach unten): Befallsflächen durch Eichenwickler und Frostspanner in den Jahren 1989 bis 2000

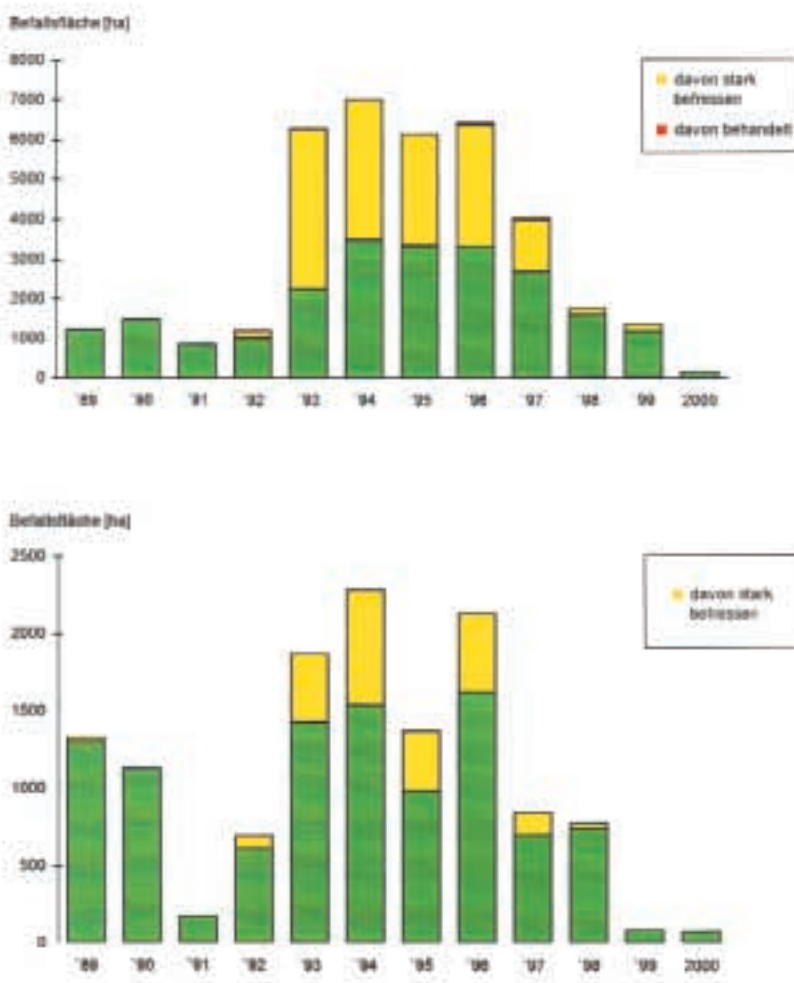
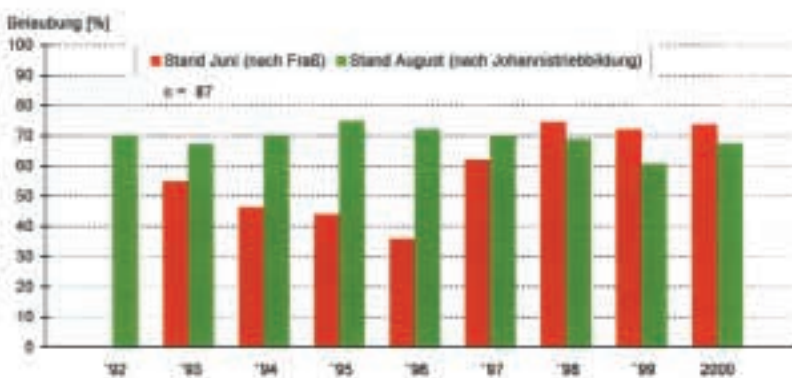


Abb. 42: Vergleich der durchschnittlichen Belaubung der Eichen an den WSE-Probepunkten im Juni (nach Fraß) und im August (nach Johannistriebbildung) in den Jahren 1993 bis 2000



Maubl.) sein. Ob es sich dabei um einen Trend handelt, werden die Aufnahmen der kommenden Jahre zeigen. In Eichenbeständen und auch an einzelnen unterständigen Eichen trat

besonders im Nordwesten, wie bereits zu Beginn der 90er-Jahre, der **Eichenerdfloh** (*Haltica quercetorum* Foud.) verstärkt auf. Durch den Skelettierfraß dieser Blattkäferart bekom-

men die befallenen Blätter ein pergamentartiges Aussehen (vgl. Abb. 40).

Buche

Kronenzustand

Der Kronenzustand der Buche hat sich im zurückliegenden 10-Jahres-Zeitraum tendenziell verschlechtert. Die deutlichen Schäden erhöhten sich von 4 % (1991) auf 25 % (2000), die durchschnittliche Kronenverlichtung von 11,0 auf 20,0 %. Die vorübergehende Erholung der Buche in den Jahren 1996 und 1997 steht in erster Linie in Zusammenhang mit einer günstigen Wasserhaushaltssituation zu Beginn der jeweiligen Vegetationsperiode. Seit 1997 nehmen die deutlichen Schäden wieder kontinuierlich zu. Von 1999 zu 2000 stiegen die deutlichen Schäden um 5 Prozentpunkte an. Der Flächenanteil der Buchen ohne Schadmerkmale blieb mit 31 % nahezu unverändert. Dagegen nahm der Anteil mit geringen Schäden um 6 Prozentpunkte auf 44 % ab (vgl. Abb. 43). Bei der mittleren Kronenverlichtung kommt diese Verschiebung in der Schadstufenverteilung nur abgeschwächt zum Ausdruck (1999: 18,7 %, 2000: 20,0 %).

Aufgrund des geringen Stichprobenumfanges sind die flächenrepräsentativen Ergebnisse der Zustandsbewertung der Buche jedoch nicht abgesichert. Die Gegenüberstellung der 19 untersuchten Bestände (vgl. Abb. 25 und Tab. 4) bringt zum Ausdruck, dass sich 1999/00 in keinem der Bestände der Kronenzustand im Vergleich zu 1991/92 verbessert hat, hingegen wies 1/3 der Bestände einen eindeutig kritischeren Kronenzustand auf.

Starker **Fruchtanhang** kann das Erscheinungsbild der Buchenkronen erheblich prägen. Eine möglicherweise auch längerfristige Wechselbeziehung zwischen Fruktifikation und Kronenzustand ist bei der Buche nicht auszu-

Abb. 43a, b (von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronverlichtung (KV) der Buche von 1991 bis 2000

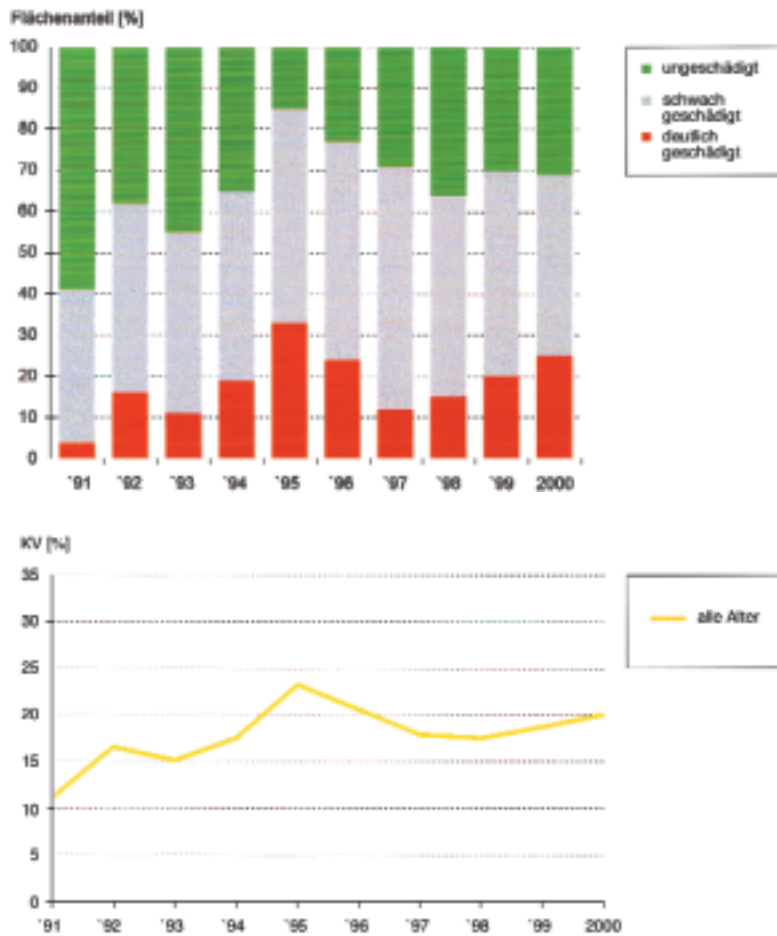
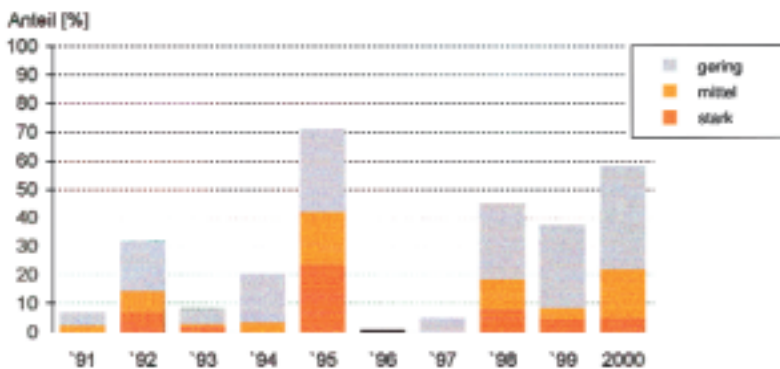


Abb. 44: Fruktifikation der Buche von 1991 bis 2000



schließen. In den vergangenen 3 Jahren trugen vergleichsweise viele der älteren Buchen Früchte. 2000 fruktifizierten über die Hälfte der älteren Buchen. Wie nachhaltig die Fruktifikation und der damit verbundene Verbrauch von Reservestoffen den Zustand der Buchen beeinträchtigt, hängt auch maßgeblich vom Auftreten weiterer belastender Faktoren ab.

Vergilbungen der Blätter wurden an 8 % aller Buchen festgestellt. Bei 1 % der Bäume führte die Blattverfärbung zu einer höheren Klassifizierung in der Kombinationsschadstufe.

Biotische Schäden

In Buchenbeständen aller Alter hielt die Massenvermehrung der **Buchen-**

blattgallmücke (*Mikiola fagi* Htg.) an. Das typische Befallssymptom sind eiförmige, zugespitzte Gallen auf den Blattoberseiten. Im Vergleich zum Vorjahr nahm die Intensität jedoch etwas ab.

Abb. 45: Stark fruktifizierende Buche



Sonstige Laubbäume

Kronenzustand

Insgesamt betrachtet besitzen die sonstigen Laubbäume (Birke, Ahorn, Esche, etc.) mit 23 % deutlichen Schäden ein niedrigeres Schadniveau als die Eiche und Buche. Aber auch bei den sonstigen Laubbäumen haben die Schäden in den letzten 10 Jahren zugenommen. Während Anfang der 90er-Jahre der Flächenanteil deutlicher Schäden zwischen 11 und 17 % schwankte, stieg er ab 1995 kontinuierlich an, erreichte 1998 mehr als 20 % und 1999 25 %. Parallel dazu war ein Rückgang des Anteils der ungeschädigten Fläche zu verzeichnen. Von 1999 zu 2000 hat sich der Belaubungszustand der sonstigen Laubbäume nur marginal verändert. Die stetige Schadzunahme wird durch den Verlauf der mittleren Kronverlichtung unterstrichen. In der Baumartengruppe der sonstigen Laubbäume ist die Birke zu

Abb. 46a, b (von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Laubbäume sowie der Birke von 1991 bis 2000

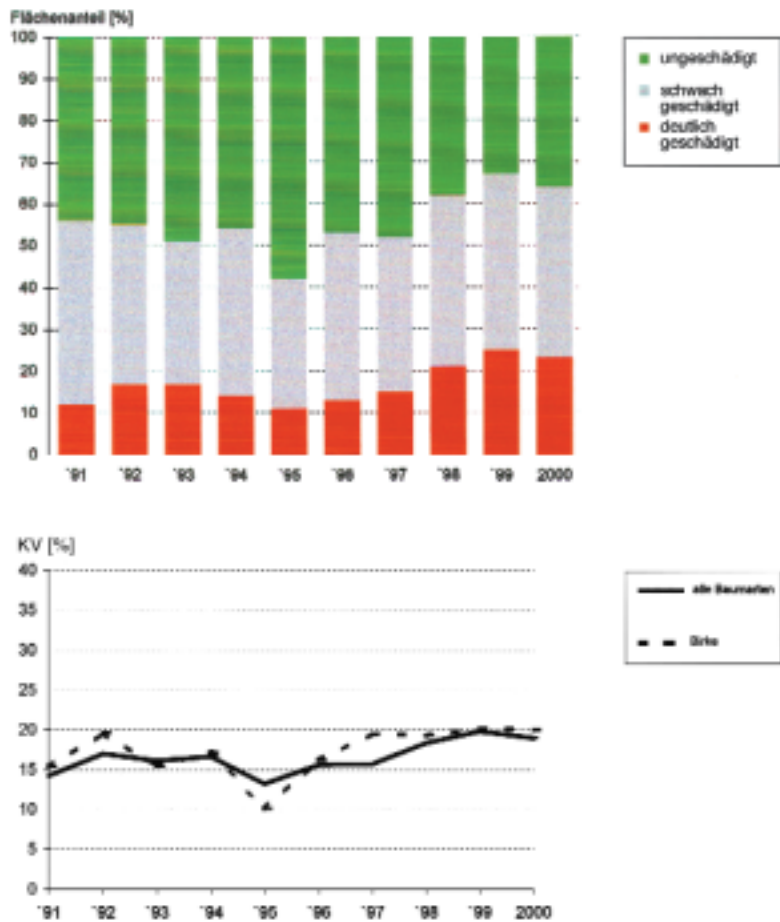


Abb. 47a,b: Befall durch die Roßkastanienminiermotte



mehr als der Hälfte vertreten. Eine gesonderte Auswertung verdeutlicht, dass sie den Schadverlauf in dieser Gruppe wesentlich bestimmt (vgl. Abb. 46). In den Jahren 1996 und 1997 hatte die Kronenverlichtung bei der Birke mar-

kant zugenommen und ist seitdem gleich hoch geblieben. In der Baumartengruppe der sonstigen Laubbäume wurden insgesamt 4 % aller Bäume mit zumeist geringen **Blattvergilbungen** bonitiert.

Biotische Schäden

Auch in diesem Jahr wiesen verschiedene Laubbaumarten, so z. B. Kastanie, Buche, Pappel, Ahorn, Birke u. a., Kronenschäden, insbesondere Blattverfärbungen, auf. Die Ursachen für diese z. T. sehr unspezifischen Symptome sind verschiedenartig und zum Teil noch nicht vollständig geklärt. Neben abiotischen Einflüssen (Frost, Trockenheit, Ozon) und biotischen Faktoren (Pilze, Insekten) spielt dabei auch deren Kombination eine Rolle. Es ist von einem regional- und baumartenspezifischen Ursachenkomplex auszugehen.

Im Frühjahr war in verschiedenen Gebieten der markante Befall (großflächige weiße, sehr auffällige Gespinste) durch **Gespinstmotten** (*Yponomeuta spec.*) an Einzelbäumen oder Sträuchern zu beobachten. Günstige Witterungsbedingungen während des Schwarmfluges im letzten Sommer und der für die überwinternden Larven günstige milde Winter förderten wahrscheinlich die Entwicklung von Arten dieser Gattung. Sehr auffällig, vor allem außerhalb des Waldes, war das Auftreten der **Roßkastanienminiermotte** (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic). Aufgrund der Entwicklung mehrerer Generationen in einem Jahr, nahm der Befall im Laufe des Sommers zu und führte an Einzelbäumen bzw. Baumgruppen (z. B. Alleen) zu einer vorzeitigen Blattverfärbung (Abb. 47).

Der Befall durch den **Blattpilz** *Marssonina betulae* (Lib.) Magn., der in den Vorjahren zu deutlichen Schäden an Sandbirken in den oberen Lagen des Erzgebirges führte, war in diesem Jahr wesentlich geringer. An Pappeln war der Befall durch den **Rindenbrand** (*Cryptodiaporthe populea* [Sacc.] Butin, Syn. *Dothichiza populea* Sacc. & Br.) und Pilzarten der Gattung *Pollaccia* ebenfalls rückläufig.

Der Absterbeprozess stark befallener Bäume setzte sich jedoch fort.

Die im Winter 1999/00 aufgetretenen Fraßschäden an Waldverjüngungen

mit Laubbaumarten durch Mäuse (besonders **Erd- und Feldmaus** [*Microtus agrestis* L. u. *Microtus arvalis* Pal.] sowie **Schermaus** [*Arvicola terrestris* L.]

waren im Vergleich zum Vorjahr deutlich geringer. Neben natürlichen Prozessen resultiert dieser auch aus den durchgeführten Gegenmaßnahmen.

