

Waldzustands- bericht **1999**



Freistaat  Sachsen

Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Der Waldzustand 1999 im Überblick

Die Waldschadenserhebung 1999 weist 22 % der sächsischen Waldfläche als **deutlich geschädigt**, 36 % als **leicht geschädigt** und 42 % **ohne Schäden** aus. Trotz einer leichten Schadzunahme gegenüber dem Vorjahr bleibt das Schadniveau 1999 unter dem zu Beginn der 90er-Jahre.

Für die Hauptbaumarten und Wuchsgebiete gilt:

- Das Schadniveau bei den Nadelbaumarten hat sich im Vergleich zu den Vorjahren nur wenig verändert; dagegen zeigt es bei den Laubbaumarten eine steigende Tendenz.
- Die deutlichen Schäden bei der **Fichte** liegen mit 27 % um 5 Prozentpunkte über dem Befund für alle Baumarten und haben im Vergleich zum Vorjahr leicht zugenommen.
- Bei der **Kiefer** sind die Schäden so niedrig wie in den vorangegangenen vier Jahren und damit deutlich geringer als Anfang der 90er-Jahre. In Kiefernbeständen kam es zu lokal eng begrenzten Schäden durch nadelfressende Insekten. Rückläufig ist der Befall durch stamm- und rindenbrütende Insekten.
- Schon in den vergangenen Jahren war das Schadniveau der **Eiche** extrem hoch. 1999 hat es sich um weitere 14 Prozentpunkte auf 68 % deutliche Schäden erhöht. Das starke Auftreten von Eichenmehltau sowie phylophager Insekten hat im Sommer den Belaubungszustand der Eichen erheblich beeinträchtigt. Fraßschäden im Frühjahr – verursacht durch Eichenwickler und Frostspannerarten – spielten nur eine untergeordnete Rolle.
- Erneut etwas angestiegen sind die Schäden in der **Buche**. Die Verzweigungsstruktur der Buchenkronen in mittelalten Beständen des Erzgebirges verweist auf deutliche Vitalitätsverluste und eine verringerte Flexibilität der Kronen.
- An anderen Laubbaumarten traten verschiedenartige biotische Schäden auf, die deren Belaubungszustand beeinflussten.
- Zwischen den Wuchsgebieten zeigen sich erhebliche Unterschiede im Schadausmaß: Im Erzgebirge sind die Schäden deutlich höher als im Landesdurchschnitt, wobei die Schadausprägung auch innerhalb des Wuchsgebietes stark differenziert ist. Die Schadentwicklung lässt noch keinen generellen Trend erkennen. Allerdings deutet sich in den Gebieten, die in der Vergangenheit stark geschädigt waren, eine leichte Entspannung an. Im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland erfolgte eine drastische Schadzunahme, die vorrangig in Zusammenhang mit der Verschlechterung des Zustandes der Laubbaumarten steht. Wesentlich günstiger ist der Zustand des Waldes in den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/ Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland.

Die Belastungen in den Waldökosystemen durch Schwefeleinträge sind besonders in den Regionen des Erzgebirges erheblich zurückgegangen. Zumeist werden jedoch die ökologisch langfristig vertretbaren Belastungsraten (Critical Loads) durch die aktuellen Schwefel-, Stickstoff- und Säureeinträge auch weiterhin überschritten. Es zeichnet sich eine Schwerpunktverlagerung von der vormals dominierenden Schwefelbelastung zu einer verstärkten Stickstoffbelastung ab. An Mess-Stationen des Erzgebirges übersteigen die Ozon-Belastungen teilweise erheblich die kritischen Raten.

Die Elastizität der zumeist stark versauerten, nährstoffarmen Waldböden gegenüber weiteren Säurebelastungen ist insbesondere in den südlichen Landesteilen (z. B. Erzgebirge) nur gering. Die kurz- bis mittelfristig verfügbaren Nährelementvorräte befinden sich überwiegend in den organischen Auflagen aus häufig ungünstigen Humusformen und sind damit nicht stabil bzw. langfristig gesichert. Die Waldböden besitzen dementsprechend nur noch geringe Pufferreserven. Um einer fortschreitenden Bodenversauerung und damit Gefährdung für die Qualität des Grund- und Quellwassers vorzubeugen, sind Gegenmaßnahmen – z. B. die Bodenschutzkalkung – weiterhin erforderlich. Eine Gefahr ist vielfach auch durch die Mobilisierung von Schwermetallvorräten aus den Humusaufgaben gegeben. So gehören die organischen Auflagen in Bereichen des Erzgebirges zu den am stärksten durch Blei belasteten Deutschlands.

Summary on the forest condition in 1999

In Saxony, the forest damage survey assessed 22 % of all trees as **visibly damaged** (damage classes 2 – 4), 36 % as **slightly damaged** (damage class 1) and 42 % **without damages** (damage class 0) in 1999. Despite of a slight increase of the damages compared to the previous year, the distribution of the damage classes remained below the damage level observed in the beginning of the 90ies.

For the main tree species and the growth areas, it can be noted:

- In comparison with the previous years, the damages of conifers changed only slightly; however, the percentage of damaged deciduous tree species increased.
- 27 % of the *Picea abies* (L.) KARST. trees assessed showed visible damages, i.e. 5 points over the value of all tree species. Therefore, the damages increased slightly compared to the previous year.
- In comparison with the previous four years, the visible damages of *Pinus sylvestris* L. remained nearly on the same level and were significantly lower than in the beginning of the 90ies. Limited damages could be observed locally by needle defoliating insects in pine stands. The infestation by bark and stem hatching insects decreased in 1999.
- As already observed in the previous years, the level of damages of *Quercus* spp. was again extremely high in 1999 and increased by 14 points to 68 % of visible damages. The heavy occurrence of oak mildew as well as leaf eating insects affected significantly the foliage of the oaks. Damages in spring caused by oak tortrix and winter moth species had no significant effects.
- The percentage of visibly damaged trees of *Fagus sylvatica* L. increased again slightly in 1999. In middle aged stands located in the Ore Mountains, the ramification structure of the trees investigated indicates a significant loss of vitality and a decreased capability of crown development.
- Other deciduous tree species showed various biotic damages influencing those foliage condition.
- In 1999, significant differences occurred in the level of damages among the growth areas: In the Ore Mountains, the forest damages were significantly higher compared with the average values evaluated for Saxony. The expression of damages showed also a great variation within the growth area of the Ore mountains. The development of damages did not indicate any trend. However, a slight improvement of the damage situation could be observed in the regions heavily damaged in the past. In the growth area "Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland", a graphic increase of damages was assessed directly correlated to the deterioration of the condition of the deciduous tree species. Compared with that, the forest condition was significantly better in the growth areas "Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland".

Especially in the Ore mountains, the pollution of forest ecosystems by sulphur decreased significantly. Nevertheless, the critical loads were mostly exceeded by the relevant inputs of sulphur, nitrogen and acid. A shift of emphasis could be observed from the previously dominant pollution by sulphur to the increased pollution by nitrogen.

At air pollution monitoring stations located in the Ore mountains, the pollution by ozone exceeded partly considerably the critical limits.

The elasticity of the mostly very acidic and nutrient poor forest soils to additional pollution of acid is low especially in the southern parts of Saxony e.g. the Ore mountains. The short- and medium-term available nutrient bases are located mainly in the organic covers of frequently unfavourable humus types. Therefore, they are not stable or not stored in the long-term respectively. Consequently, the forest soils have only little buffer capacities. To prevent the continuing acidification of forest soils, counter-measures are necessary furthermore, e.g. soil conservation liming.

In many cases, another threat is given by the mobilisation of heavy metal reserves stored in the humus covers. In Germany, the organic covers most polluted by lead can be found in the regions of the Ore mountains.

Stan zdrowotny lasów saksońskich w roku 1999 - podsumowanie

Ocena stanu zdrowotnego lasów w roku 1999 wykazuje na 22 % powierzchni lasów Saksońskich szkody wyraźne, na 37 % szkody lekkie a na 42 % nie stwierdzono szkód. Mimo lekkiego wzrostu w porównaniu do roku poprzedniego poziom szkód w 1999 roku pozostał poniżej stanu na początku lat 90-tych.

Dla głównych gatunków drzew i rejonów klimatycznych można podsumować:

- U drzew iglastych poziom szkód w porównaniu do lat poprzednich mało się zmienił, natomiast u gatunków liściastych pokazuje się tendencja przybierająca.
- U świerka udział wyraźnie uszkodzonych drzew wynosi 27 % - jest to 5 % powyżej przeciętnej wszystkich gatunków oraz lekkie podwyższenie w porównaniu do roku poprzedniego.
- Szkody u sosny są podobno niskie jak w ostatnich czterech latach i wyraźnie niższe niż na początku lat 90-tych. W drzewostanach sosnowych lokalnie doszło do ograniczonych szkód wyrządzonych przez owady igłozerne. Porażenia przez korniki obniżyły się.
- Już w ostatnich latach poziom szkód u dęba był skrajnie wysoki. W roku 1999 jeszcze raz wzrósł udział wyraźnie uszkodzonych dębów o 14 % na 68 %. Silne występowanie mączniaka dębowego oraz owadów liściożernych latem oddziaływały ujemnie na dęba. Szkody wyrządzone wiosną przez gąsienice Zwójki zieloneczki i rodzaju *Operophtera* odgrywały tylko podporządkowaną rolę.
- Szkody u buka ponownie nieznacznie się podwyższyły. Struktura gałęzi w koronach buków w drzewostanach o średnim wieku w Górach Rudawskich wskazuje na wyraźne straty vitalności oraz zmniejszoną elastyczność koron drzew.
- U innych gatunków drzew liściastych stwierdzono różne szkody biotyczne, które miały wpływ na wygląd listowia.
- Znaczne różnice intensywności szkód istnieją pomiędzy rejonami klimatycznymi: W Górach Rudawskich szkody są wyraźnie wyższe niż przeciętna kraju federalnego, mimo to ich intensywność w tym rejonie klimatycznym jest bardzo zróżnicowana. Nie można jeszcze rozpoznać generalnego trendu. W tych terenach, które w przeszłości były najbardziej poszkodowane, rysuje się lekkie odprężenie sytuacji. W "Saksońsko - Thuringijskich wzniesieniach lessowych" nastąpił drastyczny wzrost szkód, co przede wszystkim jest spowodowane przez pogorszenie się stanu zdrowotnego drzew liściastych. Znacznie lepszy jest stan lasów w rejonach "Düben-Dolnołużycki krajobraz morenowy starszy" i "Środkowy północno-wschodni młodszy krajobraz morenowy".

Obciążenia ekosystemów leśnych przez imisję związków siarki przede wszystkim w Górach Rudawskich istotnie zmalały. Przeważnie jednak granice ekologicznie możliwych długoterminowych obciążeń (Critical loads) są przekraczane przez aktualne imisje związków siarki, azotu i kwasów. Nastąpiła zmiana z dawniej dominujących imisji siarki do związków azotu.

Przy niektórych stacjach pomiarowych w Górach Rudawskich obciążenia ozonem przekraczają poważnie krytyczne raty.

Elastyczność zakwaszonych, słabych gleb leśnych wobec dalszych obciążeń przez związki kwaśne jest przede wszystkim w południowej części kraju (n.p. Góry Rudawskie) tylko niewielka. Krótko- i średnioterminowo dostępne zasoby elementów odżywczych znajdują się przeważnie w warstwie próchnicy w niekorzystnych formach i dlatego nie są stabilne względnie długoterminowo zabezpieczone. Gleby leśne dlatego posiadają tylko niewielkie rezerwy buferowe. Żeby zapobiec dalszemu zakwaszeniu gleb i pogorszeniu jakości wód gruntowych i źródeł, są konieczne przeciwdziałania - n.p. przez nawożenie ochronne wapnem.

Istnieje niebezpieczeństwo mobilizacji metali ciężkich z warstwy próchnicy. W niektórych obszarach Gór Rudawskich obciążenia próchnicy ołowiem sięgają najwyższych wartości w Niemczech.

Přehled zdravotního stavu lesů Saska v roce 1999.

Evidence poškození lesů v roce 1999 vykazuje 22% zřetelné, 36% lehce poškozené a 42% zdravé saské lesní plochy. I když se škody mírně zvýšily oproti minulému roku, zůstává stupeň poškození pod hladinou počátku devadesátých let.

Pro hlavní dřeviny a jejich růstové stanoviště platí:

- Stupeň poškození jehličnanů se ve srovnání s loňským rokem pouze mírně změnil, oproti tomu ukazují listnáče stoupající tendenci poškození.
- Zřetelné škody vykazuje smrk - 27%. Tímto výsledkem leží o 5% nad hladinou poškození veškerých dřevin. Škody se proto mírně zvýšily.
- U borovice jsou škody mírné. Úroveň se v posledních čtyřech letech nezměnila a je zřetelně nižší než na počátku 90-tych let. V borových porostech došlo k lokálně omezenému žíru jehlic. Snižuje se však napadení korním hmyzem.
- Už v posledním roce byla úroveň škod na dubu extrémně vysoká. V roce 1999 se ještě jednou o 14% na celkově 68% zřetelných škod zvýšila. Silný výskyt Padlí (*Microspora aliphitoides*) a phyllophageního hmyzu způsobily zvýšené odlistnění. Jarní žír obalečem a pidálkou zde hrál jenom podřadnou roli.
- Opět se zvýšily škody na buku. Rozvětvení bukových korun v porostech středního věku ukazuje v Krušných horách na sníženou vitalitu a flexibilitu třechto korun.
- Ostatní listnáče vykazují různé abiotické škody které částečně ovlivnily odlistnění stromů.
- Mezi jednotlivými růstovými stanovišti jsou značné rozdíly ve stupních poškození. V Krušných horách bylo poškození značně vyšší než vykazuje zemský průměr i když rozsah škod je velice rozličný. Vývoj škod nenaznačuje generelní trend. V oblastech silného poškození se však naznačuje lehké zlepšení. V saskoturiňském předhoří se zjistilo drastické zhoršení zdravotního stavu lesa v důsledku zvýšených škod na listnácích. Velice příznivější je zdravotní stav lesa v severovýchodním Sasku - Mittleres Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland.

Zanášení sírových zplodin do lesních ekosystémů se podstatně snížilo v Krušných horách.

Ve většině případů se ale hranice dopustnosti dlouhodobého zatížení zanášením zplodin síry, dusíku a kyselin překračují. Toho času se zjišťuje že těžišť, se přesunuje od zplodin síry k dusíku.

V měřicích stanicích Krušných hor se taky zjistilo, že zatížení Ozonem překračuje kritické hranice.

Pružnost kyselých a na živiny chudých půd je vůči dalšímu zatížení zvláště v jižním Sasku (Krušné hory) velice nízká. Krátkodobě přijatelné živiny se nacházejí převážně v organické vrstvě nepříznivých forem humusu a nejsou proto dlouhodobě zajištěné. Lesní půdy z tohoto důvodu mají pouze mírnou nabírací rezervu. Pro zajištění dlouhodobé kvality podzemní a pramené vody jakož i proti dalšímu zakyselení lesních půd je třeba nadále provádět ochranné vápnění.