Tabellarische Übersichten

Tab. 5: Baumartenverteilung in Sachsen sowie Baumarten- und Altersklassenverteilung der Stichprobenbäume im 4 x 4-km-Raster (entspricht 285 Stichprobenpunkten bzw. 6 840 Bäumen, Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	Aktuelle Baumartenverteilung*	Stichprobenbäume	Altersklasse (Jahre)					
			bis 20	21–40	41–60	61–80	80–100	> 100
Fichte	43,8	44	13	9	23	20	21	14
Kiefer	31,7	31	16	17	26	21	6	14
Sonstige Nadelbäume	3,6	5	60	16	13	5	2	4
Buche	2,8	2	0	16	20	21	3	40
Eiche	6,1	5	3	11	15	12	15	44
Sonstige Laubbäume	12,0	13	20	13	39	13	7	8
Alle Baumarten	100,0	100	16	13	25	18	13	15

*unter Fichte und Kiefer sind alle Fichten- bzw. Kiefernarten zusammengefasst, in der Stichprobe zählen nur *Picea abies* (L.) Karst. bzw. *Pinus sylvestris* L. dazu

Tab. 6: Schadstufenanteile im Jahr 2000 nach Baumarten/Baumartengruppen (Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	Fläche in ha	Schadstufe				
		0	1	2	3 und 4	2-4
		ohne Schadmerkmale	schwach geschädigt	mittelstark geschädigt	stark geschädigt/ abgestorben	deutlich geschädigt
Fichte	205 660	41	39	18	2	20
bis 60 Jahre	93 794	69	24	6	1	7
über 60 Jahre	111 866	17	51	29	3	32
Kiefer	147 115	54	35	10	1	11
bis 60 Jahre	86 991	64	30	6	0	6
über 60 Jahre	60 124	41	40	18	1	19
Sonstige Nadelbäume	22 813	72	17	11	0	11
Nadelbäume	375 588	48	36	15	1	16
Buche ¹⁾	11 406	31	44	25	0	25
Eiche	21 714	11	38	47	4	51
Sonstige Laubbäume	61 292	36	41	21	2	23
Laubbäume	94 412	30	41	27	2	29
Alle Baumarten	470 000 ²⁾	44	37	17	2	19
bis 60 Jahre	255 958	62	28	9	1	10
über 60 Jahre	214 042	23	47	27	3	30

¹⁾ keine gesicherte Aussage, ²⁾ Fläche ohne Nichtholzboden

Tab. 7: Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Nadel-/Blattvergilbungen
(Anteil Probestämme in %)

	Vergilbung		
	11–25 %	26–60 %	> 60 %
Fichte	6	1	0
Kiefer	4	0	0
Sonst. Nadelbäume	5	0	0
Buche	8	1	0
Eiche	8	2	0
Sonst. Laubbäume	3	1	0
alle Baumarten	5	1	0

Tab. 8: Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Insekten- und Pilzbefall
(Anteil Probestämme in %)

	Insektenbefall/Pilzbefall		
	gering	mittel	stark
Fichte	4/0	1/0	0/0
Kiefer	0/0	0/0	0/0
Sonst. Nadelbäume	4/0	7/0	1/0
Buche	5/5	0/2	0/0
Eiche	30/1	10/1	0/0
Sonst. Laubbäume	8/2	1/0	0/0
alle Baumarten	5/1	1/0	0/0

Tab. 9: Häufigkeit und Intensität von Blüte/Fruktifikation
(Anteil Probestämme in %)

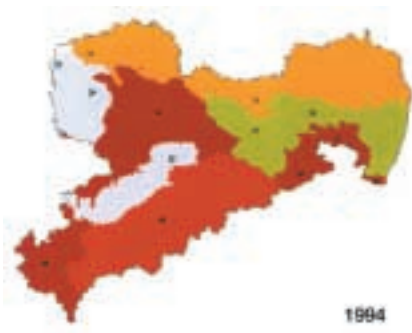
	Blüte bzw. Fruktifikation alle Alter/über 60 Jahre		
	gering	mittel	stark
Fichte	8/11	1/2	0/0
Kiefer	63/78	5/7	0/0
Sonst. Nadelbäume	14/42	3/8	0/0
Buche	31/36	13/17	4/5
Eiche	33/42	5/6	2/3
Sonst. Laubbäume	15/20	6/9	4/9
alle Baumarten	28/34	4/5	1/1

Regionale Ausprägung der Schäden

Wuchsgebiete (WG)

In Jahren, in denen eine Vollstichprobe im 4 x 4-km-Raster erhoben wurde (1991, 1992, 1994, 1997 bis 2000), besteht die Möglichkeit, Aussagen zum Schadausmaß in größeren Wuchsgebieten,

Abb. 48a–d (von oben nach unten): Anteil deutlicher Schäden 1991, 1994, 1997 und 2000 in den Wuchsgebieten, WG-Nummern vgl. Abb. 50b–g



ten Sachsens zu treffen. Bei Wuchsgebieten, die über das Territorium Sachsens hinausgehen, beziehen sich die Angaben ausschließlich auf den sächsischen Teil. Um auch kleine Wuchsgebiete bzw. Wuchsgebiete mit geringem Waldanteil in die Auswertung einbeziehen zu können, wurden sie, so weit es sinnvoll erschien, in Gruppen zusammengefasst. Für die Wuchsgebiete Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen, Leipziger-Sandlöss-Ebene und Erzgebirgsvorland reichte der Stichprobenumfang für eine Auswertung allein mit den sächsischen Daten nicht aus. Die Ergebnisse der Wuchsgebietsauswertung 2000 sind in Abb. 48a–d und 49 sowie Tab. 10 veranschaulicht. Die Abb. 50a–g zeigen die Entwicklungstrends der Schäden in den Wuchsgebieten, gestützt auf die Ergebnisse der Vollinventuren, wobei die Abb. 50a als Vergleich zum sachsenweiten Ergebnis herangezogen werden kann. Zu berücksichtigen ist, dass die Ergebnisse für die Wuchsgebiete von der jeweils dort vorherrschenden Baumarten- und Altersklassenverteilung bestimmt werden (vgl. Tab. 10 und 11).

Die regionale Auswertung der Waldschäden lässt erhebliche Unterschiede sowohl zwischen, z. T. aber auch innerhalb der Wuchsgebiete erkennen.

Der Anteil deutlicher Schäden variiert von 11 % in der Wuchsgebietsgruppe Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland (WG 14)/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland (WG 15) und 35 % im Wuchsgebiet Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (WG25).

Im **Erzgebirge** (WG 45), wo sich ca. 1/3 der sächsischen Waldfläche konzentriert, hat sich in diesem Jahr – erstmals seit Beginn der Erhebungen – der Waldzustand spürbar verbessert. 24 % der Waldfläche zeigen dort deutliche Schäden. Dieser Anteil liegt zwar immer noch um 5 Prozentpunkte höher als im Landesdurchschnitt, ist jedoch gegenüber dem Vorjahr (über 30 %) deutlich geringer geworden. Anhand der Boxplot-Darstellung (vgl. Abb. 49) wird andererseits deutlich, dass innerhalb des Wuchsgebietes Erzgebirge die Schadausprägung stark variiert, sodass sie bei einzelnen Waldbeständen weit über bzw. weit unter dem Durchschnittswert für das Wuchsgebiet liegt. Der Schadrückgang 2000 kommt auch in der Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung (vgl. Abb. 50f) zum Ausdruck. Die im Erzgebirge dominierende Fichte besitzt in diesem Jahr den besten Benadelungszustand des betrachteten 10-Jahres-Zeitraumes. Auch 1992 und

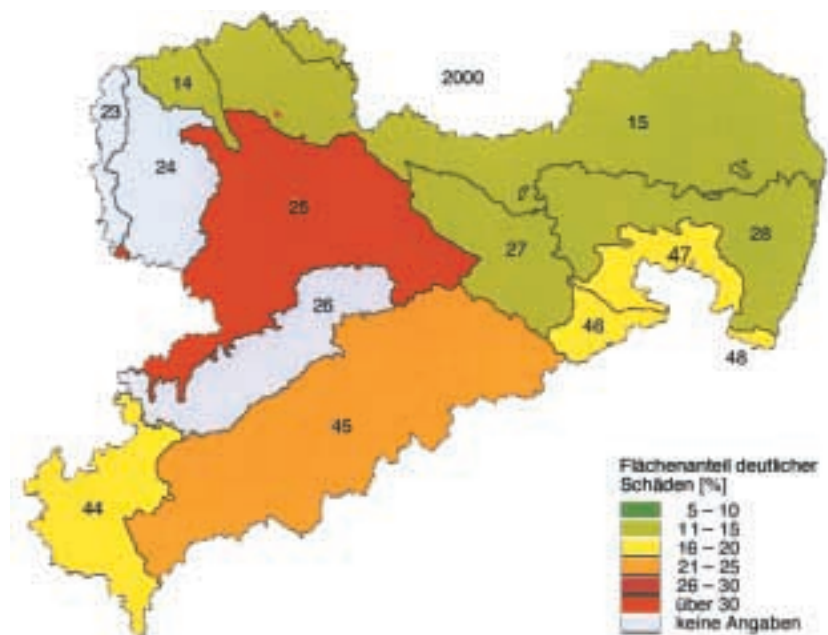


Abb. 49: Boxplot zur mittleren Kronenverlichtung (KV) am Stichprobenpunkt im Jahr 2000 in den Wuchsgebieten (Box umfasst 50 % der Werte, Balken = Median, o= Ausreißer)

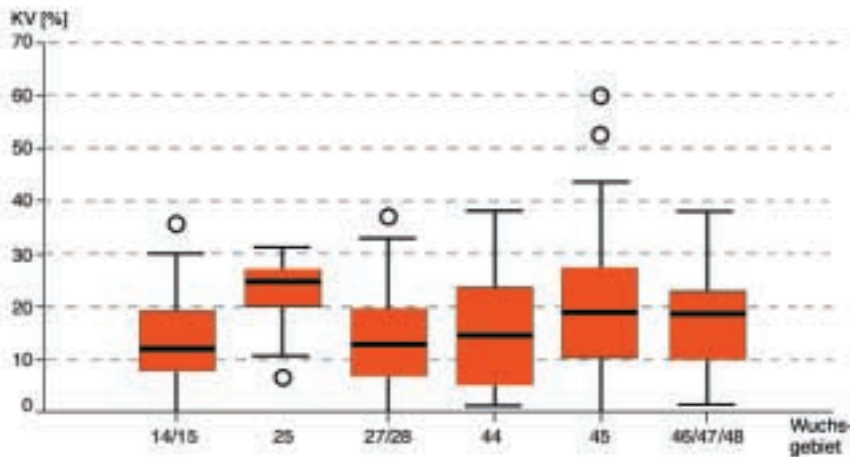
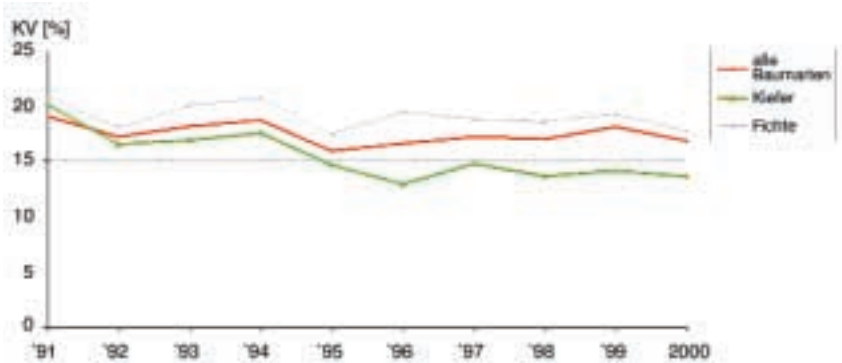
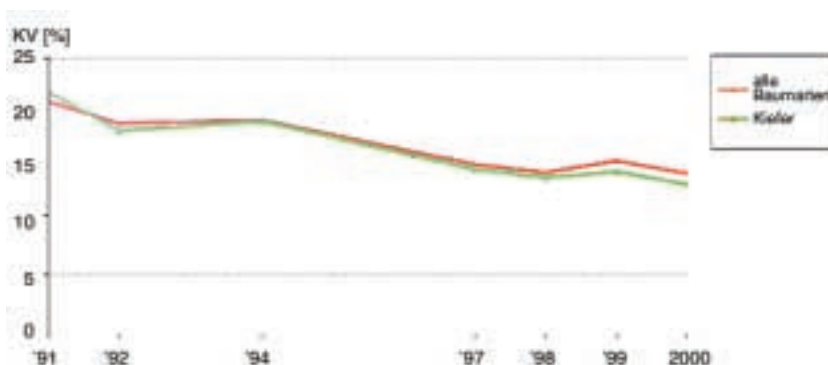


Abb. 50 a–g: Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 in Sachsen sowie in einzelnen Wuchsgebieten

a: Sachsen



b: Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland (WG 14)/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland (WG 15)



1998 wurden Kronenzustandsverbesserungen registriert, die allerdings nur von kurzzeitiger Dauer waren. Inwieweit sich die positive Bilanz 2000 als allgemeiner Trend durchsetzen wird, können erst die Erhebungen kommenden Jahre klären.

Wie steht es nun um den Waldzustand in den ehemaligen Schwerpunktgebieten des Erzgebirges? Charakterisieren die 1990 ausgewiesenen Immissions-schadzonen (vgl. Abb. 25) noch die aktuellen Schadschwerpunkte? Abb. 51 verdeutlicht die Schadentwicklung der Schäden innerhalb dieser Immissions-schadzonen, die im Wesentlichen Gebiete mit „Klassischen Rauchschäden“ unterschiedlicher Intensität abgrenzen. Die aktuellen Schäden im Erzgebirge korrelieren nach wie vor mit den 1990 ausgewiesenen Immissions-schadzonen. Vor allem in Gebieten, die ehemals mit katastrophalen bzw. starken Schäden ausgewiesen wurden, ist der Kronenzustand der Fichten nach wie vor schlechter als in vormals weniger stark geschädigten Gebieten. 1991 deutete sich zunächst eine Nivellierung der Schäden zwischen den Immissions-schadzonen an.

Akute Schädigungen in Fichtenbeständen im Winter 1995/96 durch hohe Schadstoffkonzentrationen und Witterungsextreme führten jedoch erneut zu einer Polarisierung. In Beständen mit hohen Vorschädigungen verschlechterte sich der Gesundheitszustand der Fichten drastisch. Der mittlere Nadelverlust erhöhte sich bei den Fichten in der Immissions-schadzone I_{extrem} (= überwiegend katastrophale Schäden) um das 4fache des 1994er-Wertes und lag damit erheblich höher als zu Beginn der Erhebung 1991. Seit 1997 entspannte sich die Situation kontinuierlich. Bis auf die Immissions-schadzone I_{extrem} sind die Kronen der Fichten im Erzgebirge heute überall dichter benadelt als 1991.

Einen weiteren regionalen Schadschwerpunkt Sachsens stellt das Wuchsgebiet

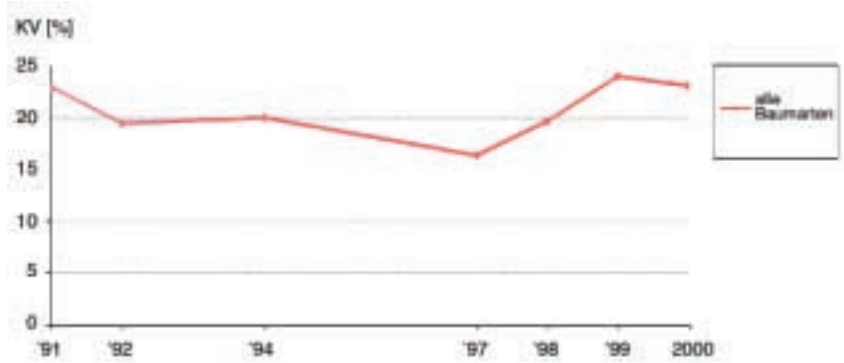
Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (WG 25) dar. Dort ist das Schadniveau inzwischen höher als im Erzgebirge (vgl. Abb. 49) und variiert zwischen den Beständen weniger stark. Der Schadrückgang im Zeitraum 1991 bis 1997 kehrte sich ab 1998 ins Gegenteil um (vgl. Abb. 50c). Von 1997 zu 1998 erhöhte sich der Anteil deutlicher Schäden um 8 Prozentpunkte auf 27 %, 1999 dann um weitere 12 Prozentpunkte auf 39 %. Auch im Jahr 2000 bleiben die Schäden mit 35 % auf nahezu gleich hohem Niveau. Diese Entwicklung ist in erster Linie auf die Verschlechterung des Zustandes der dort dominierenden Laubbaumarten, insbesondere der Eichen, zurückzuführen.

Das **Vogtland** (WG 44) liegt mit 17 % deutlichen Schäden knapp unter dem Landesmittel. Das allgemeine Schadniveau ist dort in den letzten drei Jahren etwa gleich geblieben. Der 1998 beobachtete leichte Anstieg der Schäden bei der Fichte hat sich nicht fortgesetzt (vgl. Abb. 50e).

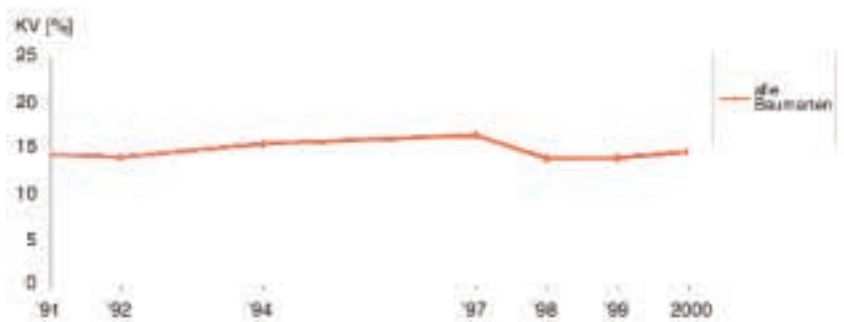
Die Wuchsgebiete **Elbsandsteingebirge/Oberlausitzer Bergland/Zittauer Gebirge** (WG 46, 47, 48) liegen – ähnlich wie das Vogtland – im mittleren Schadbereich. Auf 19 % der Fläche zeigen die Bäume eine deutliche Kronenverlichtung. Dies ist ein Anstieg von 3 Prozentpunkten im Vergleich zum Vorjahr. Der Verlauf der durchschnittlichen Kronenverlichtung weist jedoch nur eine geringe Dynamik auf (vgl. Abb. 50g).