Další nebezpečí spočívá v mobilizaci těžkých kovů v humusní vrstvě. Krušné hory jsou olovem nejzatíženější oblastí celého Německa.

Summary on the forest condition in 1999

In Saxony, the forest damage survey assessed 22 % of all trees as **visibly damaged** (damage classes 2 — 4), 36 % as **slightly damaged** (damage class 1) and 42 % **without damages** (damage class 0) in 1999. Despite of a slight increase of the damages compared to the previous year, the distribution of the damage classes remained below the damage level observed in the beginning of the 90ies.

For the main tree species and the growth areas, it can be noted:

- In comparison with the previous years, the damages of conifers changed only slightly; however, the percentage of damaged deciduous tree species increased.
- 27 % of the *Picea abies* (L.) KARST. trees assessed showed visible damages, i.e. 5 points over the value of all tree species. Therefore, the damages increased slightly compared to the previous year.
- In comparison with the previous four years, the visible damages of *Pinus sylvestris* L. remained nearly on the same level and were significantly lower than in the beginning of the 90ies. Limited damages could be observed locally by needle defoliating insects in pine stands. The infestation by bark and stem hatching insects decreased in 1999.
- As already observed in the previous years, the level of damages of *Quercus* spp. was again extremely high in 1999 and increased by 14 points to 68 % of visible damages. The heavy occurrence of oak mildew as well as leaf eating insects affected significantly the foliage of the oaks. Damages in spring caused by oak tortrix and winter moth species had no significant effects.
- The percentage of visibly damaged trees of *Fagus sylvatica* L. increased again slightly in 1999. In middle aged stands located in the Ore Mountains, the ramification structure of the trees investigated indicates a significant loss of vitality and a decreased capability of crown development.
- Other deciduous tree species showed various biotic damages influencing those foliage condition.
- In 1999, significant differences occurred in the level of damages among the growth areas: In the Ore Mountains, the forest damages were significantly higher compared with the average values evaluated for Saxony. The expression of damages showed also a great variation within the growth area of the Ore mountains. The development of damages did not indicate any trend. However, a slight improvement of the damage situation could be observed in the regions heavily damaged in the past. In the growth area "Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland", a graphic increase of damages was assessed directly correlated to the deterioration of the condition of the deciduous tree species. Compared with that, the forest condition was significantly better in the growth areas "Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland".

Especially in the Ore mountains, the pollution of forest ecosystems by sulphur decreased significantly. Nevertheless, the critical loads were mostly exceeded by the relevant inputs of sulphur, nitrogen and acid. A shift of emphasis could be observed from the previously dominant pollution by sulphur to the increased pollution by nitrogen.

At air pollution monitoring stations located in the Ore mountains, the pollution by ozone exceeded partly considerably the critical limits.

The elasticity of the mostly very acidic and nutrient poor forest soils to additional pollution of acid is low especially in the southern parts of Saxony e.g. the Ore mountains. The short- and medium-term available nutrient bases are located mainly in the organic covers of frequently unfavourable humus types. Therefore, they are not stable or not stored in the long-term respectively. Consequently, the forest soils have only little buffer capacities. To prevent the continuing acidification of forest soils, counter-measures are necessary furthermore, e.g. soil conservation liming.

In many cases, another threat is given by the mobilisation of heavy metal reserves stored in the humus covers. In Germany, the organic covers most polluted by lead can be found in the regions of the Ore mountains.

Waldzustandsbericht 1999

(Waldschadensbericht nach § 58 SächsWaldG)

Inhalt

Vorbemerkungen	3
<hr/>	
Waldzustand 1999	5
Methodik der Waldschadenserhebung (WSE)	5
Analyse des Datenmaterials	6
Ergebnisse	8
Allgemeine Schadsituation	8
Schäden an den Hauptbaumarten	10
Regionale Ausprägung der Schäden	21
Aussagen zur Vitalität der Buche nach Kronenstrukturmerkmalen	27
Zusammenfassung	32
<hr/>	
Rahmenbedingungen für den Waldzustand	33
Witterung	33
Immissionen	37
Stoffeinträge	39
pH-Werte im Niederschlag	41
Elementeinträge	41
Chemische Parameter in der Lösungsphase der Waldökosysteme	43
Waldböden	45
Basensättigung	46
pH-Werte	48
Nährstoffvorräte	49
Schwermetalle Blei und Kupfer in der organischen Auflage	50
Kritische Belastungsraten (Critical Loads)	53
Zusammenfassung	57
<hr/>	
Maßnahmen gegen Waldschäden	58

Vorbemerkungen

Die Ergebnisse der diesjährigen Erfassung der Entwicklung unseres Waldes in Form eines Waldzustandsberichtes liegen vor.

Der Gesundheitszustand der Bäume im Winterschadgebiet 1995/96 des Mittel- und Osterzgebirges hat sich mit einem weiteren Rückgang der deutlichen Schäden wiederum verbessert. Durch die Verschlechterung des Zustandes der Laubbäume und der Fichten ausserhalb des Winterschadgebietes ist der Anteil der deutlich geschädigten Bäume insgesamt in Sachsen angestiegen.

Der entscheidende 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 besonders in der langen Dauer des Eintrages von Schadstoffen in den Wäldern. Die Schadstoffeinträge haben unsere Waldböden geschädigt und die Ernährungsbedingungen der Bäume verschlechtert.

Eine wichtige Voraussetzung für gezielte Maßnahmen zur Verbesserung des Waldzustandes ist die Erfassung von genauen Daten über den Bodenzustand, über die Auswirkungen aller Einflüsse auf den Wald und über die Entwicklung des Waldzustandes. Dafür betreiben wir im Wald ein umfangreiches Monitoringsystem. In diesem Jahr sind dazu die Daten für den gesamten Stoffkreislauf eines Waldgebietes aus einer weiteren, erstmalig im Nationalpark Sächsische Schweiz gelegenen Dauerbeobachtungsfläche eingegangen. Insgesamt verfügen wir damit in Sachsen über sieben Dauerbeobachtungsflächen.

Die umfangreichen Maßnahmen der Landesforstverwaltung zur Sanierung geschädigter Waldbestände konnten auch 1999 fortgeführt werden. In diesem Jahr wurde zur Kompensation von Säureeinträgen auf etwa 19 000 ha Waldfläche Kalk ausgebracht. Durch die Förderung im Privat- und Körperschaftswald erfolgte eine intensive Unterstützung der Waldbesitzer bei ihren Bemühungen zur Verbesserung des Waldzustandes.

Die Anstrengungen zum Schutz des Waldes werden langfristig zu einer Gesundung unserer Wälder führen.



Steffen Flath

Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft

Methodik der Waldschadenserhebung (WSE)

Die Waldschadenserhebung ist ein terrestrisches Stichprobenverfahren, bei dem der Kronenzustand als äußerlich sichtbares Merkmal für den aktuellen Gesundheitszustand der Waldbäume begutachtet wird. Die Methodik der Waldschadenserhebung ist bundesweit einheitlich und sichert damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Bundesländern. Durch Kontinuität in der Aufnahme und den dadurch möglichen Zeitreihenvergleich gewinnt die Waldschadenserhebung wesentlich an Aussagekraft.

Die systematisch verteilten Stichprobenpunkte orientieren sich an den Gauß-Krüger-Koordinaten. Ein flächendeckendes Netz im Abstand von 4 x 4 km bildet die Grundlage für eine Vollstichprobe, von der gesicherte, flächenrepräsentative Aussagen über den Gesundheitszustand des Gesamtwaldes, der Hauptbaumarten Fichte und Kiefer, einzelner Altersbereiche sowie zu größeren Wuchsgebieten erwartet werden. Eine Unterstichprobe liefert nur Aussagen für größere Auswerteeinheiten. In Sachsen wurde 1991 erstmalig der Waldzustand nach WSE-Methodik erhoben. Die Dichte des Stichprobenrasters betrug in den einzelnen Jahren:

- 1991 4 x 4 km (Vollstichprobe)
- 1992 4 x 2 km (Vollstichprobe mit Netzverdichtung)
- 1993 4 x 8 km (Unterstichprobe)
- 1994 4 x 4 km (Vollstichprobe)
- 1995 4 x 8 km (Unterstichprobe)
- 1996 4 x 8 km (Unterstichprobe mit regionaler Verdichtung)

1997 4 x 4 km (Vollstichprobe)

1998 4 x 4 km (Vollstichprobe)

1999 4 x 4 km (Vollstichprobe)

Die jeweils integrierten Aufnahmen im 16 x 16-km-Raster bilden die Grundlage für die Auswertung auf Bundes- und EU-Ebene. An den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Rasters wird zusätzlich die Bodenzustandserhebung (BZE) durchgeführt.

An jedem Rasterpunkt der WSE, der auf eine Holzbodenfläche mit einer Bestockung von mindestens 60 cm Höhe fällt, werden 24 systematisch ausgewählte Bäume begutachtet. Jeder Stichprobenbaum wird eingeschätzt nach:

- seinem Nadel-/Blattverlust (in 5%-Stufen) und
- seinem Anteil vergilbter Nadeln bzw. Blätter (in 4 Stufen).

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.

Tab. 1: Herleitung der kombinierten Schadstufe aus Nadel-/Blattverlust und Vergilbung

Nadel-/ Blattverlust [%]	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

Bei einem Nadel-/Blattverlust von mehr als 25 % (ohne Vergilbung) bzw. darunter mit entsprechendem Vergilbungsanteil wird von „deutlicher Schädigung“ (Schadstufen 2–4) gesprochen. Die **kombinierte Schadstufe** findet vorrangig zur Darstellung der aktuellen Schadenssituation Verwendung, für Untersuchungen zum Schadensverlauf wird sie durch den **mittleren Nadel-/Blattverlust** ergänzt.

Das Erscheinungsbild eines Einzelbaumes ist stets von einer Vielzahl von Einflussfaktoren geprägt, deren Wirkung oft nur mithilfe aufwendiger Ursachenforschung festgestellt werden kann. Einige dieser Faktoren werden bei der WSE erfasst, bleiben aber bei der Bildung der kombinierten Schadstufe unberücksichtigt. Es werden von jedem Baum zusätzlich registriert:

- Blüte/Fruktifikation
- biotische Schäden durch Wild, Insekten und Pilze
- abiotische Schäden durch Wind, Schnee, Eis und – soweit eindeutig zuzuordnen – Immissionen.

2 = mittelstark geschädigt
3 = stark geschädigt
4 = abgestorben
} **deutlich geschädigt**

Da die Bestände, in denen sich die Stichprobenpunkte befinden, sowohl einer forstlichen Bewirtschaftung als auch anderen Einflüssen unterliegen, ist es möglich, dass von einer Aufnahme zur folgenden Stichprobenbäume aus dem Kollektiv ausscheiden. Streng systematisch wird dann der ausgefallene Baum durch einen Ersatzbaum ersetzt.

Gebietsweise kann das Auftreten biotischer und abiotischer Schadeinflüsse den Waldzustand maßgeblich bestimmen. Die durch sie verursachten Veränderungen sind zum Teil drastischer und damit deutlicher erkennbar als der langfristige und allmähliche Vitalitätsverlust der Bäume durch Schadstoffimmissionen.

Obwohl derartige spezielle Schädigungen im Rahmen der WSE an den Probestämmen registriert werden, können diese Angaben nur bedingt zur Interpretation des jeweils aktuellen Schadgeschehens genutzt werden. Dafür gibt es mehrere Gründe. In den Monaten Juli und August, in denen die Erhebung stattfindet, sind nur einige Schäden eindeutig erkennbar, wie z. B. der gerade abgeschlossene Fraß von Larven der Fichten-Gespinstblattwespe oder von Raupen der Nonne und des Kiefernspinners. Andere Schäden, beispielsweise fraßbedingte Blattverluste vom Frühjahr, wurden bis dahin durch die Bäume teilweise wieder regeneriert. Eine dritte Gruppe von Schädigungen wird erst in den

Wochen nach den WSE-Aufnahmen sichtbar (z. B. Buchdrucker- und Prachtkäferbefall bzw. Fraß durch Raupen des Kiefernspanners). Hinzu kommt, dass viele biotische Schäden nicht gleichmäßig im Wald verteilt auftreten, sondern konzentriert in bestimmten Bereichen. Diesen Besonderheiten im Befallsgeschehen wird die WSE mit der Erfassung an systematisch verteilten Rasterpunkten nicht gerecht. Um mit dem vorliegenden Bericht auch zu diesen Schäden weitergehende Aussagen treffen zu können, gingen in die Auswertung zusätzlich Daten anderer Erhebungen ein. Diese sind unter dem Begriff „Forstschutzmeldewesen“ zusammengefasst.

Analyse des Datenmaterials

Das 4 x 4-km-Raster, welches die Grundlage für die Gesamtauswertung 1999 bildet, umfasst in Sachsen 285 Stichprobenpunkte.

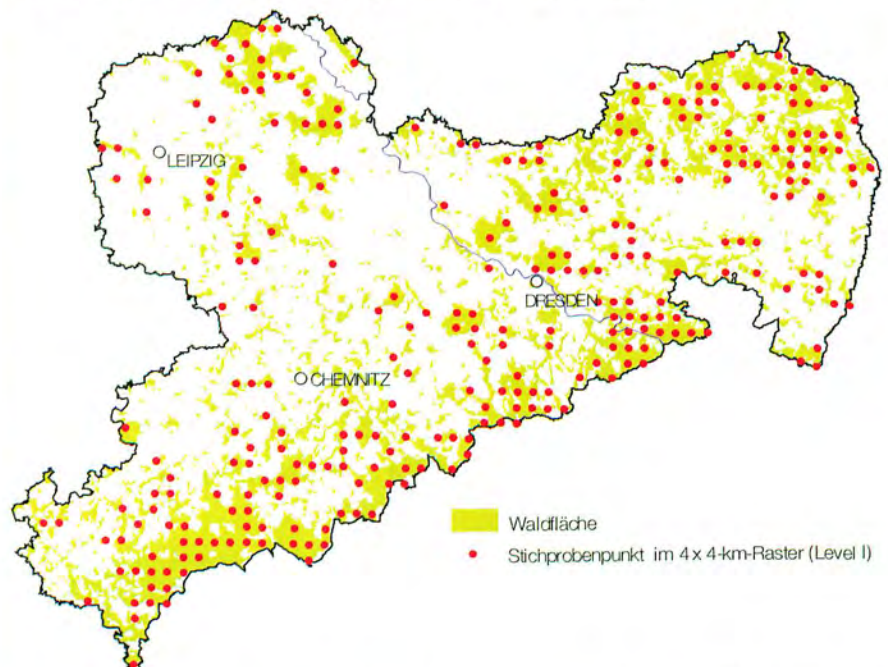
An 284 Punkten wurden in diesem Jahr 6 816 Bäume nach den vorgenannten Kriterien begutachtet; davon waren 3 072 Bäume älter als 60 Jahre. Ein Stichprobenpunkt lag auf einer Blöße bzw. in einer Kultur unter 60 cm Höhe. Die Verteilung der Stichprobenpunkte in Sachsen ist aus *Abb. 1* zu ersehen.