Das Schadniveau in den Wuchsgebieten **Westlausitzer Platte und Elbtalzone/Lausitzer Löss-Hügelland** (WG 27, 28) war bislang nur geringen Schwankungen unterworfen (vgl. Abb. 50d). Auch 2000 hat sich der Kronenzustand in diesen Wuchsgebieten kaum verändert. Die deutlichen Schäden nehmen – genau wie im Vorjahr – einen Anteil von 12 % ein und liegen

c: Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (WG 25)



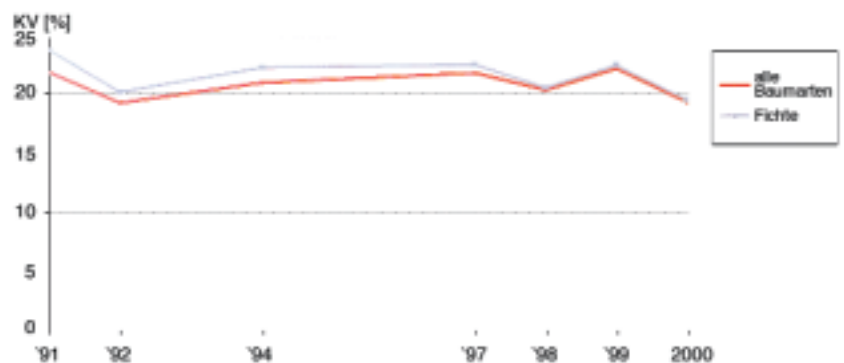
d: Westlausitzer Platte und Elbtalzone (WG 27)/Lausitzer Löss-Hügelland (WG 28)



e: Vogtland (WG 44)



f: Erzgebirge (WG 45)



g: Elbsandsteingebirge (WG 46)/Oberlausitzer Bergland (WG 47)/Zittauer Gebirge (WG 48)

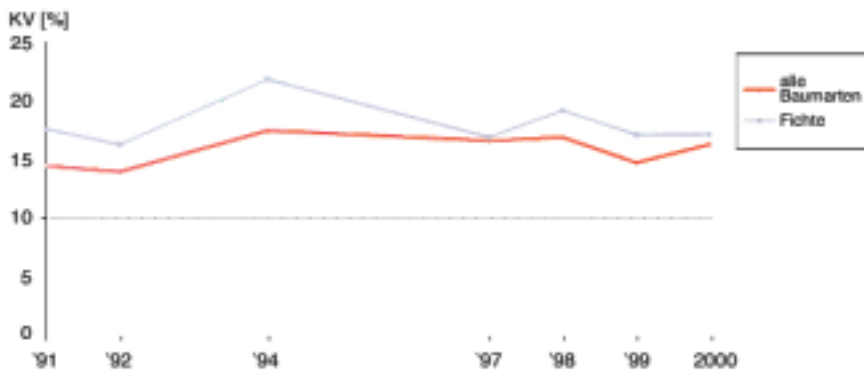


Abb. 51: Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Fichte im Erzgebirge von 1991 bis 2000 in den Immissionschadzonen (Stand: 1990)

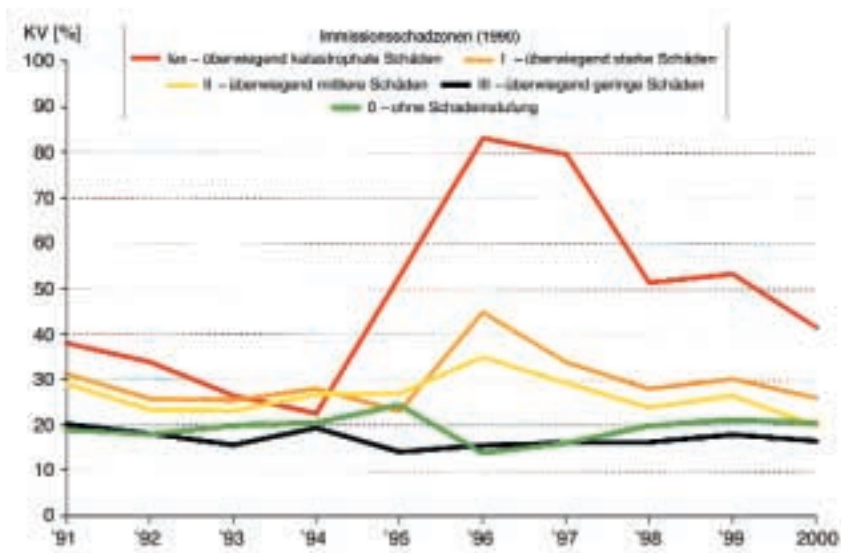
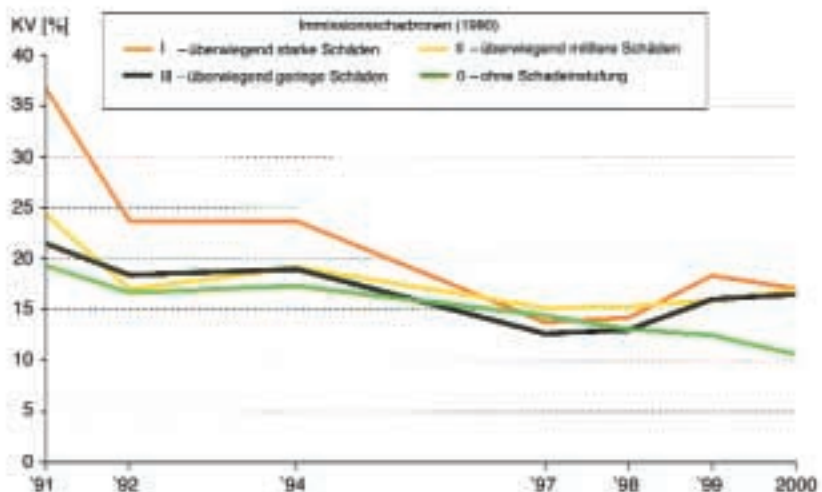


Abb. 52: Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Kiefer in den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland von 1991 bis 2000 in den Immissionschadzonen (Stand: 1990)



damit um 7 Prozentpunkte unter dem Landesmittel.

In den Wuchsgebieten **Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/ Düben-Niederlausitzer Altmoränenland** (WG 14, 15) wurden bei der diesjährigen Erhebung nur 11 % deutliche Schäden diagnostiziert. Wie der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der Kiefer veranschaulicht, verbesserte sich insbesondere der Zustand der in diesen Wuchsgebieten dominierenden Kiefern (82 % Anteil) gegenüber 1999 noch mehr. Ein langfristiger Verbesserungstrend ist erkennbar (vgl. Abb. 50b).

Auch für diese beiden Wuchsgebiete wurde anhand der Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung der Kiefern in den 1990 ausgewiesenen Immissionschadzonen geprüft, inwieweit die „Klassischen Rauchschadgebiete“ heute noch relevant sind und regionale Schadschwerpunkte charakterisieren. Bereits 1991 waren nur noch die Kiefern in der Immissionschadzone I (= überwiegend starke Schäden) stärker verlichtet als Kiefern in den anderen Immissionschadzonen. Seit 1997 ist aber auch diese Differenzierung aufgehoben. Die Schäden haben sich auf einem niedrigen Niveau angeglichen (vgl. Abb. 52).

Tab. 10: Baumartenverteilung der Stichprobenbäume in den Wuchsgebieten (Angaben in %)

Wuchsgebiet	ges.	- 60 Jahre	> 60 Jahre	Fichte	Kiefer	Sonstige Nadelbäume	Buche	Eiche	Sonstige Laubbäume
14* Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland									
15* Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland	29	62	38	3	82	0	0	3	12
23* Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen									
24* Leipziger Sandlöss-Ebene	3	50	50	0	0	5	0	27	68
25* Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	6	50	50	19	20	5	1	15	40
26* Erzgebirgsvorland	2	86	14	68	1	16	1	9	5
27 Westlausitzer Platte und Elbtalzone									
28 Lausitzer Löss-Hügelland	10	57	43	26	32	0	6	13	23
46 Elbsandsteingebirge									
47 Oberlausitzer Bergland									
48 Zittauer Gebirge	11	59	41	52	17	17	6	1	7
44* Vogtland	6	37	63	69	13	4	1	5	8
45 Erzgebirge	33	47	53	84	1	6	3	1	5
Sachsen	100	54	46	44	31	5	2	5	13

*Wuchsgebiet erstreckt sich über mehrere Bundesländer; betrachtet wird der sächsische Teil

Tab. 11: Schadstufenanteile im Jahr 2000 in den Wuchsgebieten (Angaben in %)

Wuchsgebiet	Baumart/Alter	Schadstufen		
		0	1	2 bis 4
14* Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	alle Baumarten	54	35	11
15* Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland	Kiefer	58	33	9
23* Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen		keine Aussage möglich		
24* Leipziger Sandlöss-Ebene		keine Aussage möglich		
25* Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	alle Baumarten	20	45	35
26* Erzgebirgsvorland		keine Aussage möglich		
27 Westlausitzer Platte und Elbtalzone				
28 Lausitzer Löss-Hügelland	alle Baumarten	53	35	12
46 Elbsandsteingebirge				
47 Oberlausitzer Bergland	alle Baumarten	45	36	19
48 Zittauer Gebirge	Fichten	38	41	21
44* Vogtland	alle Baumarten	50	33	17
	Fichten	46	37	17
45 Erzgebirge	Fichten ges.	37	39	24
	bis 60 Jahre	68	23	9
	über 60 Jahre	13	52	35
	alle Baumarten	37	39	24
	bis 60 Jahre	65	24	11
	über 60 Jahre	12	53	35
Sachsen		44	37	19

*Wuchsgebiet erstreckt sich über mehrere Bundesländer; hier sächsischer Teil

Abb. 53: Schadstufenverteilung in den Forstdirektionen

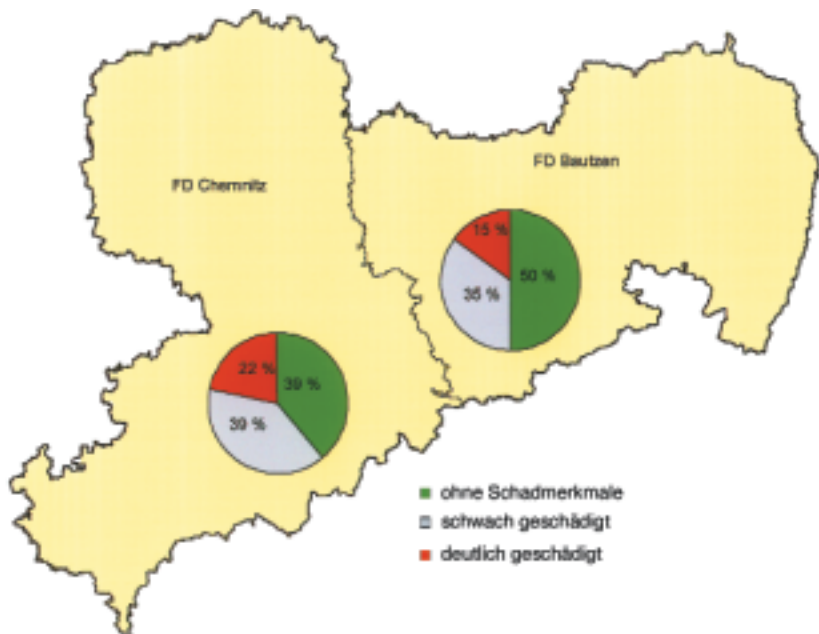
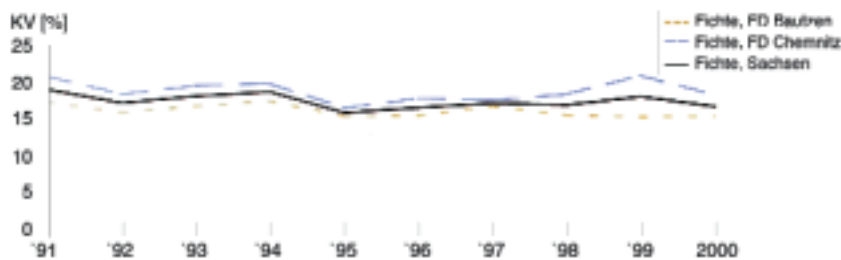
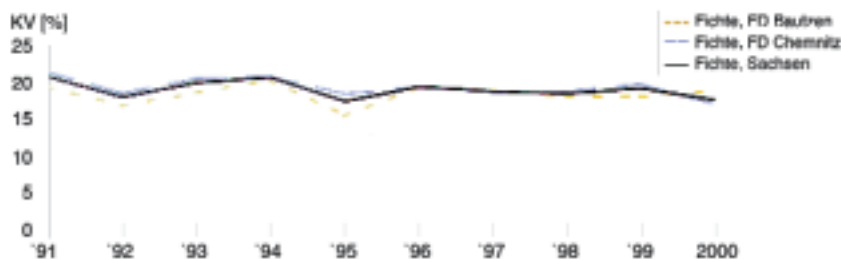


Abb. 54a–c: Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 im Bereich der Forstdirektionen Bautzen und Chemnitz

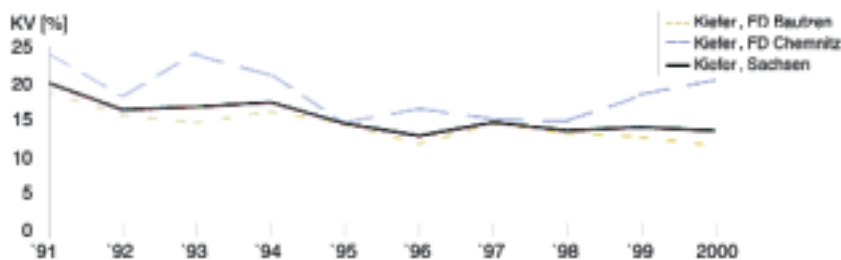
a: alle Baumarten



b: Fichte



c: Kiefer



Forstdirektionen

Wie schon bei vorangegangenen Aufnahmen, ist der Zustand der Wälder in Ostsachsen (FD Bautzen) weniger kritisch einzuschätzen als in Westsachsen. Die Abb. 53, 54a–c und Tab. 13 belegen dies.

Im Bereich der Forstdirektion Bautzen verharren die deutlichen Schäden 2000 auf dem relativ niedrigen Niveau der letzten drei Jahre. Im Bereich der Forstdirektion Chemnitz haben sie um immerhin 9 Prozentpunkte abgenommen. Sie erreichten in diesem Jahr etwa wieder den Wert von 1998, sind jedoch um 7 Prozentpunkte höher als in Ostsachsen. Das West-Ost-Schadgefälle bleibt somit auf niedrigerem Niveau weiter bestehen.

In beiden Forstdirektionen entfallen anteilig etwa 3/4 der Bestockung auf Fichte und Kiefer. Allerdings dominiert in West-Sachsen die Fichte mit 60 % und in Ostsachsen die Kiefer mit 48 % (vgl. Tab. 12).

Der Gesundheitszustand beider Baumarten hat sich, bezogen auf das Vorjahr, in Ost- bzw. Westsachsen gegenläufig entwickelt. Die Schädigung der Fichte ist in Westsachsen wesentlich zurückgegangen, in Ostsachsen dagegen leicht angestiegen.

Die Zustandsentwicklung der Kiefer verlief umgekehrt: in West-(speziell Nordwest-)sachsen haben die Schäden im Vergleich zum Vorjahr etwas zugenommen, während in Ostsachsen die ohnehin geringeren Schäden noch etwas abnahmen. Möglicherweise ist die diesjährige Verschlechterung des Benadelungszustandes der Kiefer speziell auf den Sandstandorten Nordwestsachsens auf die Frühjahrstrockenheit zurückzuführen. Der Jahresvergleich 1991/92 mit 1999/00 veranschaulicht (vgl. Abb. 25) jedoch auch für Nordwestsachsen langfristig eher eine Zustandsverbesserung der Kiefer.

Tab. 12: Baumartenverteilung der Stichprobenbäume in den Forstdirektionen (Angaben in %)

Forstdirektion	ges.	- 60	> 60	Fichte	Kiefer	Sonstige Nadelbäume	Buche	Eiche	Sonstige Laubbäume
Bautzen	52	57	43	29	47	4	3	4	13
Chemnitz	48	48	52	59	15	6	2	5	13
Sachsen	100	54	46	44	31	5	2	5	13

Tab. 13: Schadstufenanteile im Jahr 2000 in den Forstdirektion (Angaben in %)

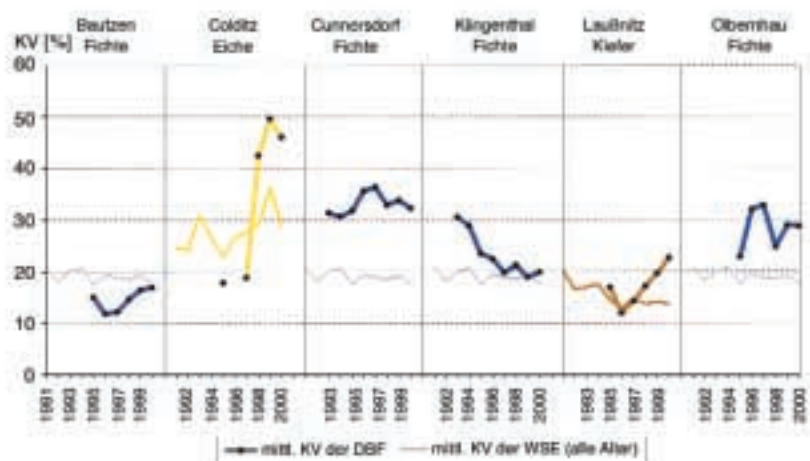
Forstdirektion	Baumart/Alter	Schadstufen		
		0	1	2 bis 4
Bautzen	Fichte	37	38	25
	Kiefer	63	32	5
	Laubholz	37	39	24
	alle Baumarten	50	35	15
	bis 60 Jahre	63	28	9
	über 60 Jahre	33	44	23
Chemnitz	Fichte	43	39	18
	Kiefer	26	44	30
	Laubholz	23	43	34
	alle Baumarten	39	39	22
	bis 60 Jahre	62	28	10
	über 60 Jahre	14	50	36
Sachsen	alle Baumarten	44	37	19

Kronenzustand auf den Dauerbeobachtungsflächen

Auf den im Rahmen des europäischen Level-II-Programms ab 1993 angelegten Dauerbeobachtungsflächen (DBF) erfolgt jährlich eine Bonitur des Kronenzustandes. Ein Vergleich der mittleren Kronenverlichtung der einzelnen Flächen mit den flächenrepräsentativen Ergebnissen der Waldschadenserhebung verdeutlicht (vgl. Abb. 55), dass die DBF-Ergebnisse den Kronenzustand baumarten- und regionalspezifisch überwiegend gut widerspiegeln. Eine deutliche Differenzierung besteht allerdings zwischen den einzelnen Flächen.