1999 mussten gegenüber der letzten Aufnahme vom Kollektiv der über 60-jährigen Stichprobenbäume 77 Bäume (entspricht 2,5 %) ersetzt werden:

- 53 Bäume wurden bei forstlichen Eingriffen entnommen
- 2 waren geworfen bzw. angeschoben
- 22 gehörten nicht mehr zur herrschenden Bestandesschicht.

Der Ersatz von Stichprobenbäumen hat nachgewiesenermaßen kaum Einfluss auf das Ergebnis der Waldschadenser-

Abb. 1: Lage der WSE-Stichprobenpunkte im 4 x 4-km-Raster



hebung für größere Auswerteeinheiten (Baumart, Wuchsgebiet). Die *Tab. 2 bis 4* charakterisieren die Altersklassen- und Baumartenverteilung der Stichprobenbäume in den regionalen Auswertestraten. Ein Vergleich zur aktuellen Verteilung im Gesamtwald macht

die gute Repräsentanz der Stichprobe deutlich. Die Verteilung der Stichprobe auf verschiedene Auswerteeinheiten zeigt außerdem, dass aufgrund eines zu geringen Stichprobenumfangs nicht für alle Auswerteeinheiten (z. B. Buche) Aussagen abgesichert werden können.

Tab. 2: Baumarten- und Altersklassenverteilung der Stichprobenbäume (Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	aktuelle Verteilung*	Stich- probe	Altersklasse					
			bis 20	21–40	41–60	61–80	80–100	>100
Fichte	43,8	44	13	10	23	20	21	13
Kiefer	31,7	32	17	18	25	20	6	14
sonstige Nadelbäume	3,6	5	59	19	11	5	2	4
Buche	2,8	2	0	19	19	19	4	39
Eiche	6,1	4	3	10	18	9	15	45
sonstige Laubbäume	12,0	13	18	16	39	12	7	8
alle Baumarten	100,0	100	17	14	24	18	13	14

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

Tab. 3: Baumartenverteilung der Stichprobe in den Wuchsgebieten

Wuchsgebiet	Anteil an der Stichprobe [%]								
	ges.	– 60	> 60	Fichte	Kiefer	sonst. Nadel- bäume	Buche	Eiche	sonst. Laub- bäume
14* Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	30	63	37	3	82	0	0	3	12
15* Düben-Niederlausitzer Altmoränenland									
23* Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen	2	43	57	0	0	0	0	31	69
24* Leipziger Sandlöss-Ebene									
25* Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	6	50	50	19	22	5	1	14	39
26* Erzgebirgsvorland	2	86	14	68	1	16	1	9	5
27 Westlausitzer Platte und Elbtalzone	10	61	39	26	33	1	6	12	22
28 Lausitzer Löss-Hügelland									
46 Elbsandsteingebirge	11	59	41	52	16	18	6	1	7
47 Oberlausitzer Bergland									
48 Zittauer Gebirge									
44* Vogtland	6	37	63	70	13	4	1	5	7
45 Erzgebirge	33	47	53	84	1	6	3	1	5
Sachsen	100	55	45	44	32	5	2	4	13

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

Tab. 4: Baumartenverteilung der Stichprobe in den Forstdirektionen

Forstdirektion	Anteil an der Stichprobe [%]								
	ges.	– 60	> 60	Fichte	Kiefer	sonst. Nadel- bäume	Buche	Eiche	sonst. Laub- bäume
Bautzen	51	59	41	28	48	4	3	4	13
Chemnitz	49	51	49	60	15	5	2	5	13
Sachsen	100	55	45	44	32	5	2	4	13

Ergebnisse

Allgemeine Schadsituation

Die Waldschadenserhebung 1999 weist in Sachsen

- 22 % der Waldfläche als deutlich geschädigt (Schadstufen 2–4)
- 36 % als leicht geschädigt (Schadstufe 1) und
- 42 % ohne erkennbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) aus (vgl. Abb. 2).

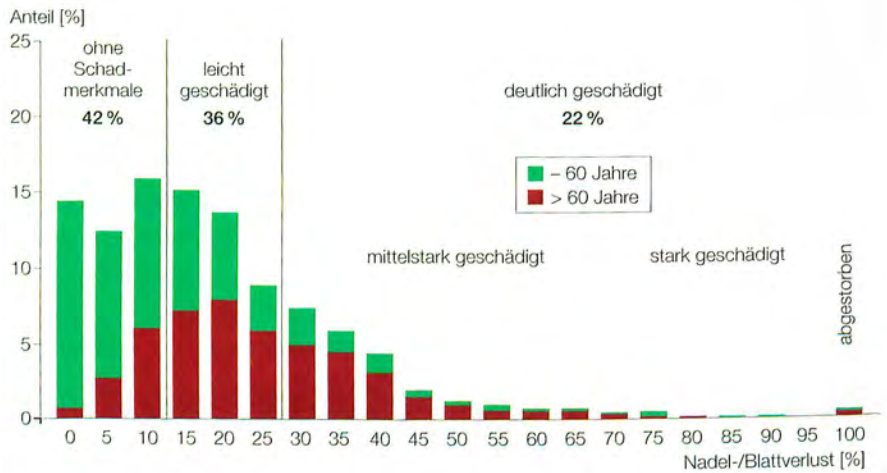
In der Gruppe deutlich geschädigter Bäume sind mit 20 % die mittelstark geschädigten (Schadstufe 2) und mit 2 % die stark geschädigten bzw. abgestorbenen Bäumen (Schadstufen 3 und 4) vertreten.

Wie die Abb. 2 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 1999 mit 35 % ca. 3-mal höher als bei den jüngeren. Während die Häufigkeitsverteilung der über 60-jährigen Bäume ihr Maximum bei einem Nadel-/Blattverlust von 20 % ausbildet, liegt es bei den bis 60-jährigen Bäumen bei 0 %.

Die Wälder Sachsens sind insgesamt durch ein hohes Schadniveau gekennzeichnet. Während des Zeitraumes von **1991–1999 schwankte der Anteil deutlicher Schäden (Schadstufen 2–4) zwischen 17 und 27 %**. Im Jahr 1991 wurde mit 27 % deutlicher Schäden das höchste Schadniveau registriert. Bis 1994 hielt sich der Anteil deutlicher Schäden über 20 %. 1995 sank er auf 17 % ab und schwankte bis 1998 nur unwesentlich im Bereich von 17 bis 19 %.

Der Schadrückgang in diesem Zeitraum ist in erster Linie auf die günstigen

Abb. 2: Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes in den Altersbereichen



Witterungsbedingungen, insbesondere Niederschlagsverhältnisse zu Beginn der jeweiligen Vegetationsperiode zurückzuführen. Innerhalb der Gruppe deutlich geschädigter Bäume hatte sich von 1995 zu 1996 der Anteil stark geschädigter bzw. abgestorbener Bäume (Schadstufen 3 und 4) verdoppelt. Ursache hierfür waren extrem hohe Einträge von SO₂ in Kombination mit Witterungsextremen im Winter 1995/96, wodurch sich der Waldzustand in den Gebirgslagen vom Fichtelberg bis ins Zittauer Gebirge erheblich verschlechtert hat.

Für 1999 ist wieder ein leichter Anstieg der deutlichen Schäden zu verzeichnen. Im Vergleich zu 1998 erhöhte sich der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche um 3 Prozentpunkte auf 22 %. Der Anstieg vollzog sich sowohl bei den jüngeren als auch den älteren, über 60-jährigen Beständen in vergleichbarer Größenordnung. **Er konzentriert sich jedoch schwerpunktmäßig auf einzelne Baumarten bzw. Baumartengruppen** (vgl. S. 6 ff). Demgegenüber hat die Waldfläche ohne Schadmerkmale bzw. mit geringen Schäden leicht abgenommen (vgl. Abb. 3a, b).

Abb. 3a: Veränderung der Schadstufenverteilung von 1991 bis 1999

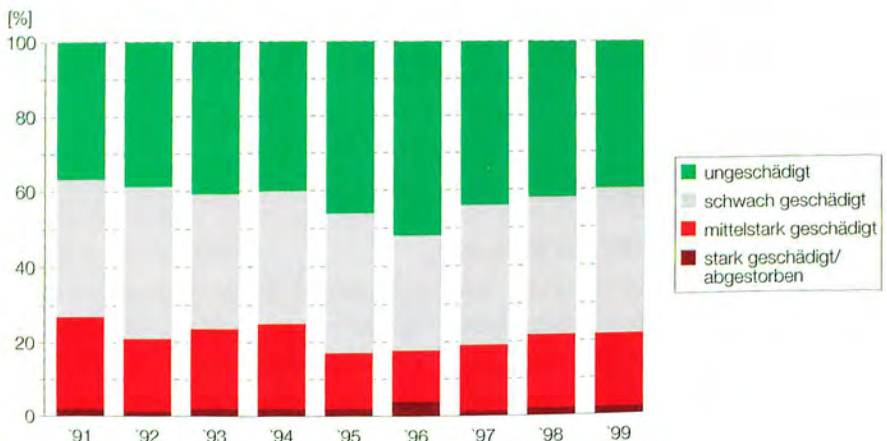


Abb. 3b: Verlauf des mittleren Nadel-/Blatt-Verlustprozent (NBV) von 1991 bis 1999



Abb. 4: Veränderung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozent an den Stichprobenpunkten

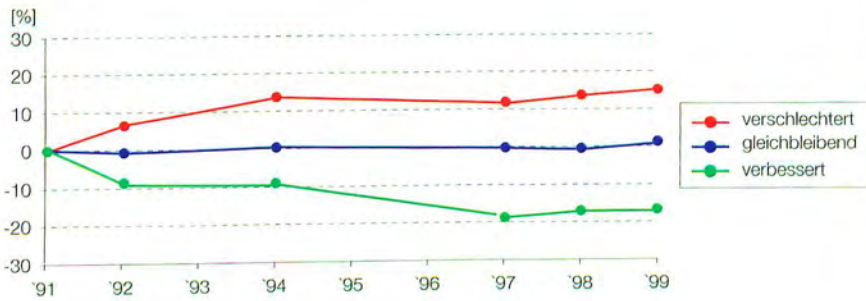
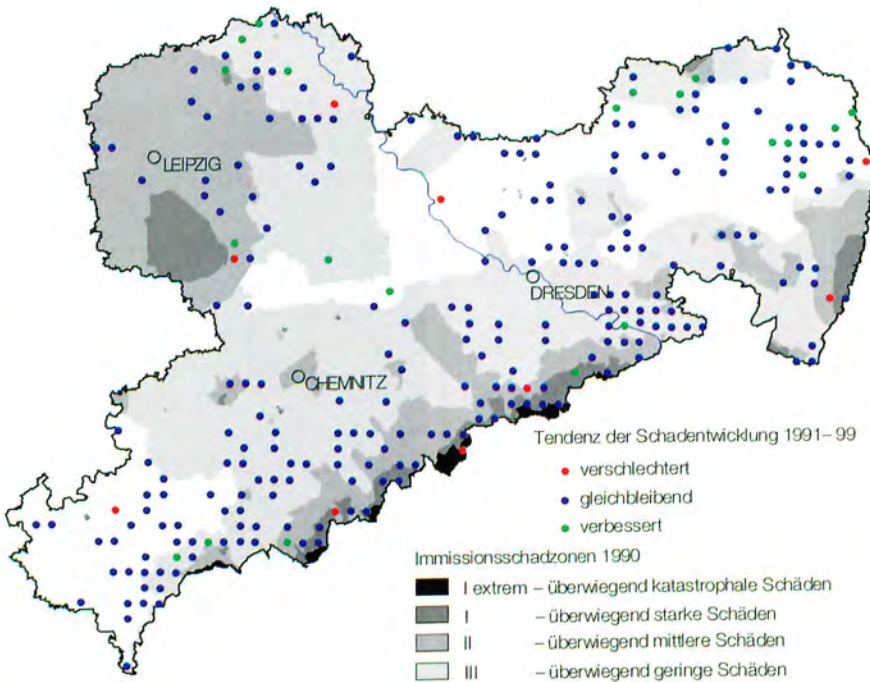


Abb. 5: Entwicklungstrends in räumlicher Verteilung



Die Verschiebungen in den einzelnen Schadstufen kommen auch in der Veränderung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozent zum Ausdruck. Das Schadniveau von 1999 liegt jedoch weiterhin unter dem zu Beginn der 90er-Jahre.

Die Veränderung des Kronenzustandes in einzelnen Stichprobenbeständen wurde – unabhängig von der Baumart – mithilfe einer Clusteranalyse geprüft und in 3 Gruppen mit ähnlichem Schadverlauf zusammengefasst. In die Analyse sind alle Bestände des 4 x 4-km-Rasters eingegangen. Ausgehend vom mittleren Nadelverlustprozent des Jahres 1991 wurde die Veränderung dieses Parameters in den Jahren untersucht, in denen eine Vollstichprobe erhoben wurde. Abb. 4 charakterisiert die unterschiedliche Schadentwicklung an den 262 in die Bewertung eingegangenen Stichprobenbeständen. Bei 88 % der Bestände hat sich der Kronenzustand in den vergangenen neun Jahren nur unwesentlich verändert, bei 18 % hat er sich insbesondere im Zeitraum 1991 bis 1997 verbessert. Weitere 4 % waren durch tendenziell zunehmende Kronenverlichtung gekennzeichnet. Die räumliche Verteilung dieser drei Entwicklungstrends zeigt die Karte (vgl. Abb. 5).

Schäden an den Hauptbaumarten

Fichte und Kiefer sind die dominierenden Baumarten in den sächsischen Wäldern. Sie prägen somit auch das Gesamtergebnis der Waldschadenserhebung entscheidend. Wesentliche Trends, die speziell für diese Baumarten gelten, finden sich andererseits im Gesamtergebnis wieder. Im Gegensatz zur Fichte und Kiefer sind Buche und Eiche nur zu einem geringen Teil in der Stichprobe zur Waldschadenserhebung enthalten, sodass das Stichprobenverfahren insbesondere für die Buche keine gesicherten Aussagen zulässt.

Die Bewertung der einzelnen Baumarten zeigt die Komplexität des Wir-

kungsgefüges verschiedener Einflussfaktoren auf den Kronenzustand. Die Wirkung von Luftschadstoffen auf die Kronenverlichtung werden stets durch Witterung, Insektenfraß, Fruktifikation u. a. modifiziert. Die Tab. 6–9 enthalten die zusammengefassten Ergebnisse für die Baumarten.

Fichte

Kronenzustand

Die Baumart Fichte liegt 1999 mit **27 % deutlichen Schäden um 5 Prozentpunkte über dem Befund für alle Baumarten**. Die schwach geschädigten Fichten haben einen Flächenanteil von 33 %. 40 % aller Fichten wurden als gesund eingestuft.