An den Kiefern der DBF Laußnitz wurde 1996 eine mittlere Kronenverlichtung von 11,9 % und seitdem ein stetiger Anstieg auf 22,6 % im Jahr 2000 registriert. Für die Eichen in Colditz wurden in den Jahren 1995

Abb. 55: Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 auf den Dauerbeobachtungsflächen (zugeordnet entsprechend den Baumartenergebnissen der Waldzustandserhebung)



und 1997 Kronenverlichtungen von unter 20 % bonitiert, 1998 bis 2000 dagegen Zunahmen auf 40–50 % festgestellt. Die mittlere Kronenverlichtung liegt 2000 mit 46,9 % weit über den bereits extrem hohen Werten der Waldschadenserhebung. Die Fichten

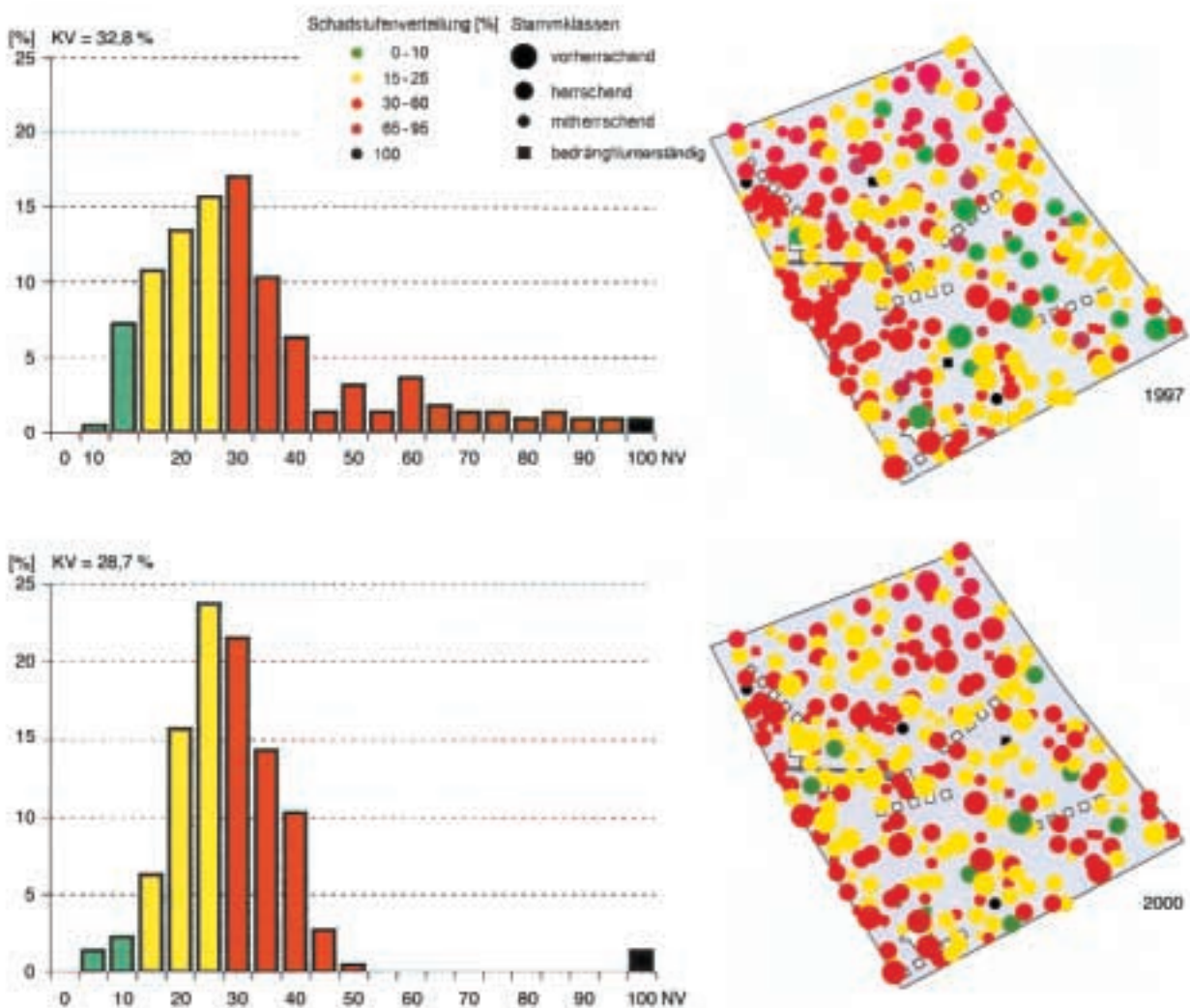
auf der DBF Bautzen haben den vergleichsweise besten Kronenzustand. Entgegen dem landesweiten Trend ist hier jedoch ein Anstieg der Kronenverlichtung festzustellen. Im Klingenthaler Fichtenbestand ging die Kronenverlichtung von ursprünglich fast

30 % auf unter 20 % stetig zurück. Die Fichtenfläche mit der höchsten Kronenverlichtung befindet sich in Cunnnersdorf. Das Nadelverlustprozent schwankt dort seit nunmehr 8 Erhebungsjahren zwischen 30 und 36 %. Stärker aufgelichtete Kronen waren dort z. B. nach dem Winter 1995/96 zu beobachten. Noch stärker wirkten sich die Schädigungen auf die Fichten in Olbernhau aus. Die mittlere Kronenverlichtung verblieb bis 1997 auf diesem hohen Niveau. Seitdem regenerieren die Fichten auf der DBF Ol-

bernhau wieder allmählich. Die durchschnittliche Kronenverlichtung sank innerhalb der vergangenen vier Jahre von 32,8 % (1997) auf 28,7 % (2000) ab. Selbst bei Bäumen mit starken Schäden hat sich der Kronenzustand verbessert (vgl. Abb. 55). Die räumliche Verteilung des Kronenzustandes der Fichten auf der DBF Olbernhau zeigt Abb. 56. Von den insgesamt 252 Bäumen gingen nur 223 herrschende Bäume (KRAFT 1–3) in die Auswertungen ein. Deutlich wird das aggregierte Auftreten von Fichten mit gerin-

ger Kronenverlichtung als Weiser für eine gute gesundheitliche Konstitution. Fichten mit deutlicher Kronenverlichtung (KV > 25 %) sind ebenfalls ungleichmäßig auf der Fläche vertreten. 1997 wiesen 9 % der Fichten eine starke Kronenverlichtung (KV > 60 %) auf, bis 2000 ging ihr Anteil auf 1 % zurück. Die beiden Verteilungskurven (vgl. Abb. 56) unterscheiden sich augenscheinlich.

Abb. 56: Häufigkeitsverteilungen (Fichten der KRAFT'schen Stammklassen 1–3) und räumliche Verteilung der Kronenverlichtung (KV) aller Fichten mit zugeordneten Stammklassen auf der Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau (oben 1997; unten 2000)



Verbiss-erhebung auf Verjüngungsflächen

Im Frühjahr 2000 wurde nach 1995 und 1998 die 3. landesweite Erhebung von Wildverbiss an der Waldverjüngung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Inventur fließen in die Erarbeitung forstlicher Gutachten ein. Mit diesen Gutachten nehmen die Forstämter eine zusammenfassende Wertung der vorhandenen Wilddichte vor und können damit die Aufstellung und Festsetzung der Abschusspläne beeinflussen. Das im sächsischen Waldgesetz vorgegebene Ziel ist dabei, ein Gleichgewicht zwischen Wald und Wild zu schaffen, sodass eine natürliche Waldverjüngung möglich ist.

Ähnlich der WSE wird die Erhebung in Form einer Stichprobe durchgeführt, wobei in einem 1 x 1-km-Raster geeignete Verjüngungsflächen erfasst werden. Da ein entwicklungshemmender Leit- bzw. Terminaltriebverbiss nur bis zu einer Pflanzenhöhe von 1,5 m erfolgen kann, sind Verjüngungsflächen nur zeitlich befristet für die Aufnahme geeignet. Die 3 durchgeführten Erhebungen beziehen sich dadurch größtenteils auf unterschiedliche Flächen.

In diesem Jahr gingen ca. 4 700 Flächen in die Inventur ein. Davon waren 29 % nur mit Nadelbäumen, 55 % nur mit Laubbäumen und 16 % in Mischung bestockt. 42 % aller erfassten Verjüngungsflächen waren vor Wildverbiss, vor allem durch Wildschutzzäune (86 %), geschützt. Bei den Laubbaum- und Mischverjüngungen lag dieser Anteil bei 50 % bzw. 56 %. Im Vergleich zu den vorangegangenen Erhebungen hat dieser Anteil deutlich abgenommen, wobei die Reduktion vor allem seit 1998 erfolgte. Der nach wie vor hohe Anteil **geschützter** Flächen zeigt, dass sich in der Regel die gebietstypischen, standortangepassten Hauptbaumarten der natürlichen Waldgesellschaft noch nicht ohne

Abb. 57: Verbiss-Prozente wichtiger Baumarten 1995, 1998 und 2000

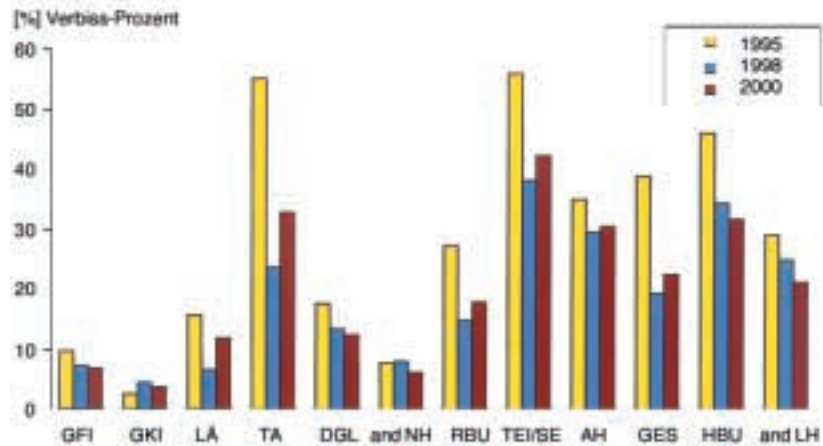
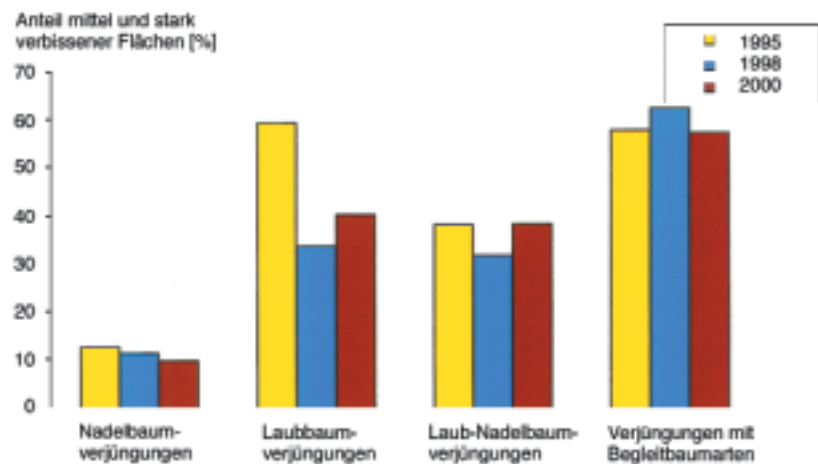


Abb. 58: Anteil von Nadel- und Laubbaumverjüngungsflächen sowie Flächen mit einer natürlichen Waldverjüngung in den Jahren 1995, 1998 und 2000, für die das Verbiss-Prozent (Haupt- bzw. Begleitbaumarten) > 20 % ist



Schutzmaßnahmen verjüngen lassen und dass damit die ökologisch und wirtschaftlich tragbare Wilddichte noch nicht erreicht ist.

Auf ca. 2 700 **ungeschützten** Flächen erfolgte an etwa 210 000 Pflanzen eine Bonitur hinsichtlich des entwicklungshemmenden Leit- bzw. Terminaltriebverbisses. Nachdem in den Inventuren 1995 und 1998 hauptsächlich Fichten bonitiert wurden (1995: 43 %; 1998: 34 %), waren es in diesem Jahr mit 36 % vor allem Buchen. Die Laubbaumarten dominieren mit 53 % die aktuelle Erhebung. 1995 lag ihr Anteil bei nur 21 %. Diese Veränderung dokumentiert den in den letz-

ten Jahren durchgeführten Waldumbau. In der *Abb. 57* sind für die wichtigsten Baumarten und Baumartengruppen die Anteile verbissener Pflanzen (Verbiss-Prozente) dargestellt.

Die *Abb. 57* verdeutlicht die unterschiedliche Verbissgefährdung der einzelnen Baumarten, die bei allen bisher durchgeführten Erhebungen in gleicher Weise zum Ausdruck kam. Sie ist besonders bei den Laubbaumarten und bei Tanne hoch. Im Mittel aller Laubbaumarten wurde im vergangenen Winterhalbjahr etwa jede 4. ungeschützte Pflanze (23 %) aufgrund des Verbisses in ihrer Entwicklung gehemmt. Für die Nadelbäume fällt das

mittlere Verbiss-Prozent mit 6,5 % deutlich geringer aus.

Bei einem Vergleich der Inventuren von 1995, 1998 und 2000 sind für die dominierenden Baumarten zwei unterschiedliche Tendenzen erkennbar. Für Fichte und Kiefer ging das Verbiss-Prozent 2000 im Vergleich zu 1998 zurück. Besonders für diese beiden Baumarten ist bei der Interpretation dieses Trends der durch die naturnahe (Landeswald) bzw. eingeschränkte Bewirtschaftung (Treuhandwald) bedingte Wechsel in den vorherrschenden Verjüngungsarten zu berücksichtigen. 1995 handelte es sich bei dreiviertel der bonitierten Flächen um Wiederaufforstungen. 8 % der bearbeiteten Flächen waren Naturverjüngungen. In diesem Jahr betrug der Anteil von Wiederaufforstungen nur noch 19 % und der Anteil Naturverjüngungen erhöhte sich auf 35 %. Wie auch für die anderen Baumarten ist das Verbiss-Prozent für Fichte und Kiefer in Naturverjüngungen deutlich geringer als in Pflanzungen (Wiederaufforstungen, Voranbauten u. a.).

Eine grundsätzlich andere Tendenz ist für die Laubbaumarten und auch einige Nadelbaumarten (Lärche und Tanne) zu erkennen. Nach einem deutlichen Rückgang der Verbiss-Prozente von 1995 zu 1998 stiegen diese 2000 an, ohne jedoch das Ausgangsniveau wieder zu erreichen.

Die gesetzlich geforderten, ökologisch begründeten Wilddichten führen zu tolerierbarem Verbiss auf den Verjüngungsflächen und sollen eine natürliche Waldverjüngung ermöglichen. Diese Situation ist erreicht, wenn auf den Verjüngungsflächen **weniger als 20 %** der vorhandenen Pflanzen einen Leittriebverbiss aufweisen. Obwohl der landesweite Mittelwert mit 15,3 % unter dieser Schadensschwelle liegt, sind die Schäden auf einzelnen Flächen deutlich höher. In der *Abb. 58* sind im Vergleich zu den vorangegangenen Inventuren, getrennt für die

Verjüngungsflächen mit Nadel- bzw. Laubbaumarten und für alle Verjüngungsflächen, auf denen mindestens 50 Pflanzen von Begleitbaumarten in die Beurteilung der natürlichen Waldverjüngung eingingen, die Flächenanteile dargestellt, auf denen das Verbiss-Prozent über 20 % liegt.

Analog zu den einzelnen Baumarten (*vgl. Abb. 57*) zeigt sich auch der Trend für die nach ihrer Baumartenzusammensetzung gruppierten Flächen. Der Anteil von ungeschützten Nadelbaumverjüngungen mit nicht tolerierbaren Verbiss-Schäden ging von 1995 an geringfügig aber stetig zurück. Bei den Flächen, die mit Laubbäumen bzw. gemischt bestockt sind, erhöhte sich dieser Anteil in diesem Jahr nach einem deutlichen Rückgang von 1995 zu 1998 wieder. Das deutet auf einen Rückschritt bei der Erreichung des angestrebten Zieles in dieser Bewertungskategorie hin. Auch der nahezu gleich bleibend hohe Anteil von Flächen, auf denen die natürliche Waldverjüngung in Form der Begleitbaumarten ein Verbiss-Prozent über 20 % aufweist, zeigt, dass die aktuelle Verbissituation noch nicht den gesetzlichen Forderungen nach einer ökologisch tragbaren Wilddichte entspricht.

Bei einem Vergleich der Waldgebiete, in denen die Forstverwaltung sowohl die Waldbewirtschaftung als auch die Jagd durchführt (Verwaltungsjagdbezirke), mit den Waldgebieten, in denen die Forstverwaltung nicht für die Bejagung verantwortlich ist (Eigen- bzw. gemeinschaftliche Jagdbezirke), wird deutlich, dass die Verwaltungsjagdbezirke führend in der Erreichung der angestrebten ökologisch und wirtschaftlich tragbaren Wilddichte sind. Im Landesdurchschnitt ist der Verbiss der Laubbaumarten und damit verbunden auch der Anteil mittel und stark verbissener Laubbaumverjüngungen in den Verwaltungsjagdbezirken geringer als in den anderen Jagdbezirken.

Gleichzeitig sind die Verwaltungsjagdbezirke durch einen geringeren Anteil geschützter Laubbaumverjüngungen gekennzeichnet.

Diese aggregierten Landesdaten setzen sich aus regional sehr stark differierenden Einzeldaten zusammen, sodass Aussagen für kleinere Flächeneinheiten, wie sie durch die forstlichen Gutachten getroffen werden, mehr oder weniger stark davon abweichen können.

Bodenzustand

Der jahrzehntelange Eintrag von Schadstoff- und Säureeinträgen in die Waldökosysteme hat zu einer großflächigen Nährstoffverarmung und Versauerung der Böden geführt, was wiederum eine teilweise drastische Verschlechterung der Ernährungsbedingungen der Wälder und ihrer Vitalität und Stabilität bewirkte.

Untersuchungen zum Zustand der Waldböden haben einen hohen Stellenwert, denn die Böden stellen die wichtigste Quelle für lebensnotwendige Nährstoffe und das Niederschlagswasser in pflanzenverfügbarer Form dar und sind unmittelbar in den Stoffkreislauf des Ökosystems eingebunden. Böden können durch übermäßige Stoffbelastung selbst zur Schadstoffquelle werden.