Ausgehend von einem hohen Schadniveau 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 %. Kontinuierlich zugenommen hat währenddessen der Flächenanteil schwach geschädigter zulasten der gesunden Fichten.

1999 setzten sich die Verschiebungen fort. Gegenüber 1998 erfolgte eine Zunahme deutlicher Schäden um 3 Prozentpunkte und gleichzeitig eine Abnahme schwacher Schäden in gleicher Größenordnung. Der Flächenanteil ohne Schadmerkmale ist mit 40 % konstant geblieben. Auch der mittlere Nadelverlust ist 1999 leicht angestiegen. Die seit 1997 einsetzende Annäherung des mittleren Nadelverlustprozentes in den beiden Altersbereichen hat sich 1999 nicht fortgesetzt (vgl. Abb. 6). Insgesamt weist der Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes im gesamten Aufnahmezeitraum und insbesondere in den letzten 3 Jahren eine geringe Dynamik auf.

Einen Eindruck der räumlichen Verteilung der Schäden vermittelt die Punktdarstellung des mittleren Nadelverlustes der Fichte (vgl. Abb. 7). In Südwestsachsen dominieren Bestände ohne bzw. mit geringer Schädigung (mittlerer Nadelverlust 0–10 % bzw. 11–25 %). Bestände, in denen die Fichten einen mittleren Nadelverlust von über 25 % aufweisen, konzentrieren sich vor allem im Erzgebirge, zwischen Fichtelberg und Kahleberg. Während sich in den vergangenen Jahren im **grenznahen Bereich des Erzgebirges** (Immissionsschadzonen I und Iextrem) Bestände mit starker Schädigung (Nadelverlust > 60 %) häuften, liegen die Schäden in dem Gebiet heute – wie auch schon 1998 – **überwiegend im Bereich mittelstarker Schädigung** (26–60 %).

Abb. 6a, b (von oben nach unten): Veränderung der Schadstufenverteilung und Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes (NV) der Fichte von 1991 bis 1999

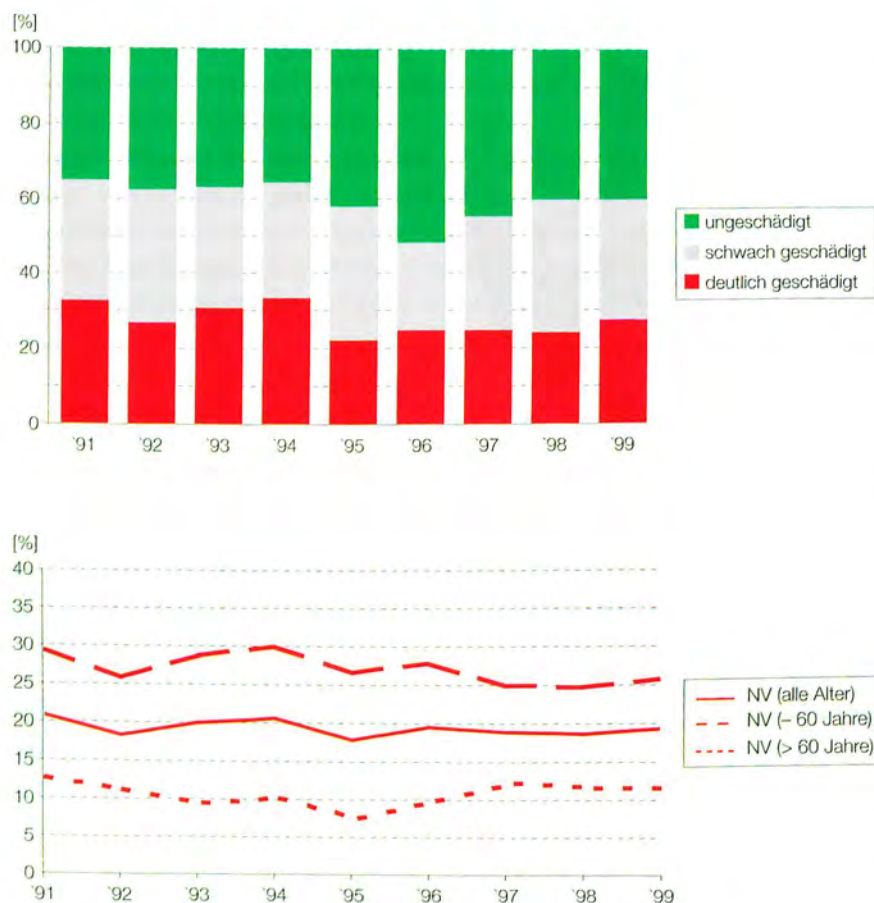
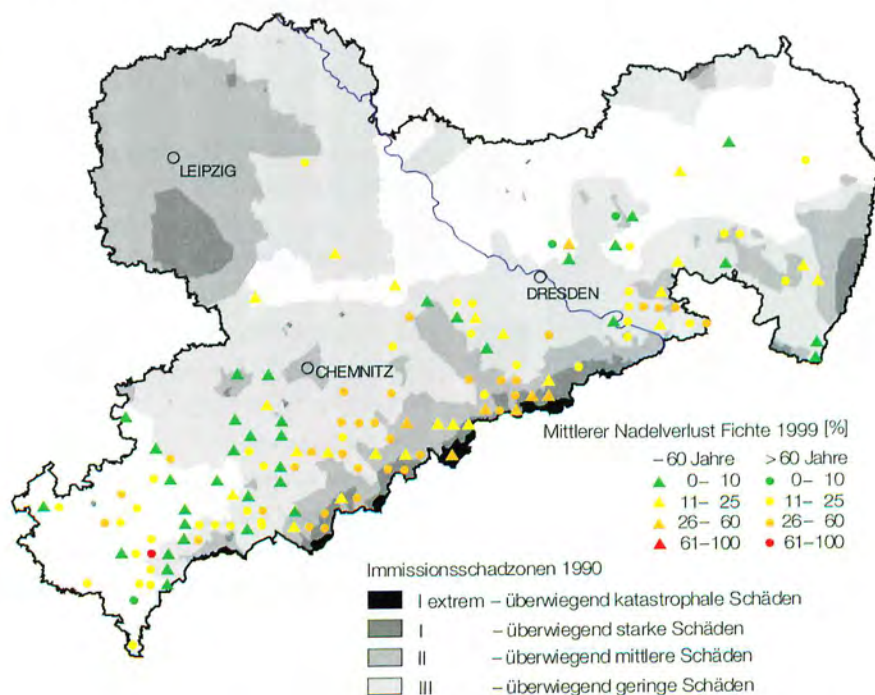


Abb. 7: Durchschnittlicher Nadelverlust der Fichte 1999 an den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Rasters



Die **Nadelvergilbung** – ein weiteres Schadsymptom neben dem Nadelverlust – wurde 1999 an 8 % aller Fichten festgestellt. Bei 2 % der Fichten, an denen Nadelvergilbungen in mittlerer

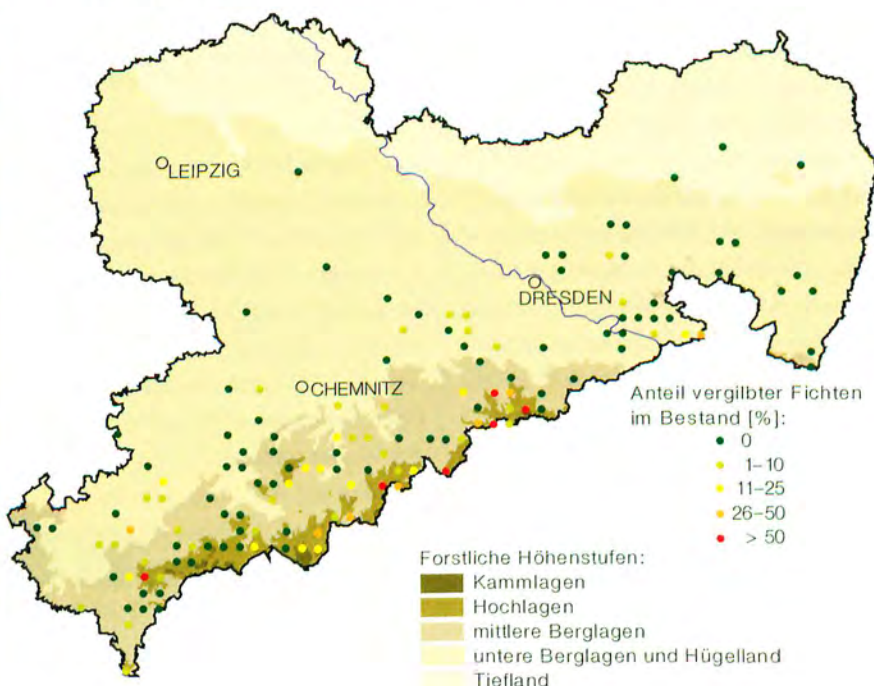
Abb. 8: Vergilbte Altichte



Ausprägung registriert wurden, führte diese zur Eingruppierung in eine höhere Schadstufe. Bestände, in denen mehr als 1/4 der Fichten vergilbte Nadeln aufweist, sind vor allem in den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge

sowie in der Sächsischen Schweiz zu finden (vgl. Abb. 8 und 9). Eine untergeordnete Rolle spielte 1999 die **Fruktifikation**. Nur 1 % der älteren, über 60-jährigen Fichten hatten geringen Zapfenbehang (vgl. Tab. 9).

Abb. 9: Nadelvergilbungen der Fichte 1999 an den Stichprobenpunkten des 4 x 4-km-Rasters

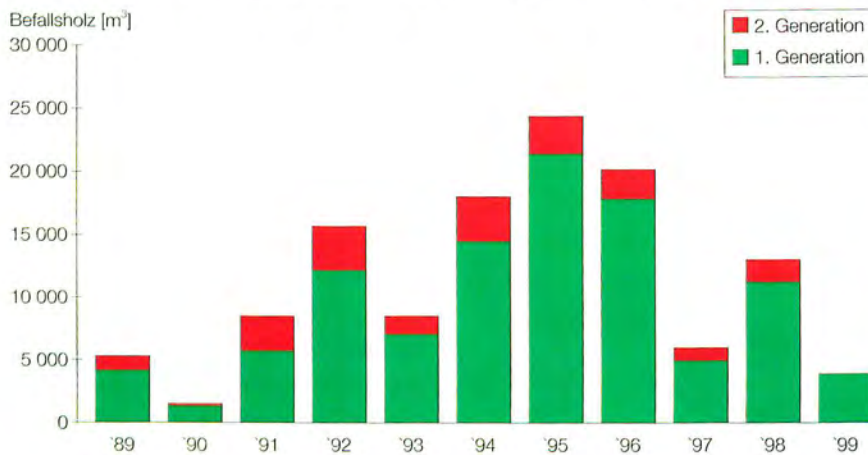


Biotische Schäden

Auch in diesem Jahr war der **Buchdrucker** (*Ips typographus*) der biotische Schadfaktor, der zu nennenswertem Befall führte. Die registrierte Menge befallener Bäume ging jedoch zurück. Per 31.08.99 belief sich die erfasste Befallsholzmenge auf 55 % des vergleichbaren Vorjahreswertes und erreichte damit das Niveau von 1997 (vgl. Abb. 10). Beobachtungen des Schwarmfluges deuteten ab Anfang Juli auf eine geringe Aktivität der neuen Käfergeneration hin, sodass der Befall auch in den nächsten Monaten niedrig bleiben wird. Dieser rückläufige Trend spiegelt sich in nahezu allen Forstämtern wider.

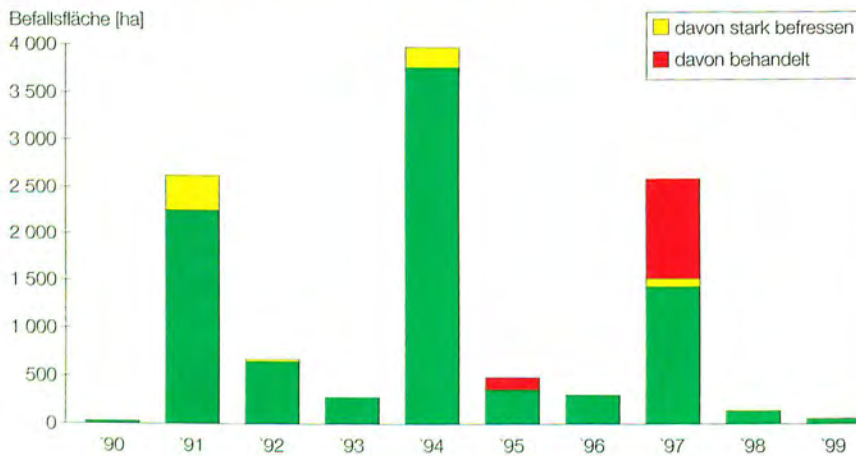
Die Hauptursache für diesen Entwicklungstrend waren offensichtlich die Witterungsbedingungen im Frühjahr. Speziell die ausreichende Wasserversorgung der Bestände führte zu einer Stabilisierung der Fichten. Trotz überdurchschnittlicher Temperaturen fanden die Käfer,

Abb. 10: Durch Buchdrucker befallene Holzmenge von 1989 bis 1999



(Angabe für 1999 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 1999/00 sichtbar)

Abb. 11: Durch Fichten-Gespinstblattwespe befallene Flächen, 1990 bis 1999



die in hohen Dichten überwinterten, nur wenige für eine erfolgreiche Besiedlung disponierte Fichten vor.

Auch die konsequente Anwendung der integrierten Bekämpfungsstrategie, vor allem die rechtzeitige Sanierung des Stehendbefalls in den Wäldern aller Eigentumsarten, trug zu diesem Befallsrückgang bei.

Besonders in Südostsachsen verursachte der **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus*) in Fichtenjungbeständen Stehendbefall. Auch in älteren Beständen führte der Befall in den Baumkronen, z. T. in Verbindung mit anderen Borken-

käferarten, zum Absterben einzelner Fichten.

Wie bereits 1998 schlüpfen auch in diesem Frühjahr, bedingt durch den natürlichen Entwicklungszyklus, nur wenige **Fichten-Gespinstblattwespen** (*Cephalcia abietis*). Demzufolge traten auch in mittelalten und alten Fichtenbeständen in den Befallsgebieten des Vogtlandes und des Westerzgebirges kaum Fraßschäden auf (vgl. Abb. 11). Im kommenden Jahr muss jedoch besonders in den Schadgebieten von 1997 wieder mit zunehmenden Schäden gerechnet werden.

Kiefer

Kronenzustand

Die Kiefer besitzt im Vergleich zur Fichte ein wesentlich niedrigeres Schadenniveau. 1999 liegt der Anteil deutlicher Schäden bei 10 %. Als leicht geschädigt gelten 39 %, als gesund 51 % der Kiefernfläche (vgl. Abb. 12).