Basensättigung

Der entscheidende Kennwert zur Charakterisierung der Bodenversauerung sowie zur Einschätzung der aktuellen Elastizität des Bodens gegen Säurebelastungen ist die Basensättigung. Sie stellt den Anteil der „basischen“ Kationen Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium an dem austauschbar an die Bodenkolloide angelagerten, pflanzenverfügbaren Kationenvorrat (KAK) des Bodens dar. Der Rest wird von den so genannten Kationsäuren (H, Fe, Al, Mn) gebildet.

Die Untergliederung der Basensättigung zur Beurteilung der Elastizität gegenüber Säurebelastungen zeigt das Bewertungsschema des Arbeitskreises Standortkartierung in *Tab. 14*. In den *Abb. 61a und b* sind die Basensättigungsgrade auf der Basis einer statistischen Auswertung sämtlicher BZE-Punkte flächig für verschiedene Tiefenstufen dargestellt. Sie geben damit die diesbezügliche Situation im Wurzelbereich des Mineralbodens wieder. Es wird deutlich, dass geringe (5–15 %) und sehr geringe (< 5 %) Basenanteile

Abb. 59a, b: Bodenprofil der Bodenzustandserhebung in einem Mischbestand aus Eichen und Buchen im Sächsischen Forstamt Taura, Revier Reudnitz (Bodentyp: Pseudogley)

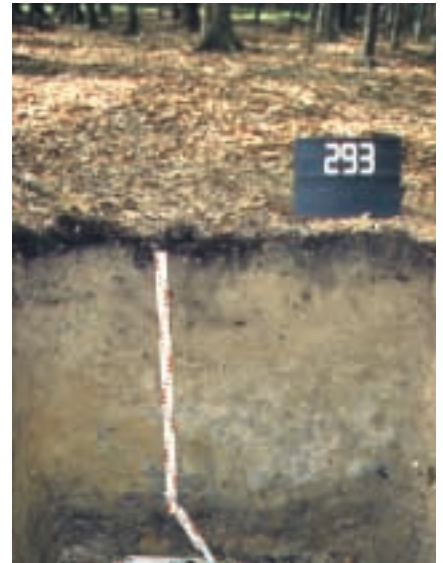


Abb. 60a, b: Bodenprofil der Bodenzustandserhebung in einem Mischbestand aus Kiefern und Buchen im Sächsischen Forstamt Falkenberg, Revier Jagdhaus (Bodentyp: Humuspodsol)



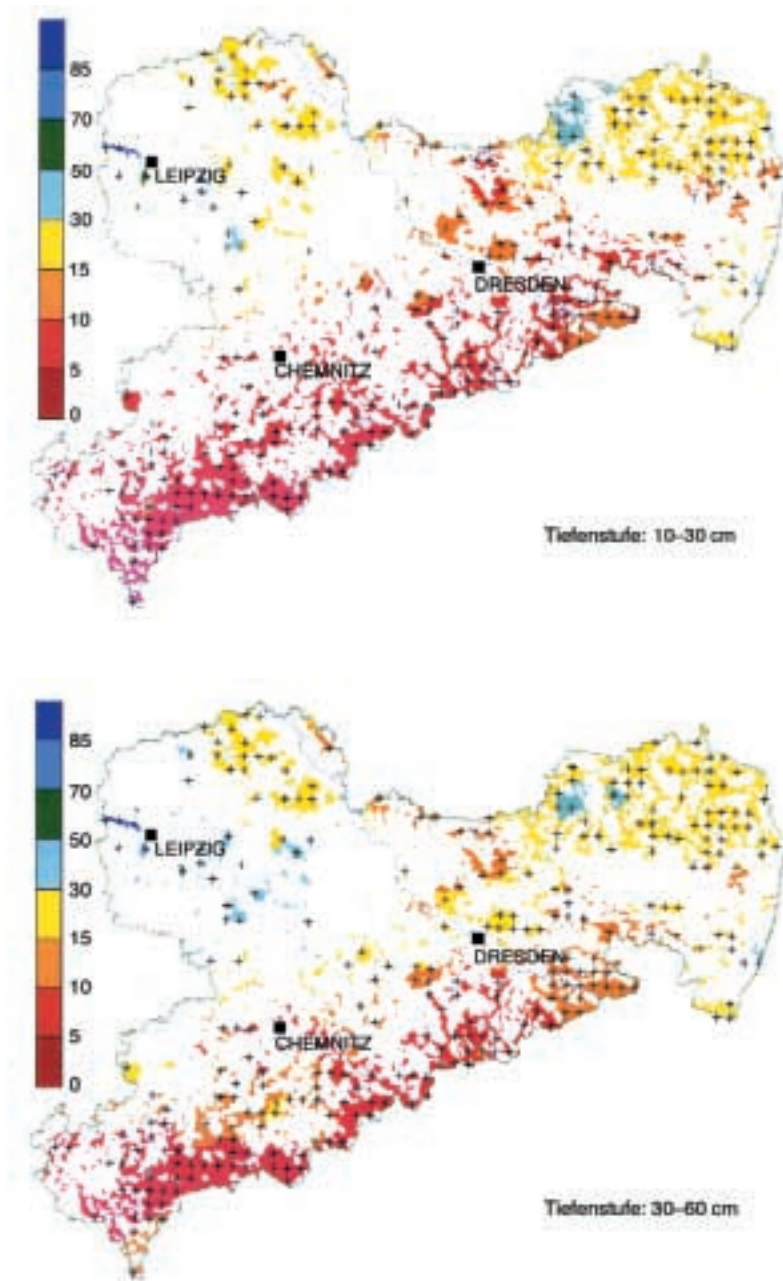
und damit entsprechend geringe Elastizitäten großflächig mit einem ausgeprägten Schwerpunkt im Erzgebirgsbereich – dort zudem bis in den Unterboden – von den Hochlagen über die Hügellandsstandorte bis in das Tiefland auftreten. Auffällig ist, dass hohe Sättigungsgrade auch auf den

relativ armen Substraten des pleistozänen Flachlandes zu finden sind. Diese Tatsache erklärt sich einerseits aus den teils relativ geringen Säurebelastungsraten der Tieflandsstandorte sowie aus einer häufig sekundären Aufbasung der Standorte durch frühere basische Staubeinträge aus benachbarten Brickettfabriken und Kohlekraftwerken.

Tab. 14: Untergliederung der Basensättigung zur Beurteilung der Elastizität gegenüber Säurebelastungen (Basensättigung = prozentualer Anteil der austauschbar gebundenen Mb-Kationen [Ca, Mg, K, Na] an der KAK)

Elastizität	Basensättigung
sehr gering	< 5
gering	5–15
mäßig	15–30
mittel	30–50
mäßig hoch	50–70
hoch	70–85
sehr hoch	85

Abb. 61a, b: Basensättigung (%) in den Tiefenstufen 10–30 cm (a) und 30–60 cm (b), statistische Auswertung des 4 x 4-km-Rasters



Andererseits handelt es sich vielfach um Grund- und Stauwasserböden, wie Gleye und Pseudogleye.

Die flächenmäßig bedeutsamen Waldböden über Gneisen, Phylliten, Schiefern und Graniten des Erzgebirges sowie aus Sandsteinverwitterungsmaterial im Bereich der Sächsischen Schweiz weisen im Hauptwurzelbereich bis 60 cm Tiefe nur noch eine Basensättigung zwischen 5 und 15 % auf. Damit zeigt sich auch für die sächsischen Waldökosysteme – ähnlich den Verhältnissen in den anderen Bundesländern – eine großräumige, weitgehend substratunabhängige und tiefgründige Nivellierung des chemischen Bodenzustandes auf niedrigem Niveau.

Die so genannte „Versauerungsfront“ liegt vielfach unterhalb 140 cm Bodentiefe bzw. im anstehenden Gestein. Der für die Versauerungsfront typische sprunghafte Anstieg der Basensättigung auf etwa 70 bis 80 % ist erst in größeren Tiefen anzutreffen. Erst unterhalb der Versauerungsfront erfolgt die Pufferung der Säurebelastung im Wesentlichen unter Freisetzung von Kalzium und Magnesium.

pH-Werte

Während die Basensättigung eine Abschätzung zur chemischen Reaktion des Bodens und seiner Puffermöglichkeiten erlaubt, stellt der pH-Wert ein aktuelles Maß für den Säurezustand des Bodens dar. Die in der Lösungsphase des Mineralbodens gemessenen pH-Werte lassen sich jeweils bestimmten Pufferbereichen mit spezifischen ökologischen Wirkungen zuordnen. Besonders kritisch entwickelt sich die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung im Aluminium- bis Aluminium/Eisen-Pufferbereich unterhalb einem pH-Wert von 4,2. Es gelangen dann zusätzlich zu den Protonen (H⁺) zunehmend auch Aluminium- und

Eisen-Ionen von der Bodenmatrix in die Bodenlösung, die das Pflanzenwachstum und die Bodenlebewesen (z. B. Mikroorganismen) schädigen. Als Beispiel für den zum Zeitpunkt der Probenahme herrschenden (aktuellen) Aziditätsgrad sind in *Abb. 62* die in reiner Boden-Wasser-Suspension ermittelten pH-Werte für die Tiefenstufe 10–30 cm – also für die Hauptwurzelzone des Mineralbodens – wiedergegeben. Dieser aktuelle Säuregrad kann sowohl aus biologischen Prozessen – wie z. B. der Nitrifizierung von organischer Substanz – als auch aus Säureeinträgen mit den Niederschlägen herrühren, sodass die pH-(H₂O)-Werte i. d. R. starken saisonalen Schwankungen unterliegen. Die Ergebnisse in der Grafik unterstreichen die überwiegend geringe Elastizität der sächsischen Waldböden gegenüber Säuretoxizität, da die bodenchemischen Reaktionen überwiegend im Aluminium-(Al)-Pufferbereich zwischen pH 3,8 und 4,2 ablaufen. Dabei werden Unterschiede zwischen den Forstdirectionen besonders für den Bereich des Erzgebirges deutlich. Sie resultieren aus den verschiedenen Belastungssituationen der einzelnen Erhebungsjahre im Rahmen der Netzverdichtung auf das 4 x 4-km-Raster (FD Bautzen im Jahr 1996 mit einer hohen Schadstoff- bzw. Säurebelastung, FD Chemnitz im Jahr 1997). Die pH-Werte bestätigen folglich den großflächig ausgeprägten hohen Gefährdungsgrad für eine Freisetzung von Aluminium in die Bodenlösung

Unterstützt werden die Befunde durch Untersuchungen zum Ca/Al-Verhältnis in der Bodenlösung. Sie erfolgten an dem sogenannten 1 : 2-(Boden-Wasser)-Extrakt aus getrockneten und für eine langfristige Lagerung vorbereiteten Bodenproben. Die Bedeutung des Ca/Al-Verhältnisses leitet sich aus der Tatsache ab, dass mit zunehmender Versauerung der Kationenanteil von Ca – dies gilt auch für Mg – in der Bodenlösung abnimmt, während der

Abb. 62: pH(H₂O) in der Tiefenstufe 10–30 cm an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster

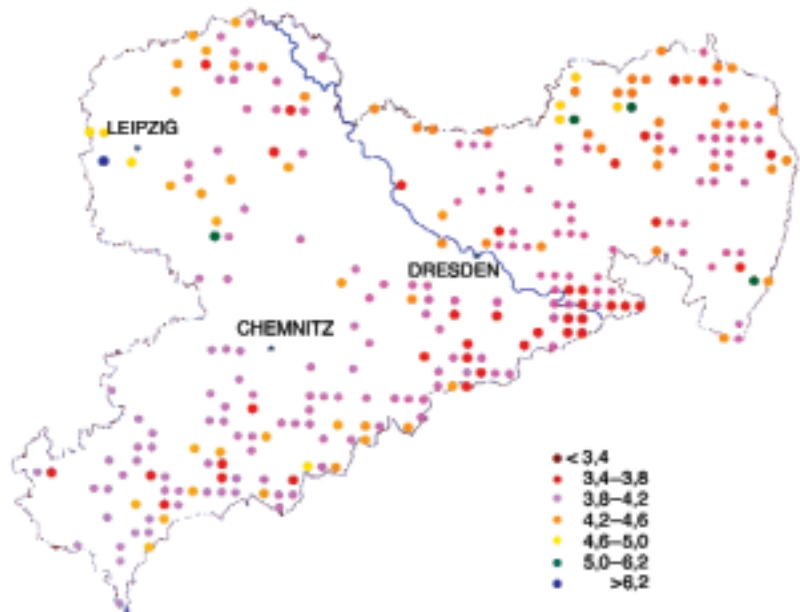
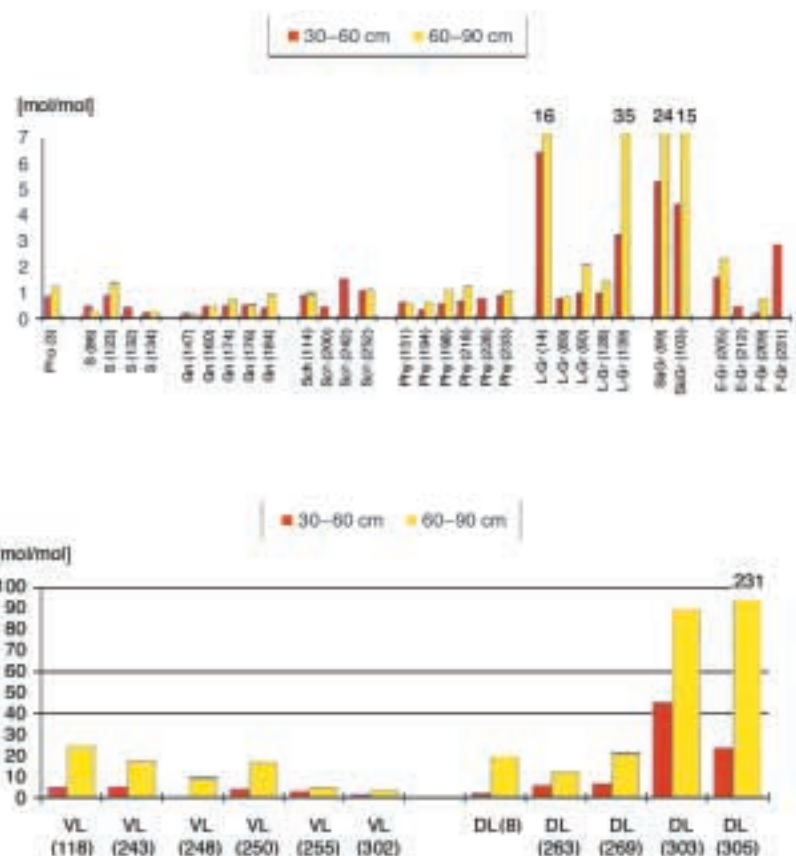


Abb. 63 a, b: Ca/Al-Verhältnisse im 1:2-(Boden-Wasser)-Extrakt an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster (Pho=Phonolith, S=Sandstein, Gn=Gneis, Sch=Schiefer, Phy=Phyllit, L-Gr=Lausitzer Granit, SüGr=Sand über Granit, E-Gr=Eibenstocker Granit, F-Gr=Fichtelgebirgs-Granit; Volllöse (VL) und Decklöse (DL))



Anteil von toxischen Al-Ionen zunimmt. Liegt gleichzeitig eine Basensättigung von weniger als 15 % vor, besteht in Fichtenbeständen bei einem molaren Ca/Al-Verhältnis zwischen 1,0 und 0,5 ein 50%iges Risiko für die Schädigung der Baumwurzeln durch Aluminium-Stress bzw. Al-Toxizität. Bei weiter abnehmendem Ca/Al-Quotienten erhöht sich das Risiko wie folgt: 75%iges Risiko bei Ca/Al zwischen 0,2 und 0,5; 100%iges Risiko bei $Ca/Al < 0,2$. Danach sind es vor

allem wieder die Fichtenbestände auf den Sandstein-, Gneis-, Phyllit- und den Granitstandorten, deren Wurzelsystem infolge der geringen bodenchemischen Elastizität von einer Gefährdung durch Al-Toxizität – über Granit offensichtlich heterogener – bedroht erscheint. Das kritische Ca/Al-Verhältnis von 1,0 wird teilweise deutlich unterschritten, sodass zumindest ein erhöhter Feinwurzelsatz aufgrund der erhöhten Regeneration geschädigter Feinwurzeln wahrscheinlich ist. Ent-

sprechend den hohen Basensättigungsgraden ergeben sich im Unterboden der Lössböden Ca/Al-Verhältnisse, die weit außerhalb eines Gefährdungsbereiches liegen; eine Differenzierung nach Tiefenstufen wird dennoch deutlich.

Gehalte von Blei und Kupfer in den Humusauf-lagen

Einige Schwermetalle (Chrom, Blei, Kupfer) neigen dazu, metallorganische Komplexe zu bilden. Schwermetallbelastungen durch Stoffeinträge spiegeln sich deshalb vor allem in den organischen Auflagen und den humusreichen Oberbodenhorizonten wider. Da in Sachsen die Moder- und Rohhumusformen mit einem Anteil von 92 % an den BZE-Punkten deutlich dominieren und folglich die Akkumulation der organischen Substanz auf der Mineralbodenoberfläche sehr ausgeprägt ist, sind die aufgespeicherten Schwermetallvorräte häufig ebenfalls sehr hoch.