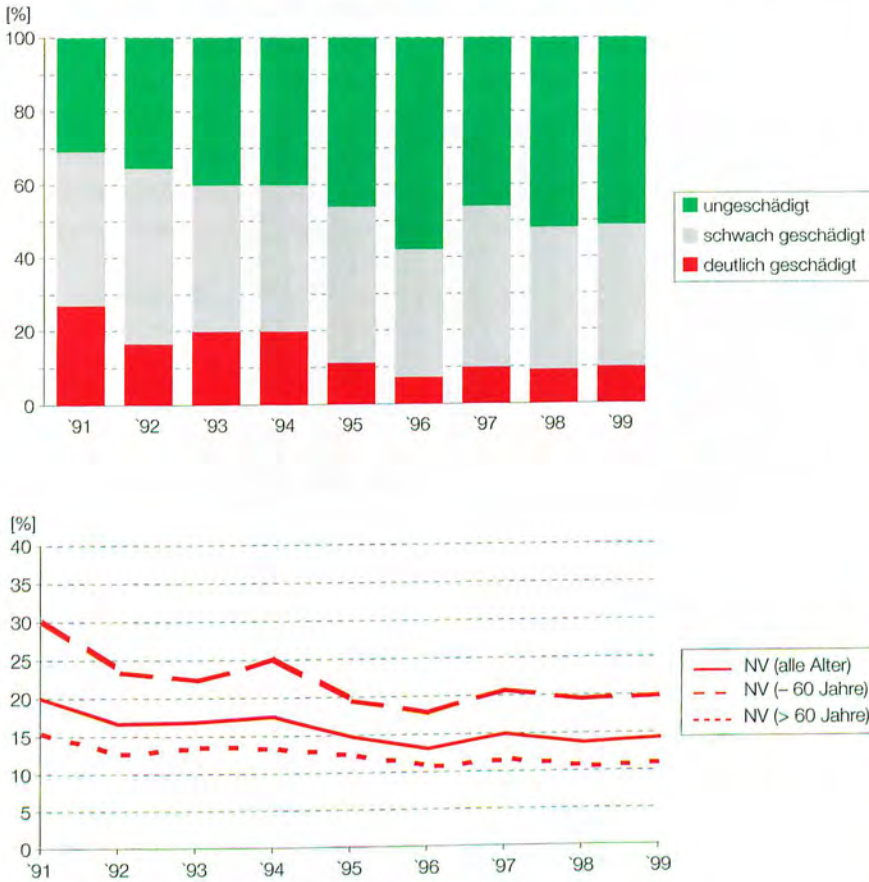
Von 1991 bis 1996 hat sich der Kronenzustand der Kiefer **kontinuierlich verbessert**. Der Rückgang der deutlichen Schäden von 27 % 1991 auf 7 % 1996 steht in erster Linie in Verbindung mit einer Zunahme ungeschädigter Kiefern. **Seitdem** befinden sich die Schäden **auf nahezu gleich niedrigem Niveau**.

Mit knapp 15 % 1999 bewegt sich der mittlere Nadelverlust im Schwankungsbereich der letzten 4 Jahre. Dabei wurden keine altersabhängig unterschiedlichen Trends festgestellt. Insbesondere 1996 und 1997 sowie auch in diesem Jahr konnte die Kiefer vom reichlichen Wasserangebot zu Beginn der Vegetationsperiode profitieren. Verstärkte Kronenverlichtung infolge der Ende Juli/Anfang August landesweit vorherrschenden Trockenheit konnte bei der diesjährigen Waldschadenserhebung nicht festgestellt werden.

Nadelvergilbung spielt bei der Kiefer zumeist eine untergeordnete Rolle. Sie steht oft in Zusammenhang mit ausgesprochenen Trockenperioden. Obwohl sich die in diesem Jahr Ende Juli landesweit einsetzende Trockenheit vereinzelt bereits im Sommer durch Vergilbung äußerte, blieb der Anteil vergilbter Kiefern insgesamt bei 1 % (vgl. Tab. 7).

Nahezu alle älteren Kiefern **fruktifizierten** (92 %). An 62 % wurde geringer, an 27 % mittlerer und an 3 % starker Zapfenbehang registriert (vgl. Tab. 9).

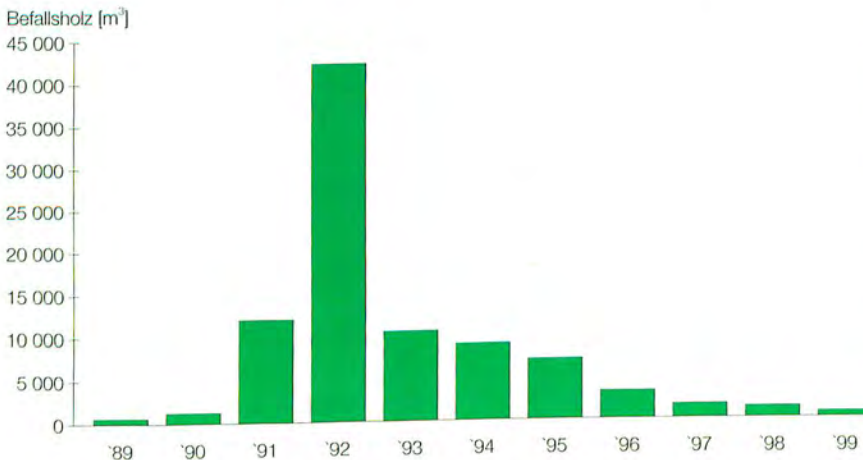
Abb. 12a, b (von oben nach unten): Veränderung der Schadstufenverteilung und Verlauf des mittleren Nadel-Verlustprozentes (NV) der Kiefer von 1991 bis 1999



Tab. 5: Befallsfläche des Kiefernspinners und Anteile behandelter Fläche

Fläche [ha]	1994	1995	1996	1997	1998	1999
befallen	750	1 550	350	550	106	129
davon behandelt	700	1 400	62	506	80	129

Abb. 13: Durch den Blauen Kiefernprachtkäfer befallene Holzmenge von 1989 bis 1999



(Angabe für 1999 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 1999/00 sichtbar)

Biotische Schäden

Seit 1994 kommt es in nordsächsischen Kiefernbeständen zu lokal begrenzten Massenvermehrungen des **Kiefernspinners** (*Dendrolimus pini*). Die lange Dauer dieser Gradation, die jetzt bereits 6 Jahre anhält, ist typisch für diese Art. Nach einer Fraßperiode im Herbst setzen die überwinterten Raupen den Fraß bereits im zeitigen Frühjahr fort. Bei Nahrungsmangel befreien sie auch die neuen Knospen. Dieses artspezifische Fraßverhalten kann zu letalen Schäden führen. Aus diesem Grunde mussten besonders gefährdete Bestände mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. In Tab. 5 sind die in den letzten Jahren befallenen und die behandelten Flächen zusammengestellt.

Der tendenzielle Rückgang der Befallsfläche in den letzten Jahren zeigt, dass sich die Populationsentwicklung dieser Schmetterlingsart in der Retrogradation befindet.

Die Populationsdichten des **Kiefernspanners** (*Bupalus piniarius*), einer ebenfalls an Kiefernadeln fressenden Schmetterlingsart, erreichten im Winter 1997/98 im Überwinterungsstadium (Puppe) gebietsweise sehr hohe Werte. Vorwiegend witterungsbedingt gingen die Dichten in der Folgezeit zurück. Damit blieben auch Fraßschäden aus. Im Winter 1998/99 lagen die maximalen Puppendichten nur noch bei einem Zehntel der Vorjahreswerte. Deutliche Fraßschäden sind deshalb auch im Herbst 1999 nicht zu erwarten. Das gilt ebenfalls für die Gebiete, in denen kleinflächig noch eine erhöhte Dichte registriert wurde.

Ein Befall durch die **Rotgelbe Kiefern-Buschhornblattwespe** (*Neodiprion sertifer*), die in den letzten Jahren Fraßschäden in Murray-Kiefernbeständen des Erzgebirges verursachte, führte in diesem Jahr zu kleinflächigen Schäden in Kieferndickungen

und -jungbeständen in Nordsachsen. Die Holzmenge, die von den Larven des **Blauen Kiefernprachtkäfers** (*Phaenops cyanea*) besiedelt wurde, nahm in den letzten Jahren kontinuierlich ab und stagniert auf niedrigem Niveau (vgl. Abb. 13).

Diese Entwicklung steht in engem Zusammenhang mit der Verbesserung des Kronenzustandes der Kiefern. Die günstigen Witterungsbedingungen in den letzten Jahren, vor allem wahrscheinlich das ausreichende Wasserangebot jeweils zu Beginn der Vegetationsperioden, führten zur Vitalitätserhöhung und damit zu einer Reduktion der Befallsdisposition der Bäume.

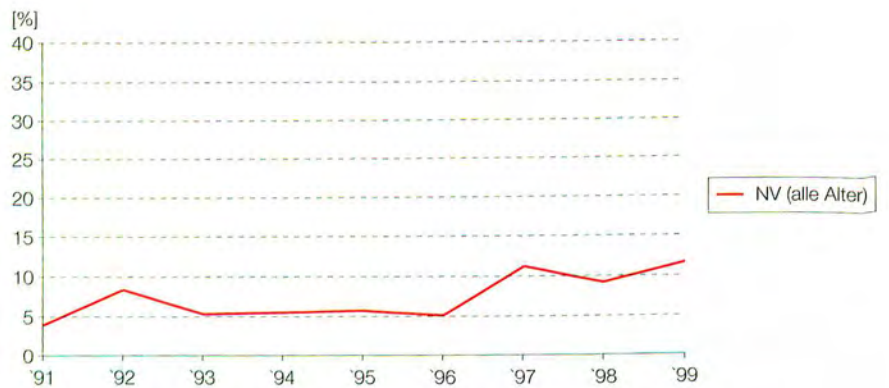
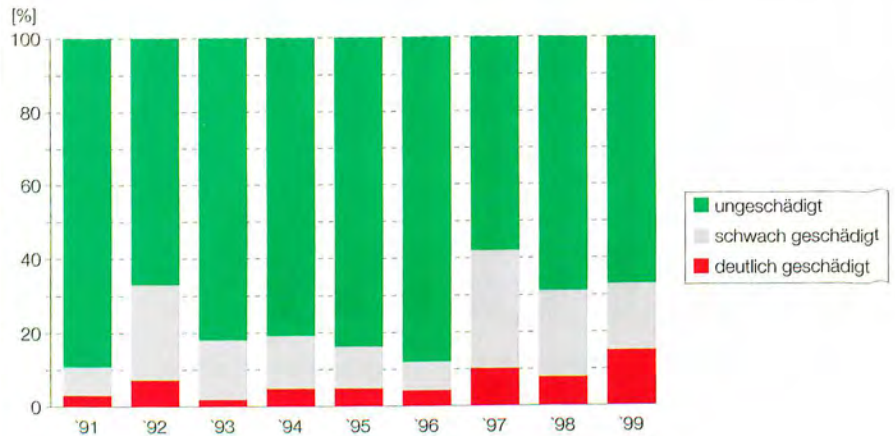
Sonstige Nadelbäume

Kronenzustand

Zur Baumartengruppe der sonstigen Nadelbäume zählt z. B. die Europäische Lärche, die zu mehr als der Hälfte in dieser Baumartengruppe vertreten ist (vgl. Abb. 14). Die sonstigen Nadelbäume 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 vermuteter „Rauchhärte“ der ausschlaggebende Grund für das niedrige Schadniveau dieser Baumartengruppe ist.

Dennoch lässt sowohl die Zeitreihe der Schadstufenverteilung als auch der Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes ab 1997 eine Schadzunahme erkennen. 1997 erhöhte sich der Anteil deutlicher Schäden von 4 auf 10 %, der Anteil schwacher Schäden von 8 auf 32 % (vgl. Abb. 14). Seitdem schwankt insbesondere der Anteil deutlicher

Abb. 14a–c (von oben nach unten): Veränderung der Schadstufenverteilung, Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes (NV) der sonstigen Nadelbäume von 1991 bis 1999 und Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes (NV) der Europäischen Lärche von 1991 bis 1999



Schäden in dieser Größenordnung. 1999 liegt er bei 15 %. Der mittlere Nadelverlust erreicht 1999 seinen bislang höchsten Wert von 11,5 %.

Diese Tendenz der Schadzunahme wird wesentlich durch die Europäische Lärche bestimmt.

Biotische Schäden

Wie in den Vorjahren verursachte auch 1999 die **Lärchenminiermotte** (*Coleophora laricella*) wieder die typischen Schäden in Lärchenbeständen im gesamten Freistaat. Kurz nach dem Austrieb der Lärchen höhlen die Raupen die Nadeln besonders von Randbäumen aus.

Abb. 15a, b: Schäden an Lärche durch Laus und Nadelholzspinnmilbe



Tannennadelrost (*Pucciniastrum epilobii*) auf. Während dieser Pilzbefall keine ernsthafte Schädigung der Weißtannen zur Folge hat, kann der ebenfalls lokal intensiv aufgetretene Befall der Tannenlaubläuse mit der **Tannentrieblaus** (*Mindarus abietinum*) bei chronischem Verlauf zu erheblichen Vitalitätseinbußen führen.



Die so geschädigten Bäume „verloren“ dadurch ihre grüne Farbe. Im Laufe der Sommermonate regenerierten die Lärchen diesen Nadelverlust wieder. Der Umfang der befallenen Fläche ist vergleichbar mit dem Vorjahr, wobei jedoch die Intensität zunahm.

Ab Juli wurden in Lärchenbeständen im östlichen Landesteil Nadelschädigungen beobachtet. Der dabei vorzeitig einsetzende Nadelverlust wurde offensichtlich durch eine **Laus** (*Adelges spec.*) hervorgerufen. Bei gleichzeitigem Befall mit der **Nadelholzspinnmilbe** (*Oligonychus unungulis*), einem anderen Nadelschädling, trat die Schädigung besonders intensiv hervor (Abb. 15).

Die Tannenlaubläuse in weiten Teilen Sachsens wiesen im Spätfrühling/ Fröhmsommer Infektionen mit dem

Im Fröhmsommer trat in verschiedenen Waldgebieten in Schwarzkiefernbeständen ein Triebsterben auf. Dabei handelte es sich um einen Pilzbefall, die so genannte **Scleroderris-Krankheit** (*Asco-calyx abietina*).

Eiche

Kronenzustand

Seit Beginn der Beobachtungen sind Stiel- und Traubeneiche die Baumarten mit dem kritischsten Kronenzustand. In den Jahren 1998 und 1999 ist **gegenüber dem bereits extrem hohen Schadniveau der vorangegangenen Jahre nochmals eine Verschlechterung eingetreten**. 1999 weisen die Eichen auf mehr als zwei Dritteln ihrer Fläche eine deutliche Kronenverlichtung auf. Nur noch auf 9 % der Fläche sind die Eichen gesund (vgl. Abb. 16). Dies bedeutet einen Anstieg der deutlichen Schäden von 1998 zu 1999 um 14 Prozentpunkte. Ebenso stieg der mittlere Blattverlust mit 36,3 % auf einen neuen Höchststand. 1999 fruktifizierten die Eichen weniger stark als im Vorjahr (vgl. Tab. 9). Inwieweit ein Zusammenhang des aktuell schlechten Belaubungszustandes mit der vermehrten Fruktifikation im letzten Jahr besteht, kann mit den Untersuchungen der Waldschadenserhebung nicht geklärt werden.