Am Beispiel der Blei- und Kupfergehalte für den Oh-Horizont der organischen Auflagen (vgl. Abb. 64 und 65) lassen sich deutliche Belastungszentren in Sachsen erkennen. Sehr hohe Bleigehalte treten insbesondere im Osterzgebirge vom Freiburger Raum bis nach Altenberg im Südosten sowie nach Olbernhau und Marienberg/Zschopau im Südwesten auf. Weitere Schwerpunkte sind das Gebiet um Schneeberg und der Fichtelberg. Auch im Bereich des Elbsandsteingebirges sind hohe Bleigehalte zu finden. Häufig treten Werte weit über der für Bodentiere kritischen Konzentration von 150 mg Pb pro kg Trockensubstanz (TS) auf. Dies verdeutlicht die auch vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) festgestellte Tatsache, dass die organischen Auflagen in den Wäldern des Erzgebirges zu den am stärksten Pb-belasteten Deutschlands zählen. Eine ähnliche regionale Zuordnung wie bei

Abb. 64: Bleigehalte (mg/kg TS) in der Oh-Lage der organischen Auflage (Untergliederung nach Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %) an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster

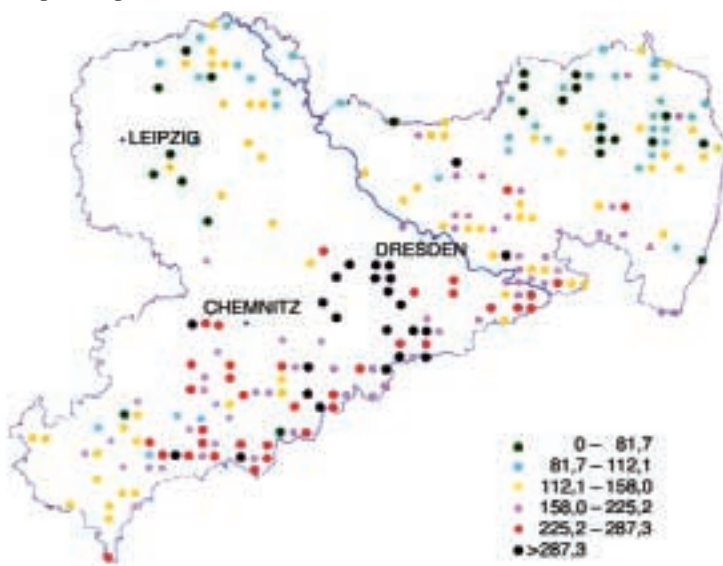
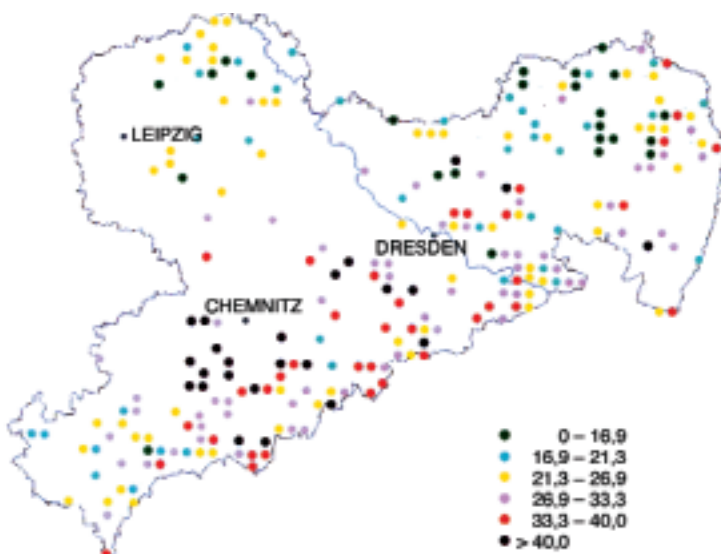


Abb. 65: Kupfergehalte (mg/kg TS) in der Oh-Lage der organischen Auflage (Untergliederung nach Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %) an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster



Ernährungszustand

Der Ernährungszustand der Bäume gibt Auskunft über die aktuelle Nährstoffbereitstellung des Standortes, über Ausmaß und Auswirkungen von Umweltveränderungen und beeinflusst Vitalität, Stabilität sowie das Wachstum der Waldbestände. Er ist somit eine integrale Zielgröße des forstlichen Umweltmonitorings.

Die **Schwefel**-Gehalte der Assimilationsorgane von den Fichten (GFI) in Klingenthal, Olbernhau, Cunnersdorf und Bautzen, den Kiefern (GKI) in Laußnitz sowie den Eichen (TEI) in Colditz spiegeln den sachsenweiten Rückgang der SO₂-Konzentrationen in der Luft und der S-Einträge seit 1995 eindrucksvoll wider (vgl. Abb. 66a, b). Sowohl in 1-jährigen (recenten) als auch in älteren Fichten-Nadeln liegen die Konzentrationen 1999 zwar noch nicht auf dem aus S-Reinluftgebieten bekannten Niveau, eine akute Gefährdung der Bestände kann aber weitgehend ausgeschlossen werden. Die von 9–11 auf 13,5–16,5 angestiegenen N/S-Quotienten sind Ausdruck eines zunehmend ausgeglicheneren Stickstoff-Schwefel-Haushaltes („harmonischer“ N/S-Quotient = 14–16 nach STRASSBURGER et al. 1987). Diese physiologische Entlastung ist für die älteren Nadeln einerseits und für die klassischen Schadgebiete Olbernhau und Cunnersdorf andererseits sowie für die Eichen in Colditz besonders deutlich ausgeprägt. Beim Vergleich zu den S-Konzentrationen in 3-jährigen Fichten-Nadeln der Rasterstichprobe (Level-I-Programm) aus dem Jahr 1992 (vgl. Abb. 67) wird der Rückgang der Schwefelbelastung innerhalb von 9 Jahren noch augenscheinli-

Abb. 66 a, b:

Schwefel-Ernährung (mg S/g Nadel- bzw. Blatt-Trockenmasse) der DBF-Bestände in den Jahren 1995/97/99 oben: recente Nadeln/Blätter; unten: 3-jährige Fichten- bzw. 2-jährige Kiefern-Nadeln (Mittelwerte mit Vertrauensintervall für $\alpha \leq 0,05$ bei $n = 9$ Prohebäumen; Bewertung nach NEBE 1997 für GFI; nach HEINSDORF 1999 für GKI, TEI, RBU/HBU)

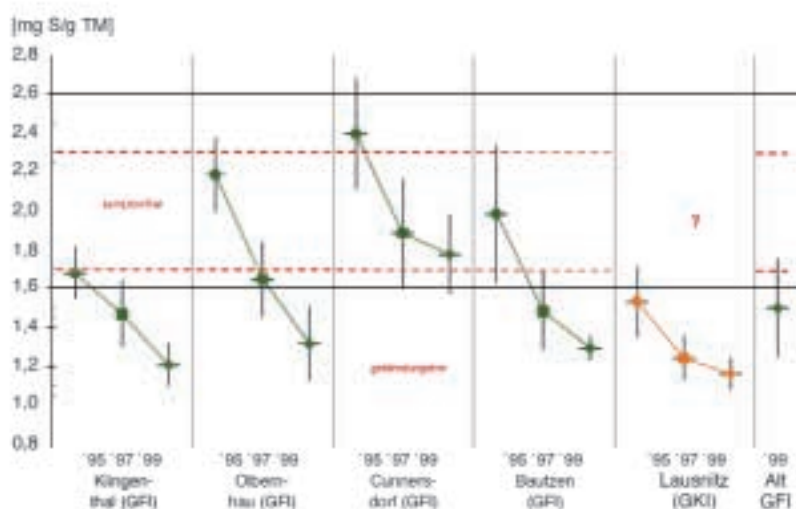
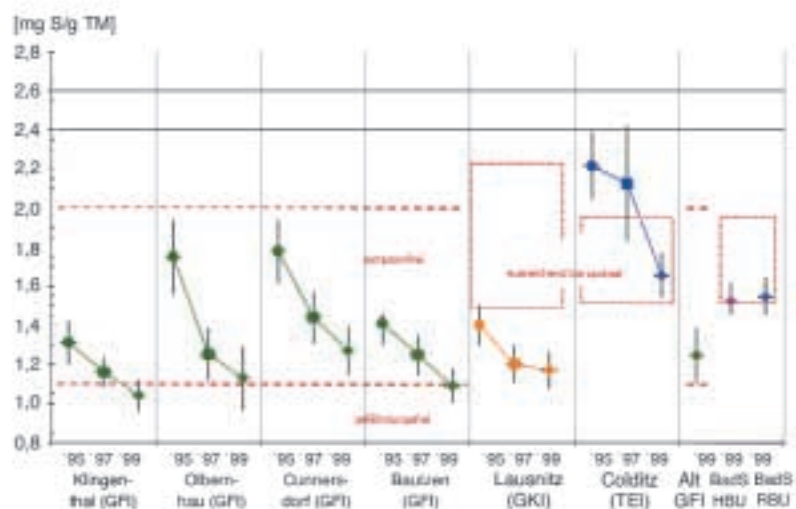
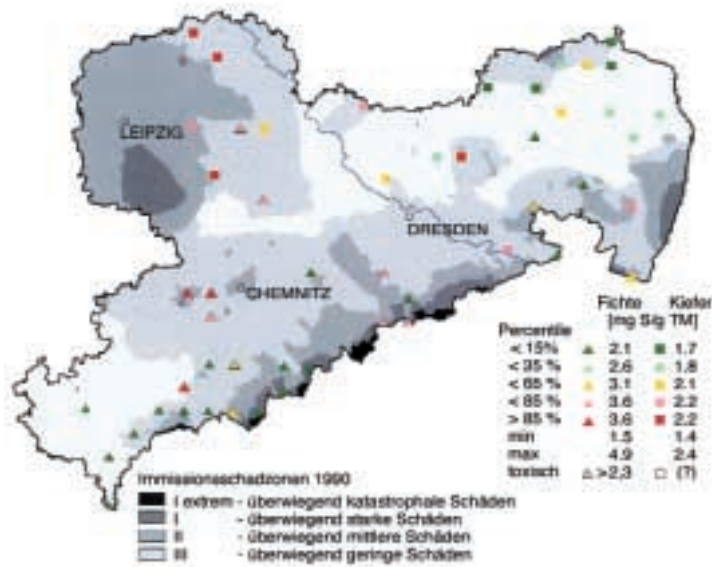


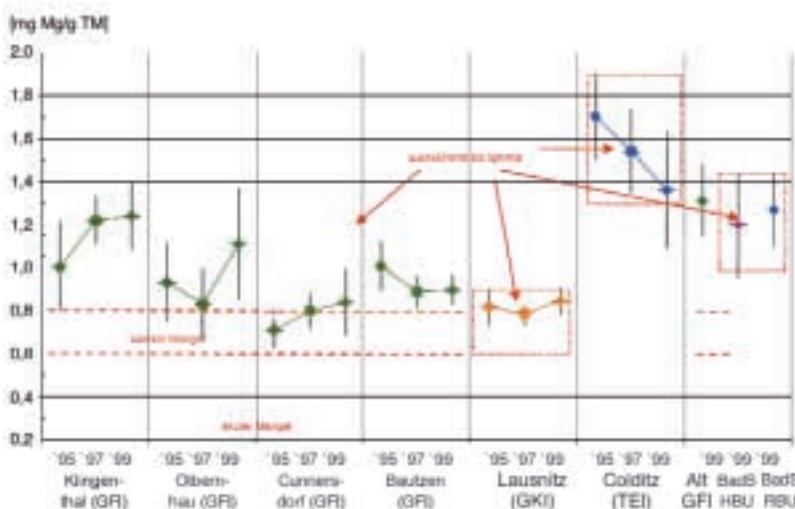
Abb. 67: Schwefelgehalte (mg S/g TM) in den 3-jährigen Fichten-Nadeln sowie den 2-jährigen Kiefern-Nadeln 1992 an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster



cher. Damals wiesen alle 31 sachsenweit beprobten Fichtenbestände deutlich erhöhte S-Nadelspiegelwerte auf, bei mehr als 2/3 der Probebestände erreichten bzw. überschritten sie den toxischen Grenzbereich ($> 2,3$ mg S/g TM). Demgegenüber variieren 1999

die Gehalte in den 3-jährigen Nadeln nur noch zwischen 1,2 und 1,5 mg S/g TM. Für die 22 untersuchten Kiefernbestände war bereits 1992 keine schädigende S-Belastung mehr nachweisbar. Die kontinuierlich untersuchten DBF-Bestände fungieren damit als

Abb. 68a, b: Magnesium-Ernährung (mg Mg/g Nadel- bzw. Blatt-Trockenmasse) der DBF-Bestände in den Jahren 1995/97/99 (oben: recente Nadeln/Blätter, unten: 3-jährige Fichten- bzw. 2-jährige Kiefern-Nadeln); (Mittelwerte mit Vertrauensintervall für $\alpha \leq 0,05$ bei $n = 9$ Probebäumen; Bewertung nach NEBE 1997 für GFI; nach HEINSDORF 1999 für GKI, TEI, RBU/HBU)



Bioindikator für den Erfolg und die ökologische Wirksamkeit von Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

Die **Stickstoff**-Ernährung der Fichten ist mit 15–17 mg N/g TM in recenten und 12,5–14,0 mg N/g TM in 3-jährigen Nadeln mangel- sowie belastungsfrei und zwischen den einzelnen Untersuchungs Jahren/-beständen nur schwach differenziert. Bei den optimal ernährten Lausnitzer Kiefern unterscheiden sich die Gehalte beider Nadeljahrgänge (16–18 mg N/g TM) kaum, was ein kontinuierliches Stickstoff-Angebot vermuten lässt. Überaus reich stickstoffversorgt (28–30 mg N/g TM) sind die Traubeneichen in Colditz, deren Kronen- und Belaubungszustand ausgesprochen schlecht ist, und die Hainbuchen (HBU) in Bad Schandau.

Bis auf die Colditzer Eichen (1,22–1,35 mg P/g TM) sind alle Bestände ausreichend bis optimal mit **Phosphor** ernährt.

Die Höhe der **Calcium**-Gehalte und ihre Abstufung nach dem Nadelalter (recente < ältere Nadeln) weisen eine optimale Versorgung aller Bestände aus.

Zwischen 1995–97 stiegen die **Magnesium-Nadel**-Spiegelwerte (vgl. Abb. 68a, b) der Fichten in Klingenthal vermutlich als Folge von Materialeinwehungen aus benachbarten Bodenschuttkalkungen stetig an. Die Versorgung der Eichen in Colditz sinkt dagegen kontinuierlich ab, ist 1999 aber noch mangelfrei. Gleiches gilt für die Rot- und Hainbuchen in Bad Schandau. Gemessen allein am Niveau der recenten Fichten- und Kiefern-Nadeln erscheinen die Bestände in den 3 Beobachtungsjahren zwar als schwach, aber noch ausreichend mit Magnesium ernährt. Die 3-jährigen Nadeln verweisen mit ihrem manifesten latenten Mangel allerdings auf eine insgesamt unzureichende Elementverfügbarkeit

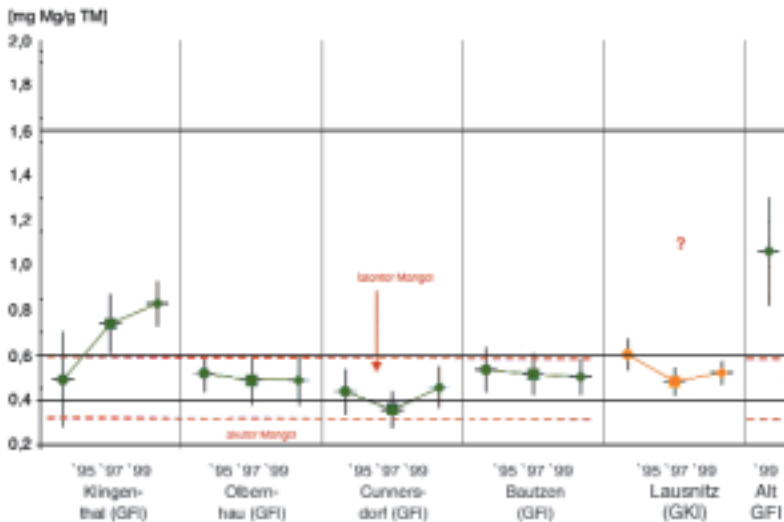
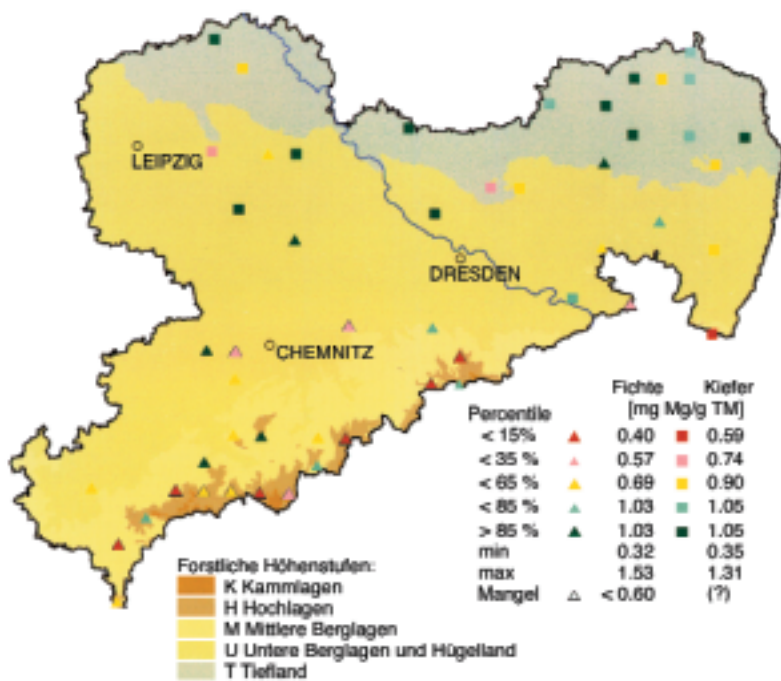


Abb. 69: Magnesiumgehalte (mg Mg/g TM) in den 3-jährigen Fichten- und 2-jährigen Kiefern-Nadeln 1992 an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster



für die Fichten in Olbernhau, Cunnersdorf und Bautzen. Bei optimaler Stickstoff-Ernährung resultieren daraus disharmonische N/Mg-Quotienten von 25–37; ähnlich weit sind sie bei den 2-jährigen Kiefern-Nadeln. Die 1999 erstmals untersuchten Fichten am Rotherdbach im Osterzgebirge sind dagegen vergleichsweise gut magnesiumversorgt.

Die labile Mg-Versorgung der Fichtenbestockungen wurde bereits 1992 anhand der Raster-Stichprobe nachgewiesen. Von den 31 Fichten-Beständen waren 11 latent bzw. akut unzureichend ernährt. Die Mangelbestände stockten vornehmlich in den Höheren und Mittleren Berglagen auf Gneis-, Phyllit, Granit- und Schieferböden, seltener in den Unteren Lagen.

Die Kiefern sind 1999 ausreichend magnesiumversorgt. Bis auf 3 Bestände waren sie es auch in der sachsenweiten Raster-Stichprobe (n = 22) von 1992.

Eine ausreichende bis optimale **Kalium**-Ernährung der Bestände ist durchweg gewährleistet, wobei die Blätter der Colditzer Eichen die höchsten Gehalte (8,0–9,5 mg K/g TM) gegenüber Rot- und Hainbuche (6,2–6,8 mg K/g TM) bzw. den recenten Nadeln von Fichten (4,5–6,5 mg K/g TM) und Kiefern (5,1–5,7 mg K/g TM) aufweisen. Für beide Fichten-Nadel-Jahrgänge in Klingenthal zeichnet sich – bei allerdings weiten Konfidenzintervallen – ein Abfall der Kalium-Konzentrationen zwischen 1995 (1- bzw. 3-jährige Nadel: 6,3 bzw. 6,0 mg K/g TM) und 1999 (1- bzw. 3-jährige Nadel: 5,4 bzw. 4,8 mg K/g TM) ab. Er könnte seine Ursache in der gleichzeitig vermehrten Calciumaufnahme haben (Ionenantagonismus).

Zusammenfassung

In Sachsen wurde 2000 zum 10. Mal die Waldschadenserhebung nach europaweit einheitlicher Methode durchgeführt. Im Vollstichprobennetz von 4 x 4 km wurden insgesamt 6 840 Bäume in 285 Waldbeständen begutachtet.

Das Ergebnis der Erhebung weist 19 % der Waldfläche als deutlich geschädigt, 37 % als schwach geschädigt und 44 % ohne Schäden aus. Damit hat sich der Anteil deutlicher Schäden im Vergleich zum Vorjahr um 3 Prozentpunkte verringert und liegt unter dem zu Beginn der 90er-Jahre.

Der Schadverlauf zeigt im Zeitraum 1991 bis 2000 für die Baumarten **gegenläufige Trends**: Bei den Nadelbaumarten deutet sich ein Schadrückgang an, wobei der Trend bei der Kiefer stärker ausgeprägt ist als bei der Fichte; bei den Laubbaumarten ist im betrachteten 10-Jahres-Zeitraum eine tendenzielle Schadzunahme zu beobachten.

Die Baumart **Fichte** bestimmt das Gesamtergebnis wesentlich. Die deutlichen Schäden bei der Fichte liegen um 7 Prozentpunkte niedriger als im Vorjahr bei derzeit 20 %. Biotische Einflussfaktoren auf den Kronenzustand der Fichtenbestände spielten nur eine untergeordnete Rolle. Der Befall durch Borkenkäfer, speziell des Buchdruckers, nahm jedoch zu. Dieser Trend wurde vor allem durch das zeitige, warme Frühjahr ausgelöst.

Die deutlichen Schäden an der **Kiefer** sind mit 11 % ähnlich niedrig wie in den vorangegangenen fünf Jahren und damit deutlich niedriger als Anfang der 90er-Jahre. Dabei haben die Kiefern in Nordwest-Sachsen einen ungünstigeren Kronenzustand als in Ostsachsen. Die regionalen Schadschwerpunkte der Vergangenheit haben sich jedoch verlagert.

Der Kronenzustand der Kiefern wurde nicht flächig durch nadelfressende Insekten oder andere biotische Faktoren beeinflusst. Der zunehmende Befall durch stamm- und rindenbrütende Insekten führte zu lokal begrenztem Absterben von Einzelbäumen und kleineren Baumgruppen.

Weiterhin extrem hoch ist das Schadniveau der **Eiche**. Obwohl die Schäden im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen sind, liegt der Flächenanteil deutlicher Schäden noch über 50 % und damit über den Ergebnissen der Jahre 1991 bis 1997. Der Einfluss von Fraßschäden an Eichen auf den Belaubungszustand war in diesem Jahr unbedeutend.

Der Anteil deutlicher Schäden in der **Buche** ist im Jahr 2000 erneut angestiegen. Damit setzt sich der seit 10 Jahren beobachtete Trend einer Verschlechterung fort. Das Erscheinungsbild älterer Buchen wird in diesem Jahr u. a. vom Fruchtanhang geprägt.

Die Auswertung der Waldschäden in den **Wuchsgebieten** lässt erhebliche lokale Unterschiede erkennen. Im Erzgebirge hat sich der Zustand des Waldes, selbst in Gebieten, die in der Vergangenheit stark geschädigt waren, verbessert. Die Schadausprägung ist innerhalb des Wuchsgebietes jedoch stark differenziert. Im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland ist das Schadniveau inzwischen höher als im Erzgebirge, was in erster Linie in Zusammenhang mit dem schlechten Zustand der dort dominierenden Laubbaumarten steht.

In den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland stellte sich vor allem das Erscheinungsbild der dort vorherrschenden Kiefer im Vergleich zu anderen Wuchsgebieten wesentlich günstiger dar.

Nach 1995 und 1998 wurde im Jahr 2000 die 3. landesweite Erhebung von **Wildverbiss an der Waldverjüngung** durchgeführt. Der nach wie vor hohe Anteil geschützter Flächen (42%) zeigt, dass sich in der Regel die gebietstypischen, standortsangepassten Hauptbaumarten der natürlichen Waldgesellschaft noch nicht ohne Schutzmaßnahmen verjüngen lassen und dass damit die ökologisch und wirtschaftlich tragbare Wilddichte nicht erreicht ist. Der Anteil von Nadelbaumverjüngungen mit nicht tolerierbaren Verbiss-Schäden ging von 1995 an geringfügig zurück. Bei den Flächen, die mit Laubbäumen bzw. gemischt bestockt sind, erhöhte sich dieser Anteil in diesem Jahr nach einem deutlichen Rückgang von 1995 zu 1998 wieder. Der im Landesdurchschnitt geringere Verbiss der Laubbaumarten und damit verbunden auch der geringere Anteil mittel und stark verbissener Laubbaumverjüngungen sowie der geringere Anteil geschützter Flächen in den Verwaltungsjagdbezirken weist darauf hin, dass diese im Vergleich zu den anderen Jagdbezirken führend in der Erreichung der angestrebten ökologisch und wirtschaftlich tragbaren Wilddichte sind.

Die Stabilisierung der Waldökosysteme vollzieht sich nur allmählich. Die Gründe liegen in der großflächig ausgeprägten Bodenversauerung und in dem „chemischen Langzeitgedächtnis“ der **Waldböden**, das trotz der reduzierten Schwefeleinträge nur einen verzögerten Rückgang der Bodenversauerung ermöglicht.

Die Basensättigung als entscheidender Kennwert zur Charakterisierung der Bodenversauerung liegt im Hauptwurzelbereich nur auf wenigen Standorten oberhalb von 15 %, z. B. auf einzelnen sekundär aufgebasten Standorten des pleistozänen Tieflandes, auf den nährstoffreichen Böden der Flussauen und auf den nur relativ kleinflächig vertretenen basaltbeeinflussten Substraten sowie auf überwiegend lössbeeinflussten Standorten des Hügellandes. Die Elastizität der Böden gegenüber Säurestress ist entsprechend gering. Besonders niedrige Basensättigungen (< 5 %) und Elastizitäten bis in 90–140 cm Tiefe treten gehäuft auf den Graniten und Gneisen des Erzgebirges sowie im Verbreitungsgebiet des Quadersandsteins auf. Infolgedessen werden die bodenchemischen Reaktionen unter Säurebelastung auf der weitaus größten Anzahl der untersuchten Standorte vom Aluminium-, Aluminium/Eisen- und Eisenpufferbereich ($\text{pH} < 4,2$) bestimmt. Daraus resultiert ein hoher Gefährdungsgrad durch Aluminiumtoxizität im Wurzelbereich.

Ein Gefahrenpotenzial stellen im mittleren und östlichen Erzgebirge die oftmals hohen Blei- und Kupfergehalte der mächtigen organischen Auflagen dar. Die drohende Mobilisierung dieser Schwermetalle kann langfristig nur in Verbindung mit einer weiteren Verminderung der Säurebelastung in den Waldökosystemen verhindert werden.

Die sachsenweite Verminderung der SO_2 -Immissionen führte zu einem markanten Abfall der Schwefelgehalte in den Nadeln und Blättern. Sie liegen noch über dem Niveau in S-Reinluftgebieten, eine akute Gefährdung kann allerdings weitgehend ausgeschlossen werden. Mit Stickstoff, Phosphor, Kalzium und Kalium sind die Bestände meist ausreichend und belastungsfrei ernährt. Unverändert labil ist seit 1992 dagegen die Magnesium-Versorgung von ungekalkten Fichtenbeständen in den sächsischen Mittelgebirgen.

Maßnahmen zur Verbesserung des Waldzustandes

Waldstabilisierung

Das langfristig angelegte Waldumbauprogramm der Landesforstverwaltung vom Februar 1992 hat in der sächsischen Forstwirtschaft eine Wende vom Kahlschlagsprinzip und der häufig damit verbundenen Entstehung von instabilen einförmigen Nadelwäldern hin zur naturnahen Waldwirtschaft eingeleitet.

Auf diesem Weg sind wir bereits ein ganzes Stück vorangekommen. Es wurden umfangreiche Laubholzanbauten angelegt und die vorhandenen Waldbestände durch Pflegemaßnahmen stabilisiert. So werden die natürlichen Abwehrkräfte des Waldes gestärkt und Belastungen von außen besser überstanden.

Auch im Privat- und Kommunalwald ist eine Verbesserung des Waldaufbaus wichtig. Deshalb werden Maßnahmen, insbesondere zur Stabilisierung immmissionsgeschädigter Wälder, gefördert. Die Schwerpunkte der Förderung liegen bei der Einbringung von Laubholz in Nadelholzreinbestände, bei der Erstaufforstung, bei der Waldpflege und der Bodenschutzkalkung. Die Förderung der Erstaufforstung soll die Umsetzung des langfristigen Konzeptes zur Erhöhung des Waldanteiles in Sachsen von 27 auf 30 Prozent realisieren helfen. Mit der Vergrößerung der Waldfläche werden positive Auswirkungen auf die Waldfunktionen, den Landschaftshaushalt und die Vernetzung von Biotopen erwartet.

In den auch heute noch stärker geschädigten höheren Lagen des Erzgebirges waren in den letzten Jahren besonders intensive Aufwendungen zur Stabilisierung des Waldzustandes notwendig.

Eine wichtige Aufgabe des Waldschutzes war und ist hier die ständige Überwachung im Hinblick auf eine mögliche Massenvermehrung von Borkenkäfern, der Schutz der Verjüngungen gegenüber Mäuseschäden und die Nachbesserung der Kulturen bei größeren Pflanzenausfällen.

Der Umfang der Bodenschutzkalkung zur Kompensation von Säureeinträgen und zur Stabilisierung der Nährstoffversorgung im Boden beträgt im Jahr 2000 in allen Eigentumsarten voraussichtlich 8 400 ha. Mit der Realisierung dieser Maßnahmen wurde im Zeitraum von 1991 bis Ende 2000 auf etwa 165 000 ha sächsischer Waldbestände Kalk ausgebracht. Dabei erfolgt seit 1998 in zunehmendem Maße die Wiederholung der Bodenschutzkalkung auf bereits vorher behandelten Flächen. Die Kalkung erfolgt in einer Menge von etwa 3,5 bis 4,5 Tonnen je Hektar. Damit wird im besten Fall einer weiteren Verschlechterung des Bodenzustandes entgegengewirkt. Bei der Ausbringung wesentlich größerer Kalkmengen besteht aber die Gefahr, dass – über eine Reaktion des Kalkes mit der organischen Substanz des Bodens – Nitrat und Schwer-

metalle freigesetzt werden, die dann in das Grundwasser gelangen. Damit die mit der Kalkausbringung verbundenen Risiken minimiert werden, wurde von der Sächsischen Landesanstalt für Forsten in Graupa in diesem Jahr ein für alle Kalkungsmaßnahmen im Wald verbindlicher Leitfaden erstellt. Der Vergleich von gekalkten und ungekalkten Flächen und Bodenuntersuchungen weist auf einen positiven Einfluss der Kalkung hin. Als sichtbares Zeichen dafür können auf den gekalkten Vergleichsflächen geringere Vergilbungerscheinungen an den Nadeln beobachtet werden. Die Kalkungsmaßnahmen sind auch in den nächsten Jahren – in Abhängigkeit von der Entwicklung der Säurebelastung der Böden – notwendig. Die anhaltenden Säureeinträge können auch zu einer Belastung des Grundwassers führen. Insbesondere Fichtenbestände filtern mit ihren ganzjährig benadelten Kronen erhebliche Mengen von Schadstoffen aus der Luft heraus. Durch die im Rahmen des Waldumbauprogrammes erfolgende Überführung von Fichtenreinbeständen in Mischwälder kann über eine Verringerung der Filterwirkung und bodeninterner Versauerungsabläufe die Säure-

Abb.70: Umfang der Bodenschutzkalkung in den Jahren 1991 bis 1999

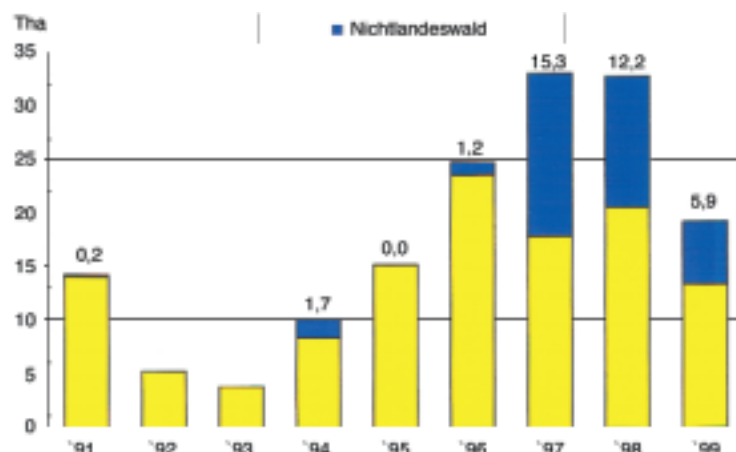


Abb. 71: Kiefernbestand nach einem Waldbrand



belastung allmählich reduziert werden.

Besonders die mit Kiefernreinbeständen bestockten Wälder Nordost-Sachsens wiesen in diesem Frühjahr eine extrem hohe Brandgefährdung auf. Der sächsische Landesforstverwaltung obliegt die Waldbrandvorbeugung. Je nach Waldbrandgefahr werden von den zuständigen Forstämtern „Waldbrandwarnstufen“ ausgerufen. Für die Beobachtung der Waldflächen auf die Entstehung von Waldbränden werden 27 Feuerwachtürme bereitgehalten und bei einer erhöhten Waldbrandgefahr besetzt. Mit Hilfe der modernen Ausstattung der Wachtürme können Brände schnell lokalisiert und eine zügige Bekämpfung eingeleitet werden. In Zeiten mit einer besonders hohen Waldbrandgefahr ist ein Hubschrauber im Einsatz, der entstehende Brände lokalisiert und bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr mit dem Löschen beginnen kann.

Luftreinhaltung

Die Belastung der sächsischen Wälder durch Schwefeldioxidemissionen hat sich in den letzten Jahren spürbar verringert. Dieses ist zu einem großen Teil auf die Ausrüstung der Großemittenten mit Abgasreinigungsanlagen zurückzuführen. Über das Förderprogramm zur Heizungsträgerumstellung im Erzgebirge werden zudem lokale Belastungen aus der Verbrennung schwefelreicher Braun-

kohle verringert. Belastungen mit Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen, die unter Einwirkung von Sonnenlicht zu pflanzenschädigendem Ozon umgebaut werden können, resultieren überwiegend aus dem Straßenverkehr, aus den Emissionen der Kraftwerke und der Industrie (insbesondere aus der Lösungsmittelanwendung). Der Ausstoß der Industrie und der Großfeuerungsanlagen an Stickoxiden und organischen Verbindungen hat sich durch die Umsetzung der „Großfeuerungsanlagen-Verordnung“ und der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ bundesweit deutlich vermindert. Den umfangreichen Maßnahmen zur Verminderung der Belastungen mit Stickoxiden durch Kraftfahrzeuge steht eine ständige Zunahme des Kraftfahrzeugverkehrs entgegen. Die zukünftige Verkehrspolitik muss deshalb auch weiterhin auf eine Verringerung des Kraftstoffverbrauches und des Schadstoffausstoßes orientieren. Weiterhin sollten Anreize zur Nutzung möglichst attraktiver umweltfreundlicher Verkehrsformen, insbesondere in den Ballungsgebieten, geschaffen werden.

Ein großer Anteil der oft übermäßigen Stickstoffversorgung und der Säurebelastung der Waldökosysteme ist auf die Ammoniakemissionen der Tierhaltung, die Düngermanagement in der Landwirtschaft und nach jüngeren Untersuchungen in allerdings geringem Maße auch auf den Straßenverkehr zurückzuführen. Die Freisetzung von Ammoniak aus der

Abb. 72: Gülleausbringung mittels bodennaher Technik (Schleppschauch)



sächsischen Landwirtschaft hat sich von 1989 bis 1997 von ca. 42 000 Tonnen auf 25 000 Tonnen verringert. Die Verringerung resultiert überwiegend aus dem Abbau der Tierbestände, aus verbesserten Lagerungs- und Ausbringungstechniken für Gülle und aus leistungs- und bedarfsgerechtem Futtermitteln. Eine Optimierung der Ausbringungstechniken für Gülle und Dung kann eine Verringerung der Emissionsbelastung bewirken. Insgesamt ist das mittelfristige Minderungspotenzial für Ammoniakemissionen aus der sächsischen Landwirtschaft mit etwa 1 300 Tonnen aber begrenzt.

Auch die Verwendung von Holz hilft, den Wald zu schützen. Zum einen hilft das Geld aus dem Holzverkauf beim Waldumbau. Zum anderen wird bei der Holzbildung Kohlendioxid aus der Luft gebunden. Damit führen die Verwendung von Holz in langlebigen Produkten wie im Hausbau bzw. der Ersatz von fossilen Heizmitteln durch Holz zu einer Verminderung des Treibhauseffektes. Dieser Einsatz trägt so über eine Stabilisierung des Klimas wiederum zur Verbesserung des Zustandes des an bestimmte Klimaverhältnisse angepassten Waldes bei. Gerade der Wirbelsturm „Lothar“, der Ende des vergangenen Jahres Baden-Württemberg, Frankreich und die Schweiz heimsuchte und einen großen Teil der Wälder zerstörte, weist auf die Notwendigkeit der Verminderung des Ausstoßes von Treibhausgasen hin.