Abb. 16a: Veränderung der Schadstufenverteilung der Eiche von 1991 bis 1999

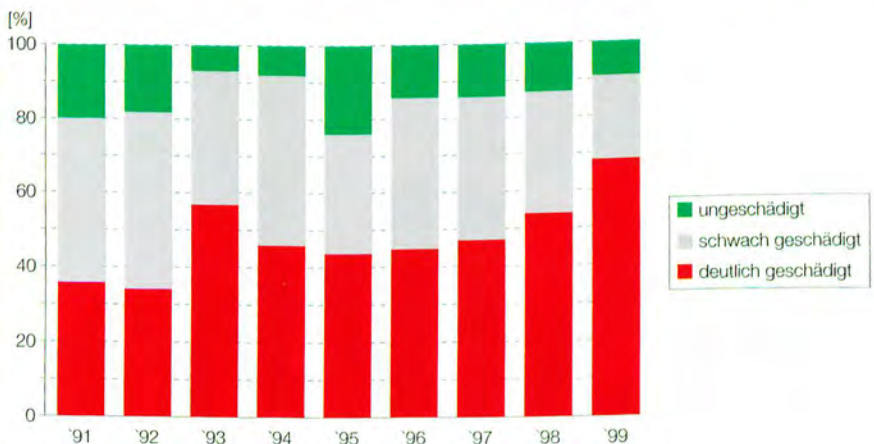
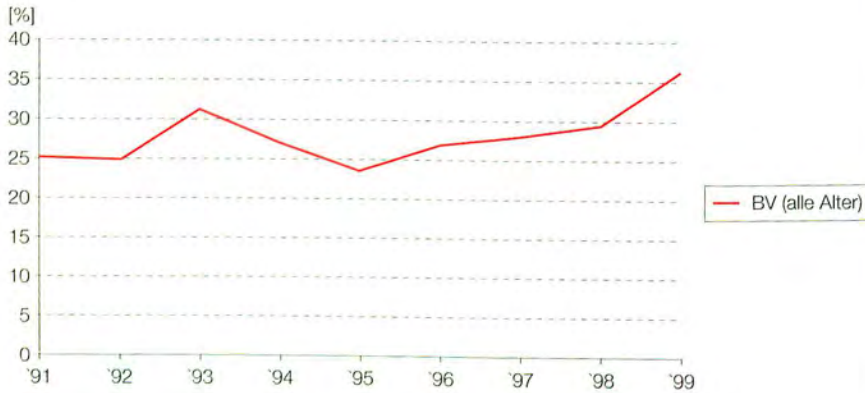


Abb. 16b: Verlauf des mittleren Blatt-Verlustprozentes (BV) der Eiche von 1991 bis 1999

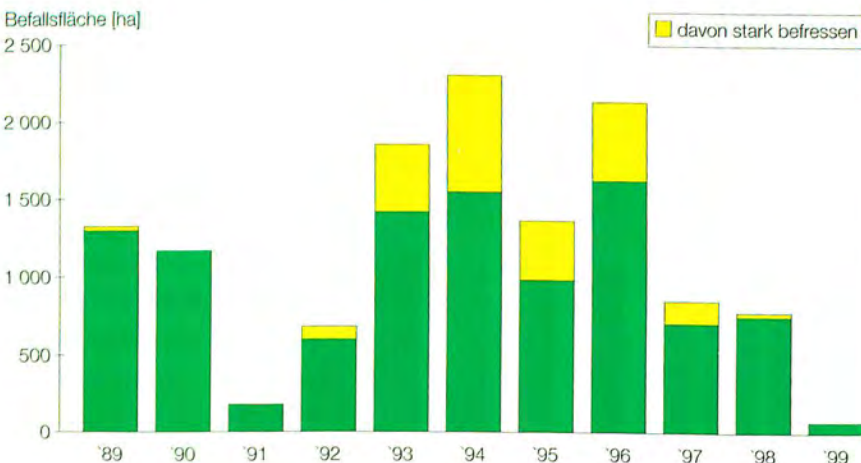
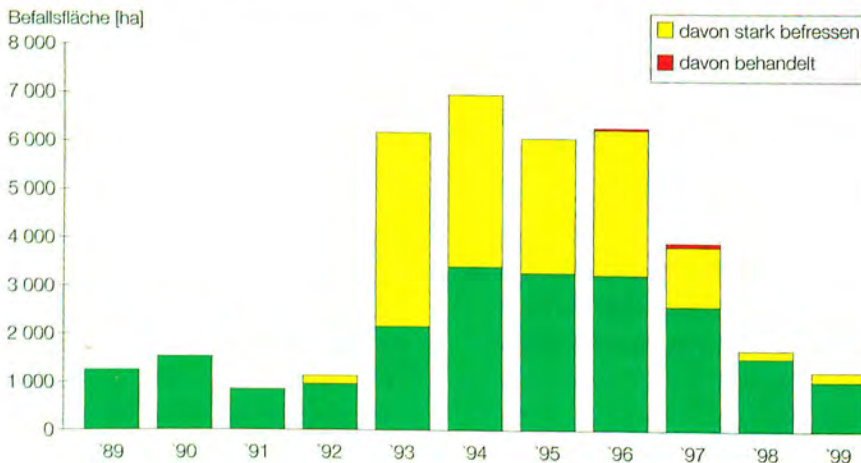


Biotische Schäden

Der bereits 1997 zu beobachtende Rückgang der Fraßschäden durch **Eichenwickler** (*Tortrix viridana*) und **Frostspanner** (*Operophtera spec.*) setzte sich auch in diesem Jahr fort

(vgl. Abb. 17). Dabei fiel die Reduktion der Schäden durch Eichenwickler, als der dominierenden Phytophagenart, weniger deutlich aus als bei den Frostspannerarten. Die durch sie verursachten fraßbedingten Blattverluste traten nur auf etwa 10 % der noch im

Abb. 17a, b: Durch Eichenwickler (oben) und Frostspanner (unten) befallene Flächen



Vorjahr betroffenen Fläche auf. Die Abnahme der Fraßschäden durch Eichenwickler vollzog sich fast ausschließlich in den Eichenbeständen in Westsachsen. Eine Ausnahme bildete dabei das SÄFoA Wermsdorf, in dem es lokal begrenzt zu einer deutlichen Zunahme der Schäden kam. Ursachen für den tendenziellen Rückgang sind, neben den geringen Populationsdichten aus dem Vorjahr, eine ungenügende Koinzidenz zwischen Blattaustrieb und Larvalentwicklung infolge der Frühjahrswitterung sowie auch der Einfluss anderer populationsreduzierender Faktoren wie z. B. das Auftreten von Parasiten und Krankheiten.

Die geringen fraßbedingten Blattverluste im Frühjahr wurden auch an den Eichen der WSE-Probepunkte registriert (vgl. Abb. 18). Trotz einer intensiven Johannistriebbildung ging die Belaubung in der Folgezeit weiter zurück und erreichte im August mit 59,5 % den seit 1991 niedrigsten Wert. Diese dramatische Verschlechterung des Belaubungszustandes wurde wesentlich durch das Auftreten verschiedener biotischer Schadfaktoren bedingt. An 56 % aller Eichen (32 % gering, 22 % mittelstark und 2 % stark) wurden Symptome, wie z. B. Blattnekrosen, nicht ausgetriebene Knospen und Blattanomalien, beobachtet (vgl. Tab. 8). Eine wesentliche Rolle spielte dabei der Befall durch **Eichenmehltau** (*Microsphaera alphitoides*). Die diesjährige Sommerwitterung förderte durch niedrige Luftfeuchtigkeit und intensive Besonnung die Sporenproduktion dieses auch in den Vorjahren aufgetretenen Pilzes. Durch den starken Infektionsdruck kam es häufig zum Absterben befallener Blätter bis zur Verkahlung besonders der Johannistriebe (vgl. Abb. 19).

Zusammenhänge zwischen dem aktuellen Kronenzustand der Eichen an den WSE-Punkten und den fraßbedingten Laubverlusten in den Vorjahren deuten sich nicht an.

Abb. 18: Vergleich der durchschnittlichen Belaubung der Eichen an den WSE-Probestellen im Juni (nach Fraß) und im August (nach Johannistriebbildung) in den Jahren 1993 bis 1999

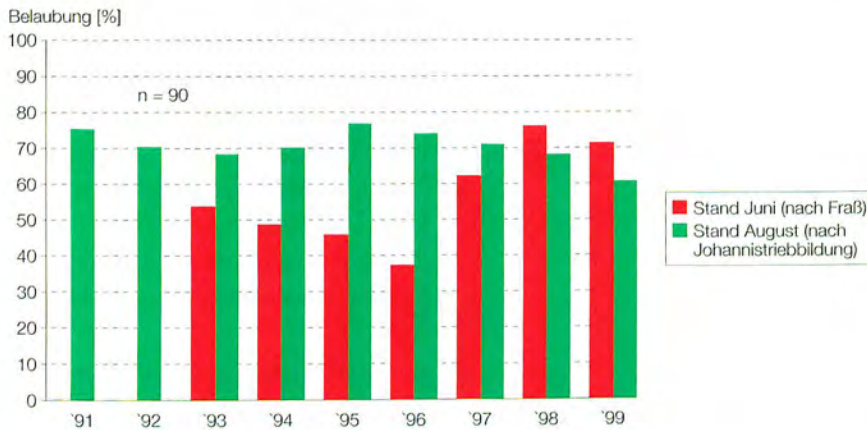


Abb. 19a, b: Starker Befall durch Eichenmehltau

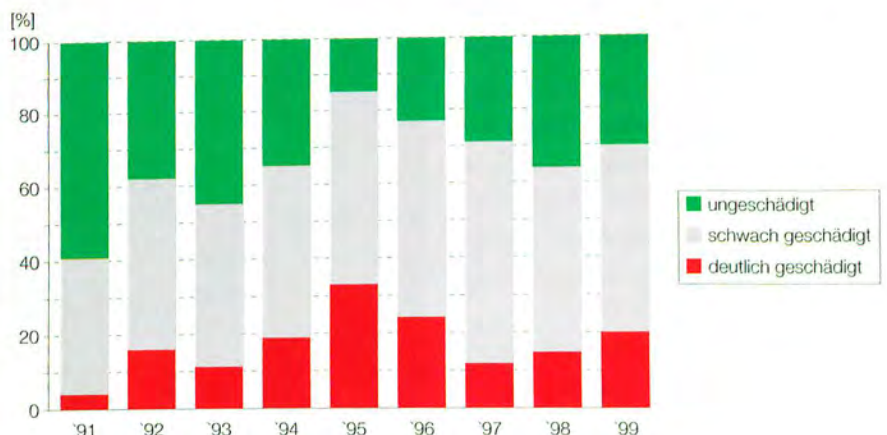


Buche

Kronenzustand

Die Zeitreihe für die Buche zeigt von 1991 bis 1995 tendenziell eine Schadzunahme. In diesem Zeitraum erhöhten sich die deutlichen Schäden von 4 auf 33 %. Aufgrund der günstigen Wasserhaushaltssituation zu Beginn der Vegetationsperiode 1996 und 1997 stabilisierte sich der Zustand der Buche vorübergehend. Der erneute Anstieg der deutlichen Schäden in der Buche 1998 setzte sich 1999 fort. Von 1998 zu 1999 erhöhte er sich um weitere 5 Prozentpunkte auf nun 20 %. Der Anteil schwacher Schäden blieb mit 50 % nahezu unverändert.

Abb. 20a: Veränderung der Schadstufenverteilung der Buche von 1991 bis 1999



Dagegen nahm der Anteil ohne Schäden um 6 Prozentpunkte auf 30 % ab (vgl. Abb. 20).

Im mittleren Blattverlustprozent kommt diese Verschiebung in der Schadstufenverteilung nur abgeschwächt zum Ausdruck (1998: 17,5 %, 1999: 18,7 %). Aufgrund des geringen Stichprobenumfanges sind die Ergebnisse der Zustandsbewertung der Buche jedoch nicht abgesichert. Weitere, zusammengefasste Ausführungen zur Buche vgl. S.23 ff.

Nachdem 1998 fast jede zweite ältere Buche fruktifizierte, sind es 1999 37 %, die überwiegend in geringer Intensität Früchte gebildet haben. Die Fruktifikation des Vorjahres hat vermutlich auch noch den diesjährigen Belaubungszustand der Buchen mit beeinflusst, insbesondere bei Buchen, die in diesem Jahr wiederholt fruktifizierten. Wie nachhaltig die Fruktifikation und der damit verbundene Verbrauch von Reservestoffen den Zustand der Buchen beeinträchtigt, hängt maßgeblich vom Auftreten weiterer belastender Faktoren ab.

Vergilbungen der Blätter wurden an 7 % aller Buchen festgestellt. Bei 1 % der Bäume führte die Blattverfärbung zu einer höheren Klassifizierung in der Kombinationsschadstufe (vgl. Tab. 1 und 7).

Abb. 20b: Verlauf des mittleren Blatt-Verlustprozentes (BV) der Buche von 1991 bis 1999



Im Zeitraum von 1991 bis 1995 schwankte der Flächenanteil der deutlichen Schäden zwischen 11 und 17 %. Seither steigt jedoch der Anteil in dieser Schadkategorie kontinuierlich an. 1998 erhöhte er sich auf über 20 %; 1999 erreichte er 25 %. Parallel dazu ist ein Rückgang des Anteils der ungeschädigten Fläche zu verzeichnen. Diese stete Schadzunahme wird durch den Verlauf des mittleren Blattverlustprozentes unterstrichen.

In der Baumartengruppe der sonstigen Laubbäume ist die Birke zu mehr als der Hälfte vertreten. Eine gesonderte Auswertung verdeutlicht, dass der Schadverlauf in dieser Gruppe wesentlich durch die Birke bestimmt ist (vgl. Abb. 22). In den Jahren 1996 und 1997 hatte die Kronenverlichtung bei der Birke markant zugenommen und ist seitdem gleich hoch geblieben.

Biotische Schäden

In Buchenbeständen aller Alter vollzog sich in diesem Jahr eine Massenvermehrung der **Buchenblattgallmücke** (*Mikiola fagi*). Das typische Befalls-symptom sind eiförmige, zugespitzte Gallen auf den Blattoberseiten (vgl. Abb. 21). Damit in einem ursächli-

Abb. 21: Gallen der Buchenblattgallmücke



chen Zusammenhang steht auch das Auftreten eines **Blattbräune-Pilzes** (*Apiognomonium errabunda*).