Abb. 73: Sturmschäden in einem Fichtenbestand



Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. 1:	Lage der Stichprobenpunkte im 4 x 4-km-Raster (Level I) und der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF=Level II) in Sachsen	6
Abb. 2:	Schematische Übersicht zur Durchführung der Kronen- und Bodenzustandserhebung	6
Abb. 3a, b:	Freiland- und Bestandesmessfläche der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal, Westliches Erzgebirge	8
Abb. 4a, b:	Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdynamik von 1998–2000 mit den langjährigen Mittelwerten an der DWD-Station Oschatz (jeweils Monatsmittelwerte, Quelle: Deutscher Wetterdienst–Radebeul)	9
Abb. 4c, d:	Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdynamik von 1998–2000 mit den langjährigen Mittelwerten an der DWD-Station Marienberg (jeweils Monatsmittelwerte, Quelle: Deutscher Wetterdienst–Radebeul)	10
Abb. 5a, b	(von oben nach unten): Tagesextreme der Lufttemperatur von April bis August 2000 an den Waldklimastationen Taura und Olbernhau	10
Abb. 6 :	Waldklimastation der Sächsischen Landesanstalt für Forsten	11
Abb. 7 a, b	(von oben nach unten): Bodenfeuchtedynamiken und Niederschläge im Zeitraum April bis August 2000 für den Tieflands-Sandstandort Taura (Nordwestsachsen) und den Mittelgebirgsstandort Olbernhau (mittleres Erzgebirge)	11
Abb. 8:	Jahresverlauf 2000 der Bodenfeuchtedynamiken für typische Standorte Sachsens. Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge), Tiefland (Sand): Taura (Nordwestsachsen)/Weißwasser (Lausitz)	12
Abb. 9 :	Wochensummen der Niederschläge 2000 für typische Standorte Sachsens. Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge), Tiefland (Sand): Taura (Nordwestsachsen)/Weißwasser (Lausitz)	12
Abb. 10:	Anteile der Substratgruppen bei der Bodenzustandserhebung (BZE; n = 278)	13
Abb. 11:	Entwicklung der Monatsmittelwerte der SO ₂ -Konzentration an den Messstationen Fichtelberg und Zinnwald im sächsischen Erzgebirge (Datenquelle: LFUG)	14
Abb. 12:	Jährliche Schwefel-(SO ₄ -S-) und Stickstoff-(Nges = NO ₃ -N + NH ₄ -N-) Einträge in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (NAS = Nationalpark Sächsische Schweiz)	17
Abb. 13:	Jährliche Nitrat-(NO ₃ -N-) und Ammonium-(NH ₄ -N-)Einträge in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (NAS = Nationalpark Sächsische Schweiz)	17
Abb. 14a, b:	Jährlicher Eintrag mit dem Bestandesniederschlag und Austrag mit dem Sickerwasser in 100 cm Bodentiefe (Elementbilanzen 1997 und 1998) ausgewählter Elemente in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Klingenthal (westliches Erzgebirge) und Olbernhau (mittleres Erzgebirge)	18
Abb. 15a, b	(von oben nach unten): Entwicklung der Nitrat-(NO ₃ -N-)Gehalte im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Colditz und Neukirch/Bautzen	19
Abb. 16:	Mittlere jährliche Ionenzusammensetzung der bedeutendsten Anionen und Kationen in der Lösungsphase der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau im Jahr 1998 (Sickerwasser in 20, 60 und 100 cm Tiefe; Quelle = Waldquelle unterhalb der Messfläche)	19
Abb. 17:	Entwicklung der Schwefel-(SO ₄ -S-)Gehalte im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe in der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)	20
Abb. 18:	Entwicklung der Schwefel-(SO ₄ -S-)Gehalte im Quellwasser (3 Waldquellen) der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); Juli 1993 bis Dezember 1999	20
Abb. 19:	Entwicklung der Aluminiumgehalte im Sickerwasser der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); Juli 1993 bis Dezember 1999	20
Abb. 20:	Entwicklung der Aluminiumgehalte von 3 Waldquellen der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge); September 1994 bis Dezember 1999 (gelbe Linie = Mittelwert)	21
Abb. 21:	Entwicklung der Säure-(H ⁺ -)Konzentration im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)	21
Abb. 22:	Entwicklung der BC/Al-Verhältnisse im Sickerwasser aus 60 und 100 cm Bodentiefe der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)	21
Abb. 23:	Häufigkeitsverteilung der Kronenverlichtung (KV) in den Altersbereichen	22
Abb. 24a, b:	Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991 bis 2000	22-23
Abb. 25a, b:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Hauptbaumarten 2000 und deren Veränderung von 1991/92 zu 1999/00 an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster (mindestens 5 Bäume der Hauptbaumart am Stichprobenpunkt, t-Test für gepaarte Stichproben)	23
Abb. 26:	Nadel- bzw. Blattvergilbungen 2000 an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster	24
Abb. 27a, b	(von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Fichte von 1991 bis 2000	25
Abb. 28:	Vergilbte Altfichte	25
Abb. 29:	Fruktifikation der Fichte von 1991 bis 2000	25
Abb. 30:	Durch Buchdrucker befallene Holzmenge von 1989 bis 2000 (Angabe für 2000 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 2000/01 sichtbar)	26
Abb. 31:	Befallsflächen durch Fichten-Gespinstblattwespe 1990 bis 2000	26
Abb. 32a, b	(von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Kiefer von 1991 bis 2000	27
Abb. 33:	Fruktifikation der Kiefer von 1991 bis 2000	27
Abb. 34:	Durch Prachtkäfer befallene Holzmenge von 1989 bis 2000 (Angabe für 2000 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 2000/01 sichtbar)	28
Abb. 35a, b:	Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Nadelbäume sowie der Europäischen Lärche von 1991 bis 2000	28

Abb. 36:	Befall durch Lärchenminiermotte	29
Abb. 37:	Befallsflächen durch Lärchenminiermotte 1989 bis 2000	29
Abb. 38a, b	(von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Eiche von 1991 bis 2000	30
Abb. 39:	Fruktifikation der Eiche von 1991 bis 2000	30
Abb. 40:	Skelettierfraß durch Eichenerdfloh	30
Abb. 41a, b	(von oben nach unten): Befallsflächen durch Eichenwickler und Frostspanner 1989 bis 2000	31
Abb. 42:	Vergleich der durchschnittlichen Belaubung der Eichen an den WSE-Probepunkten im Juni (nach Fraß) und im August (nach Johannistriebebildung) in den Jahren 1993 bis 2000	31
Abb. 43a, b	(von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der Buche von 1991 bis 2000	32
Abb. 44:	Fruktifikation der Buche von 1991 bis 2000	32
Abb. 45:	Stark fruktifizierende Buche	32
Abb. 46a, b	(von oben nach unten): Schadstufenverteilung und mittlere Kronenverlichtung (KV) der sonstigen Laubbäume sowie der Birke von 1991 bis 2000	33
Abb. 47a,b:	Befall durch die Roßkastanienminiermotte	33
Abb. 48a–d	(von oben nach unten): Anteil deutlicher Schäden 1991, 1994, 1997 und 2000 in den Wuchsgebieten, WG-Nummern vgl. Abb. 50b–g	36
Abb. 49:	Boxplot zur mittleren Kronenverlichtung (KV) am Stichprobenpunkt im Jahr 2000 in den Wuchsgebieten (Box umfasst 50 % der Werte, Balken = Median, o= Ausreißer)	37
Abb. 50 a–g:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 in Sachsen sowie in einzelnen Wuchsgebieten, a: Sachsen, b: Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland (WG 14)/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland (WG 15), c: Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (WG 25), d: Westlausitzer Platte und Elbtalzone (WG 27)/Lausitzer Löss-Hügelland (WG 28), e: Vogtland (WG 44) f: Erzgebirge (WG 45), g: Elbsandsteingebirge (WG 46)/Oberlausitzer Bergland (WG 47)/Zittauer Gebirge (WG 48)	37-39
Abb. 51:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Fichte im Erzgebirge von 1991 bis 2000 in den Immissionsschadzonen (Stand: 1990)	39
Abb. 52:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) der Kiefer in den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland von 1991 bis 2000 in den Immissionsschadzonen (Stand: 1990)	39
Abb. 53:	Schadstufenverteilung in den Forstdirektionen	41
Abb. 54a–c:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 im Bereich der Forstdirektionen Bautzen und Chemnitz, a: alle Baumarten b: Fichte, c: Kiefer	41
Abb. 55:	Mittlere Kronenverlichtung (KV) von 1991–2000 auf den Dauerbeobachtungsflächen (zugeordnet entsprechend den Baumartenergebnissen der Waldzustandserhebung)	42
Abb. 56:	Häufigkeitsverteilungen (Fichten der KRAFT'schen Stammklassen 1–3) und räumliche Verteilung der Kronenverlichtung (KV) aller Fichten mit zugeordneten Stammklassen auf der Dauerbeobachtungsfläche Olbernhau (oben 1997; unten 2000)	43
Abb. 57:	Verbiss-Prozente wichtiger Baumarten 1995, 1998 und 2000	44
Abb. 58:	Anteil von Nadel- und Laubbaumverjüngungsflächen sowie Flächen mit einer natürlichen Waldverjüngung in den Jahren 1995, 1998 und 2000, für die das Verbiss-Prozent (Haupt- bzw. Begleitbaumarten) > 20 % ist	44
Abb. 59a, b:	Bodenprofil der Bodenzustandserhebung in einem Mischbestand aus Eichen und Buchen im Sächsischen Forstamt Taura, Revier Reudnitz, (Bodentyp: Pseudogley)	46
Abb. 60a, b:	Bodenprofil der Bodenzustandserhebung in einem Mischbestand aus Kiefern und Buchen im Sächsischen Forstamt Falkenberg, Revier Jagdhaus (Bodentyp:Humuspodsol)	46
Abb. 61a, b:	Basensättigung (%) in den Tiefenstufen 10–30 cm (a) und 30–60 cm (b), statistische Auswertung des 4 x 4-km-Rasters	47
Abb. 62:	pH(H ₂ O) in der Tiefenstufe 10–30 cm an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster	48
Abb. 63a, b:	Ca/Al-Verhältnisse im 1:2-(Boden-Wasser-)Extrakt an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster (Pho=Phonolith, S=Sandstein, Gn=Gneis, Sch=Schiefer, Phy=Phyllit, L-Gr=Lausitzer Granit, SüGr=Sand über Granit, E-Gr=Eibenstocker Granit, F-Gr=Fichtelgebirgs-Granit; Volllöse (VL) und Decklöse (DL))	48
Abb. 64:	Bleigehalte (mg/kg TS) in der Oh-Lage der organischen Auflage (Untergliederung nach Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %) an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster	49
Abb. 65:	Kupfergehalte (mg/kg TS) in der Oh-Lage der organischen Auflage (Untergliederung nach Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %) an den Stichprobenpunkten im 4 x 4-km-Raster	49
Abb. 66a, b:	Schwefel-Ernährung (mg S/g Nadel- bzw. Blatt-Trockenmasse) der DBF-Bestände in den Jahren 1995/97/99 oben: recente Nadeln/Blätter, unten: 3-jährige Fichten- bzw. 2-jährige Kiefern-Nadeln (Mittelwerte mit Vertrauensintervall für $\alpha \leq 0,05$ bei n = 9 Probestämmen; Bewertung nach NEBE 1997 für GFI; nach HEINSDORF 1999 für GKI, TEI, RBU/HBU)	50
Abb. 67:	Schwefelgehalte (mg S/g TM) in den 3-jährigen Fichten-Nadeln sowie den 2-jährigen Kiefern-Nadeln 1992 an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster	51
Abb. 68a, b:	Magnesium-Ernährung (mg Mg/g Nadel- bzw. Blatt-Trockenmasse) der DBF-Bestände in den Jahren 1995/97/99 (oben: recente Nadeln/Blätter, unten: 3-jährige Fichten- bzw. 2-jährige Kiefern-Nadeln); (Mittelwerte mit Vertrauensintervall für $\alpha \leq 0,05$ bei n = 9 Probestämmen; Bewertung nach NEBE 1997 für GFI; nach HEINSDORF 1999 für GKI, TEI, RBU/HBU)	51-52
Abb. 69:	Magnesiumgehalte (mg Mg/g TM) in den 3-jährigen Fichten- und 2-jährigen Kiefern-Nadeln 1992 an den Stichprobenpunkten im 8 x 8-km-Raster	52
Abb. 70:	Umfang der Bodenschutzkalkung in den Jahren 1991 bis 1999	55
Abb. 71:	Kiefernbestand nach einem Waldbrand	56
Abb. 72:	Gülleausbringung mittels bo-dennaher Technik (Schleppschlauch)	56
Abb. 73:	Sturmschäden in einem Fichtenbestand	56

Tabellen

Tab. 1:	Herleitung der kombinierten Schadstufe aus Kronenverlichtung (KV) und Vergilbung	6
Tab. 2:	Kurzbeschreibung zu den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (Level-II)	7
Tab. 3:	Messprogramm auf den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen	8
Tab. 4:	Veränderung der mittleren Kronenverlichtung von 1991/92 zu 1999/00 an den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Raster	24
Tab. 5:	Baumartenverteilung in Sachsen sowie Baumarten- und Altersklassenverteilung der Stichprobenbäume im 4 x 4-km-Raster (entspricht 285 Stichprobenpunkten bzw. 6 840 Bäumen, Angaben in %)	34
Tab. 6:	Schadstufenanteile im Jahr 2000 nach Baumarten/Baumartengruppen (Angaben in %)	34
Tab. 7:	Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Nadel-/Blattvergilbungen (Anteil Probebäume in %)	35
Tab. 8:	Häufigkeit und Intensität des Auftretens von Insekten- und Pilzbefall (Anteil Probebäume in %)	35
Tab. 9:	Häufigkeit und Intensität von Blüte/Fruktifikation (Anteil Probebäume in %)	35
Tab. 10:	Baumartenverteilung der Stichprobenbäume in den Wuchsgebieten (Angaben in %)	40
Tab. 11:	Schadstufenanteile im Jahr 2000 in den Wuchsgebieten (Angaben in %)	40
Tab. 12:	Baumartenverteilung der Stichprobenbäume in den Forstdirektionen (Angaben in %)	42
Tab. 13:	Schadstufenanteile im Jahr 2000 in den Forstdirektion (Angaben in %)	42
Tab. 14:	Untergliederung der Basensättigung zur Beurteilung der Elastizität gegenüber Säurebelastungen (Basensättigung = prozentualer Anteil der austauschbar gebundenen Mb-Kationen [Ca, Mg, K, Na] an der KAK)	47

Literatur

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (1996): Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 5. Auflage. IHW-Verlag, Eching.

BMBF, BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (1999): Forschung für den Wald – Berichte aus der ökologischen Forschung. BEO-Berichte.

CRONAN, C.S. AND CRIGAL, D.F. (1995): Use of Calcium/Aluminium Ratios as Indicators of Stress in Forest Ecosystems. J. Environ. Qual. 24, 209-226.

GODBOLD, D.L. (1994): Aluminium and heavy metal stress: from the rizosphere to the whole plant. In: Godbold, D.L. and Hüttermann, A. (eds.): Effects of acid rain on forest processes. Wiley-Liss, New York.

HEINSDORF, D.: Düngung von Forstkulturen auf Lausitzer Kippen. Eberswalde/LAUBAG 1999, S. 44, 50, 51

LFUG, SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1999): Bodenatlas des Freistaates Sachsen. Teil 3, Bodenmeßprogramm.

LFUG, LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1999): Jahresbericht zur Immissionssituation 1998

LFUG, SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2000): OMKAS – Tagungsband zur Abschlussveranstaltung.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND-PFALZ (1999): Waldzustandsbericht für 1999.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999): Ökologisches Umweltmonitoring im Wald.

NAGEL, H.-D. UND GREGOR, H.-D. (1999): Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels, Springer Verlag Berlin Heidelberg 1999.

NEBE, W. (1997): Nährstoffversorgungsbereiche für Fichte. Vorlesungsmaterial, unveröffentlicht.

RABEN, G., ANDREAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F., LEUBE, F. (2000): Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992 – 1997). Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 18, Graupa.

SMUL, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1998, 1999): Waldschadens-/zustandsberichte 1998 und 1999. Dresden.

STASBURGER, U., NOLL, F., SCHENK, H. SCHIPER, A.F.W. (1987): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 32.Auflage, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

TYLER, G. (1992): Critical Concentrations of Heavy Metals in the Mor Horizon of Swedish Forests. SNV-Report 4078. Solna

ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Boden Zustand. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 144, 289-305.

WOLFF, B. UND RIEK, W. (1997): Deutscher Waldbodenbericht 1996. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Bonn.

Abkürzungen

AH	Ahorn
Alt	Altenberg
Bad S	Bad Schandau
BBA	Begleitbaumart
BZE	Bodenzustandserhebung
B°	Bestockungsgrad
DBF	Dauerbeobachtungsfläche
DGL	Douglasie
DL	Decklöss
DWD	Deutscher Wetterdienst
E-Gr	Eibenstocker Granit
F-Gr	Fichtelberg-Granit
GES	Gemeine Esche
GFI	Gemeine Fichte
GKI	Gemeine Kiefer
Gn	Gneis
HBU	Hainbuche
KV	Kronenverlichtung
LAF	Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa
L-Gr	Lausitzer Granit
LH	Laubholz
LÄ	Lärche
LfUG	Landesamt für Umwelt und Geologie
NAS	Nationalpark Sächsische Schweiz
NH	Nadelholz
OLB	Olbernhau
Pho	Phonolit
Phy	Phyllit
RBU	Rotbuche
S	Sandstein
Sch	Schiefer
SEI	Stieleiche
SüGr	Sand über Granit
TA	Tanne
TEI	Traubeneiche
TM	Trockenmasse
VL	Volllöss
VOC	flüchtige organische Kohlen- wasserstoffe
WSE	Waldschadenserhebung
WG	Wuchsgebiet