Sonstige Laubbäume

Kronenzustand

Bei den sonstigen Laubbäumen (Birke, Ahorn, Esche, ...) gab es in der Vergangenheit – auch durch gegenläufige Trends der einzelnen Baumarten – nur geringe, schwer interpretierbare Veränderungen im Belaubungszustand.

Abb. 22a, b: Veränderung der Schadstufenverteilung, Verlauf des mittleren Blatt-Verlustprozentes (BV) der sonstigen Laubbäume von 1991 bis 1999

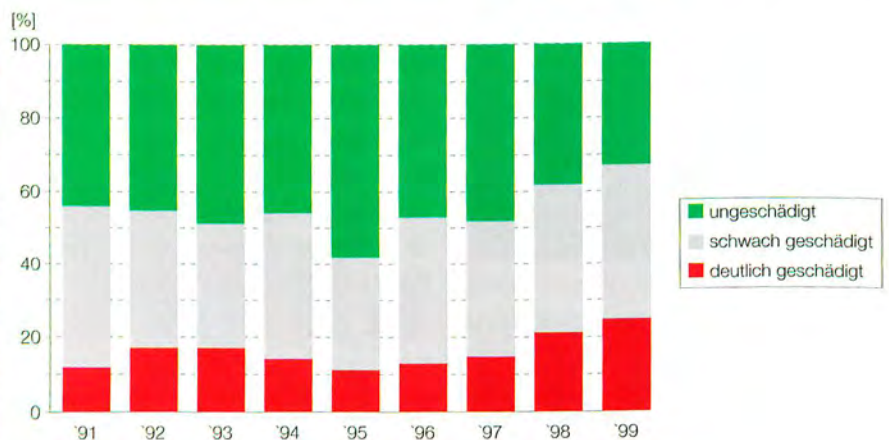


Abb. 22c: Verlauf des mittleren Blatt-Verlustprozent (BV) der Birke von 1991 bis 1999



In der Baumartengruppe der sonstigen Laubbäume wurden insgesamt 7 % aller Bäume mit zumeist geringer Vergilbung der Blätter bonitiert.

Biotische Schäden

Auch in diesem Jahr wiesen verschiedene Laubbaumarten, so z. B. Birken, Buchen, Pappeln u. a., Schäden am Kronenzustand auf. Diese zeigten sich durch ausbleibenden Blattaustrieb bzw. das Absterben einzelner Äste, Kronenteile oder der gesamten Krone (vgl. Abb. 23). Die Ursachen für diese z. T. sehr unspezifischen Symptome sind verschiedenartig und zum Teil

Abb. 23: Stark geschädigte Birke im Osterzgebirge



Abb. 24a, b: Schadenssymptome an Sandbirke: Rindenriss am Stamm, Blatinfektion durch *Marssonina*



noch nicht vollständig geklärt. Neben abiotischen Einflüssen (Frost, Trockenheit, Staunässe, Ozon) und biotischen Faktoren (Pilze, Insekten) spielen auch deren Kombinationen dabei eine Rolle. Es ist von einem regional- und baumartenspezifischen Ursachenkomplex auszugehen.

Die bereits in den Vorjahren aufgetretenen Birkenschäden in den oberen Lagen des Erzgebirges umfassen derzeit ca. 70 ha (reduzierte Fläche) und konzentrieren sich auf die Baumart Sandbirke (vgl. Abb. 23). Die Absterbeerscheinungen im Erzgebirge nehmen ab 750 m über NN drastisch zu. Schwerpunkt der flächigen Schädigung bildet das Revier Deutscheinsiedel im SÄFoA Olbernhau mit ca. 35 ha Schadfläche. Das Schadbild an der Sandbirke ist häufig durch Rindenrisse am Stamm und Infektionen mit einem **Blattpilz** (*Marssonina betulae*) gekennzeichnet (vgl. Abb. 24). Der Pilz führt zu einem vorzeitigen, bereits im Juli beginnenden Blattfall. Im Befallsgebiet weisen den Sandbirken benachbarte Moorbirken nur vereinzelt Rindenschäden und keinen Pilzbefall auf.

Im Tiefland verursachte ab August ein anderer **Blattpilz** (*Discula betulina*) Laubverfärbungen und -verlust an Birken.

In Beständen von Schwarzpappelhybriden, die seit 1997 mit dem Erreger des **Rindenbrandes** (*Cryptodiaporthe*, *Dothichiza populea*) infiziert sind, setzte sich auch 1999 der Absterbeprozess fort. Die Anfälligkeit der Hybriden gegenüber dem Rindenbranderreger ist klonabhängig unterschiedlich. Besonders in Pappelreihen in der offenen Landschaft trat diese Eigenschaft auffällig hervor (vgl. Abb. 25).

Austreibende Wasserreiser der Schwarzpappeln, aber auch Triebe von Balsampappeln und Aspen wurden in

Abb. 25: Mit dem Erreger des Rindenbrandes befallene Pappeln



diesem Jahr häufig mit Pilzarten der Gattung *Pollaccia* befallen und starben ab (Abb. 26).

In Laubholzverjüngungen, vorwiegend auf vergrasteten Standorten, setzte sich die Massenvermehrung von Mäusen

Abb. 26: Mit *Pollaccia* befallene Pappeln



(besonders **Erd- und Feldmaus** [*Microtus agrestis* *M. arvalis*] sowie **Scherm Maus** [*Arvicola terrestris*]) fort. Landesweit wurden Schäden auf etwa 1 350 ha registriert. Das entspricht erneut einem Anstieg um mehr als das Doppelte im Vergleich zum Vorjahr.

Abb. 27: Durch Mäusefraß geschädigte Buchenpflanze mit Neuaustrieb



Bei einer sehr starken Schädigung (Ringelung der Rinde) ist mit dem Absterben der befallenen Pflanzen zu rechnen. Geringere Schäden können regeneriert werden (vgl. Abb. 27).

Tabellarische Übersichten

Tab. 6: Schadstufenverteilung nach Baumarten/Baumartengruppen (Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	Fläche in ha	Schadstufe				
		0 ohne Schad- merkmale	1 schwach geschädigt	2 mittelstark geschädigt	3 und 4 stark geschädigt/ abgestorben	2-4 deutlich geschädigt
Fichte	205 970	40	33	24	3	27
bis 60 Jahre	94 538	66	22	10	2	12
über 60 Jahre	111 432	18	42	35	5	40
Kiefer	149 288	51	39	9	1	10
bis 60 Jahre	89 297	63	32	5	0	5
über 60 Jahre	59 991	32	51	16	1	17
sonstige Nadelbäume	22 342	67	18	8	4	15
Nadelbäume	377 600	46	35	17	2	19
Buche*1	11 447	30	50	20	0	20
Eiche	21 031	9	23	62	6	68
sonstige Laubbäume	59 922	33	42	22	3	25
Laubbäume	92 400	27	39	31	3	34
alle Baumarten	470 000*2	42	36	20	2	22
bis 60 Jahre	258 169	59	29	10	2	12
über 60 Jahre	211 831	21	44	32	3	35

*1 keine gesicherte Aussage, *2 Fläche ohne Nichtholzboden

In den Tab. 7 bis 9 ist zusammengefasst, mit welchen Anteilen die Merkmale Vergilbung, Insekten-/Pilzbefall und Blüte/Fruktifikation bei den jeweiligen Baumarten vertreten sind.

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

	Vergilbung		
	11–25 %	26–60%	> 60%
Fichte	6	2	0
Kiefer	1	0	0
sonstige Nadelbäume	10	7	1
Buche	6	1	0
Eiche	4	1	0
sonstige Laubbäume	6	1	0
alle Baumarten	5	1	0

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

	Insekten- und Pilzbefall		
	gering	mittel	stark
Fichte	2	0	0
Kiefer	0	0	0
sonstige Nadelbäume	6	3	2
Buche	4	3	0
Eiche	32	22	2
sonstige Laubbäume	4	2	0
alle Baumarten	3	2	0

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

	Blüte/Fruktifikation alle Alter/über 60 Jahre		
	gering	mittel	stark
Fichte	1/1	0/0	0/0
Kiefer	57/62	16/27	2/3
sonstige Nadelbäume	6/31	1/6	0/0
Buche	22/29	3/4	3/4
Eiche	14/21	2/2	0/0
sonstige Laubbäume	20/26	7/11	3/3
alle Baumarten	22/23	6/9	1/1

Regionale Ausprägung der Schäden

Wuchsgebiete

In Jahren, in denen eine Vollstichprobe (1991, 1992, 1994, 1997, 1998 und 1999) erhoben wurde, besteht die Möglichkeit, zusätzlich Aussagen zum Schadausmaß in größeren Wuchsgebieten Sachsens zu treffen. Bei Wuchsgebieten, die über das Territorium Sachsens hinausgehen, beziehen sich die Angaben ausschließlich auf den sächsischen Teil. Um auch kleine Wuchsge-

biete 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 1999 sind in Abb. 28 sowie Tab. 10 veranschaulicht. Die Abb. 29a–g zeigen die Entwicklungstrends der Schäden in den Wuchsgebieten, gestützt auf die Ergebnisse der Vollinventuren, wobei die Abb. 29a als

Vergleich zum gesamtsächsischen 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. 3).

Die regionale Auswertung der Waldschäden lässt **erhebliche Unterschiede sowohl zwischen, z. T. aber auch innerhalb der Wuchsgebiete** erkennen. Der Anteil deutlicher Schäden variiert von 12 % in den Wuchsgebietsgruppen Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland (14)/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland (15) sowie Westlausitzer

Platte und Elbtalzone (27)/Lausitzer Löss-Hügelland (28) und 39 % im Wuchsgebiet Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (25).

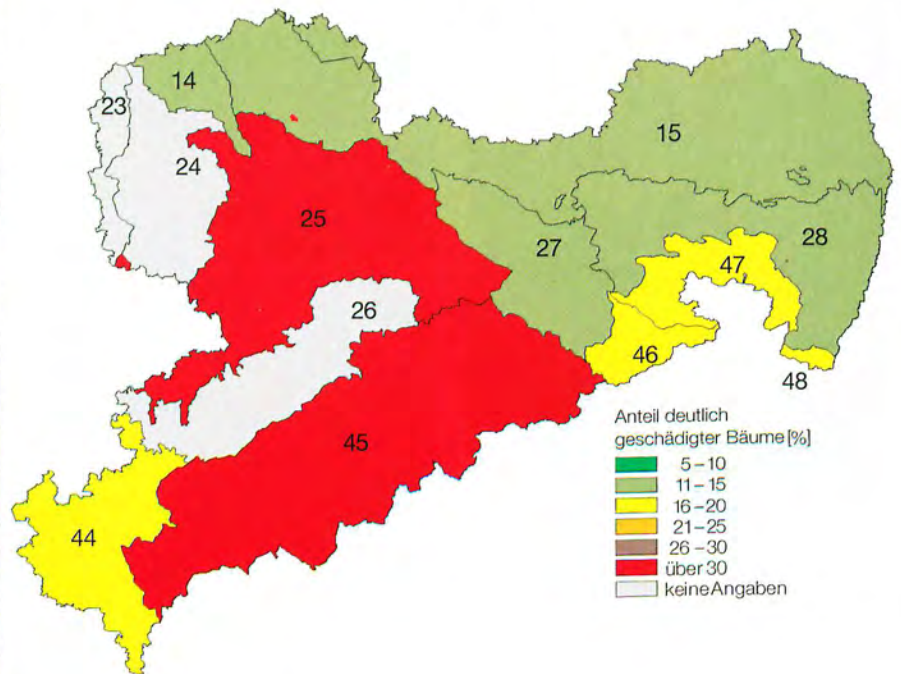
Das **Erzgebirge** (WG 45), wo sich ca. 1/3 der sächsischen Waldfläche konzentriert, ist nach wie vor durch ein hohes Schadniveau gekennzeichnet. Der Anteil deutlich geschädigter Bäume schwankt dort seit 1991 um die 30 % und erreicht 1999 33 %. Damit liegen hier die deutlichen Schäden um 11 Prozentpunkte höher als im Landesdurchschnitt.

Anhand der Boxplot-Darstellung (vgl. Abb. 28b) wird aber auch deutlich, dass innerhalb des Wuchsgebietes Erzgebirge noch eine **starke Differenzierung in der Schadausprägung** besteht. Es existieren Bestände, deren Schadniveau weit über bzw. weit unter dem hohen Durchschnittswert für das Wuchsgebiet liegt.

Der Verlauf des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentes (vgl. Abb. 29f) weist nur eine geringe Dynamik auf. Kurzzeitig eingetretene geringfügige Verbesserungen des Kronenzustandes, wie 1992 und 1998, haben sich nicht als allgemeiner Trend durchgesetzt.

Das Schadniveau im Erzgebirge wird durch die dort vorherrschende Fichte wesentlich bestimmt. Die Entwicklung der Schäden der Fichte im Wuchsgebiet Erzgebirge innerhalb der Immissions-schadzonen verdeutlicht Abb. 30. Die 1990 ausgewiesenen Immissionsschadzonen grenzen Gebiete mit „Klassischen Rauchschäden“ unterschiedlicher Intensität ab. Die aktuellen Schäden im Erzgebirge korrelieren nach wie vor mit diesen Immissionsschadzonen. 1991 deutete sich zunächst eine Nivellierung der Schäden zwischen den Immissionsschadzonen an. Akute Schädigungen vorrangig in Fichtenbeständen im Winter 1995/96 – verursacht durch hohe Schadstoffkonzentra-

Abb. 28a, b (von oben nach unten): Anteil deutlicher Schäden 1999 in den Wuchsgebieten, Boxplot zum mittleren Nadel-/Blattverlustprozent je Stichprobenpunkt in den Wuchsgebieten (Box umfasst 50 % der Werte, Balken = Median, o = Ausreißer)



WG-Nummer vgl. Abb. 29b–g

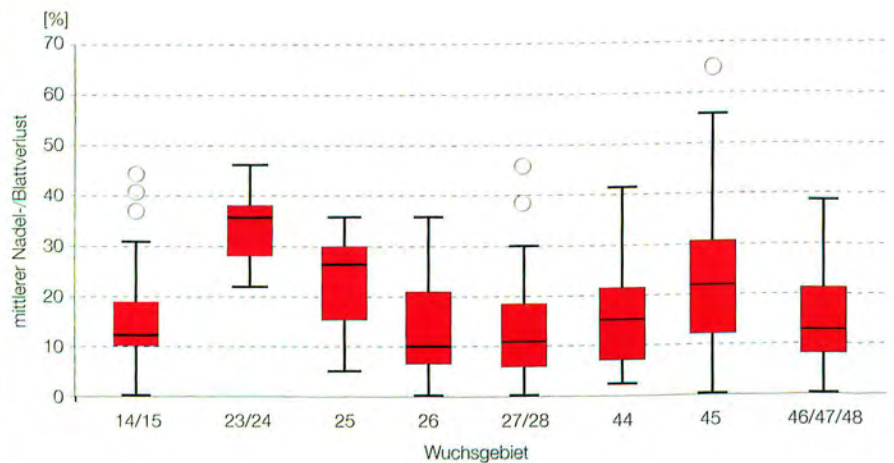
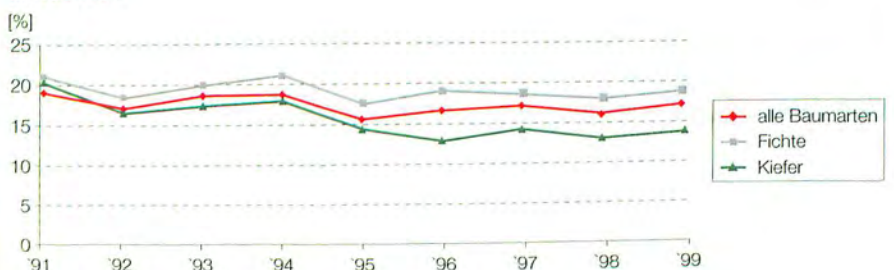


Abb. 29a–g: Veränderung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentes in Sachsen sowie in den Wuchsgebieten (WG)

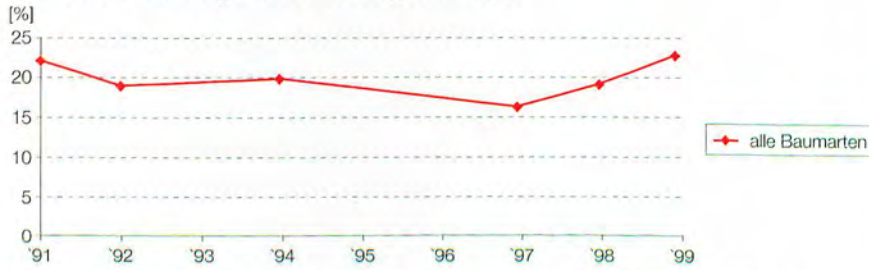
a: Sachsen



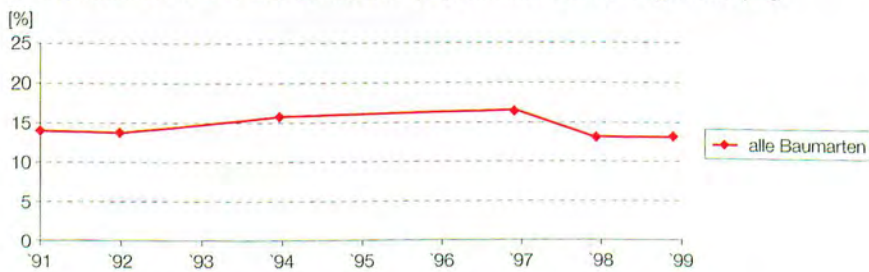
b: Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland (14)/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland (15)



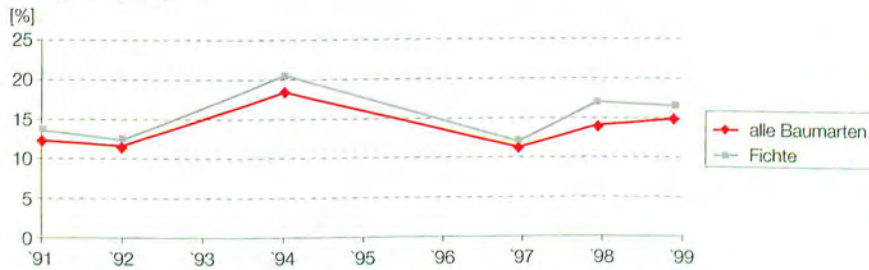
c: Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (25)



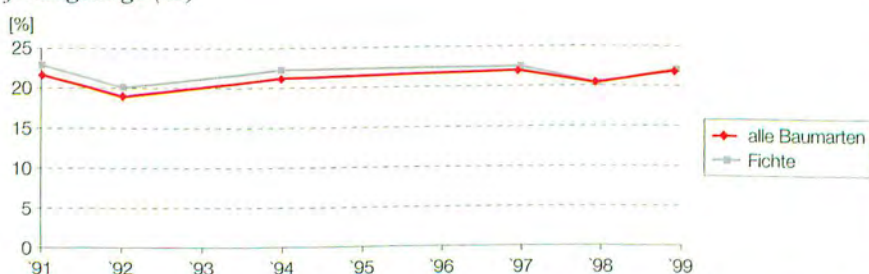
d: Westlausitzer Platte und Elbtalzone (27)/Lausitzer Löss-Hügelland (28)



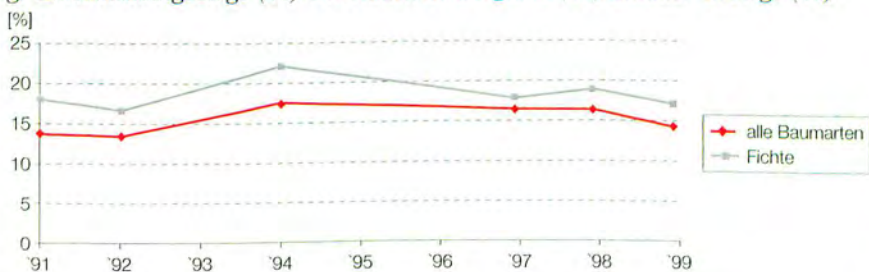
e: Vogtland (44)



f: Erzgebirge (45)



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



tionen in Kombination mit Witterungsextremen – haben jedoch erneut zu einer drastischen Polarisierung geführt: Dort, wo bereits eine hohe Vorschädigung der Bestände vorlag, war 1996 erneut eine drastische Verschlechterung des Zustandes der Bestände eingetreten. 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.

Vor allem in Regionen, die zur Immissions-schadzone I und II gehören, deutete sich bereits 1997 wieder eine leichte Entspannung an, die sich 1998 in diesen Gebieten fortsetzte. Selbst in der Immissions-schadzone I regenerierten die Fichten. Das durchschnittliche Nadelverlustprozent sank dort von 79,7 % (1997) auf 51,4 % (1998) ab, 1999 blieb es in ähnlicher Größenordnung und liegt damit noch deutlich über dem Befund der anderen Immissions-schad-zonen. Die hohe Anfälligkeit der Fichten gegenüber weiteren biotischen oder abiotischen Schadeinflüssen bleibt bestehen.

Das Wuchsgebiet **Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland** (WG 25) ist ebenfalls durch ein sehr hohes Schadniveau gekennzeichnet. Im Gegensatz zum Erzgebirge liegt das Schadniveau der Bestände hier dichter beieinander (vgl. Abb. 28b). Es gibt somit weniger extrem stark geschädigte, aber auch weniger vitale Bestände. Der leichte Schadrückgang, der sich im Zeitraum 1991 bis 1997 im Wuchsgebiet Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland abzeichnete, kehrte sich bereits 1998 ins Gegenteil um (vgl. Abb 29c). Von 1997 zu 1998 erhöhte sich der Anteil deutlicher Schäden um 8 Prozentpunkte auf 27 %, 1999 dann um weitere 12 Prozentpunkte auf 39 %. Diese Entwicklung ist in erster Linie in Zusammenhang mit der Verschlechterung des Zustandes der

Laubbaumarten, insbesondere der Eichen zu sehen.

Das **Vogtland** (WG 44) liegt mit 17 % deutlichen Schäden unter dem Landesmittel. Das Schadniveau ist dort 1999 gegenüber dem Vorjahr etwa gleich hoch geblieben. Die Zunahme der Schäden 1998 (insbesondere bei der Fichte) von einem geringen Ausgangsschadniveau aus hat sich somit nicht weiter fortgesetzt (vgl. Abb. 29e).

Die Wuchsgebiete **Elbsandsteingebirge/Oberlausitzer Bergland/Zittauer Gebirge** (WG 46, 47, 48) liegen – ähnlich wie das Vogtland – im mittleren Schadbereich. Auf 16 % der Fläche zeigen die Bäume eine deutliche Kronenverlichtung. Dies ist ein Rückgang von 4 Prozentpunkten im Vergleich zum Vorjahr. Eine eindeutige Tendenz ist aus dem Verlauf des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentes noch nicht ablesbar (vgl. Abb. 29g).

Abb. 30: Veränderung des durchschnittlichen Nadelverlustprozentes der Fichte im Erzgebirge von 1991 bis 1999 in den Immissionsschadzonen (Stand: 1990)

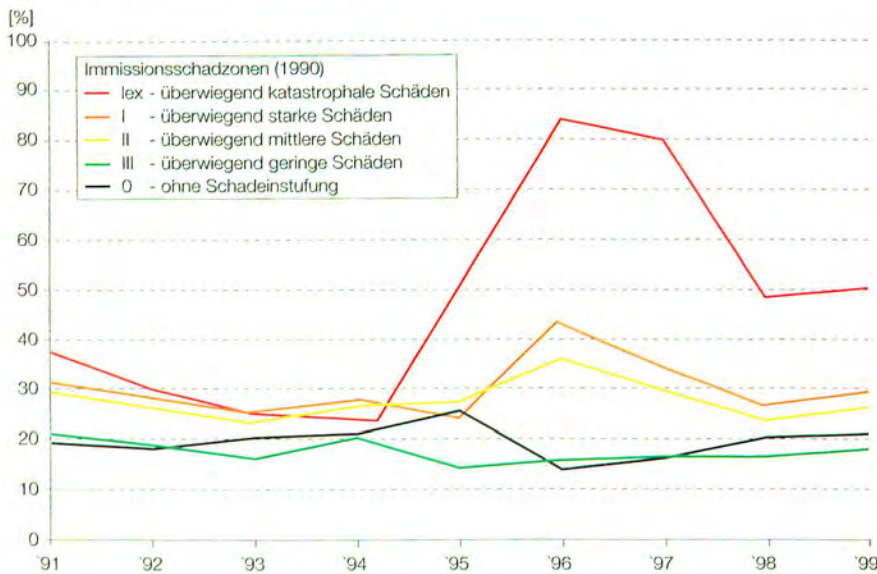
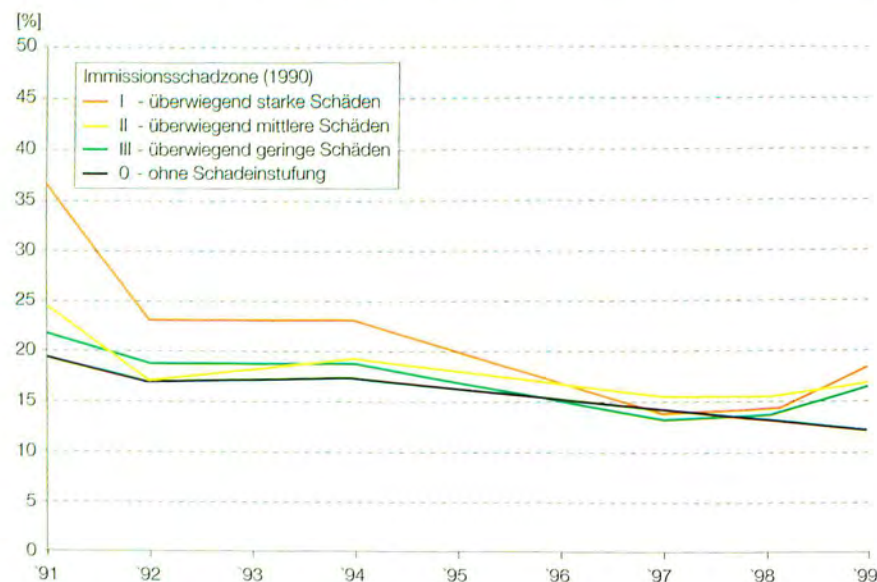


Abb. 31: Veränderung des durchschnittlichen Nadelverlustprozentes der Kiefer in den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland von 1991 bis 1999 in den Immissionsschadzonen (Stand: 1990)



Das Schadniveau in den Wuchsgebieten **Westlausitzer Platte und Elbtalzone/Lausitzer Löss-Hügelland** (WG 27, 28) war bislang nur geringen Schwankungen unterworfen (vgl. Abb. 29d). Auch 1999 hat sich der Kronenzustand in diesen Wuchsgebieten kaum verändert. Die deutlichen Schäden nehmen einen Anteil von 12 % ein. Damit liegen diese Wuchsgebiete um 10 Prozentpunkte unter dem Landesmittel.

Mit 12 % deutlichen Schäden sind in den Wuchsgebieten **Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland** (WG 14, 15) die Waldschäden weiterhin gering. Wie der Verlauf des mittleren Nadelverlustprozentes der Kiefer in dieser Region veranschaulicht, hat sich der Kronenzustand der in diesen Wuchsgebieten dominierenden Kiefern (82 % Anteil) gegenüber 1998 kaum verändert. Langfristig ist ein Verbesserungstrend erkennbar. Da andere Nadelbaumarten in dieser Region selten sind, ist der geringfügige Anstieg der deutlichen Schäden gegenüber dem Vorjahr im Befund über alle Baumarten, somit auf den schlechteren Kronenzustand der Laubbaumarten zurückzuführen (vgl. Abb. 29b).

Auch für die Wuchsgebiete Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland wurde geprüft, inwieweit die „Klassischen Rauchschaadgebiete“ noch relevant sind und regionale Schadschwerpunkte charakterisieren. Dabei wurde die Entwicklung des mittleren Nadelverlustprozentes der Kiefern in den Immissionsschadzonen von 1990 verfolgt. Bereits 1991 waren nur noch die Kiefern in der Immissionsschadzone I (= überwiegend starke Schäden) stärker verlichtet als Kiefern in den anderen Immissionsschadzonen. Seit 1997 ist diese Differenzierung nahezu aufgehoben. Die Schäden haben sich auf einem niedrigen Niveau angeglichen (vgl. Abb. 31).

Tab. 10: Schadstufenverteilung in den Wuchsgebieten (Angaben in %)

Wuchsgebiet	Baumart/Alter	Schadstufen		
		0	1	2 bis 4
14* Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland	alle Baumarten	49	39	12
15* Dübener-Niederlausitzer Altmoränenland				
23* Sachsen-Anhaltinische Löss-Ebenen		keine Aussage möglich		
24* Leipziger Sandlöss-Ebene		keine Aussage möglich		
25* Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland	alle Baumarten	22	39	39
26* Erzgebirgsvorland		keine Aussage möglich		
27 Westlausitzer Platte und Elbtalzone	alle Baumarten	60	28	12
28 Lausitzer Löss-Hügelland				
46 Elbsandsteingebirge				
47 Oberlausitzer Bergland	alle Baumarten	48	36	16
48 Zittauer Gebirge				
44* Vogtland	alle Baumarten	51	32	17
45 Erzgebirge	Fichten	32	34	34
	bis 60 Jahre	58	24	18
	über 60 Jahre	12	41	47
	alle Baumarten	32	35	33
	bis 60 Jahre	54	27	19
über 60 Jahre	12	43	45	
Sachsen		42	36	22

* Wuchsgebiet erstreckt sich über mehrere Bundesländer; hier sächsischer Teil

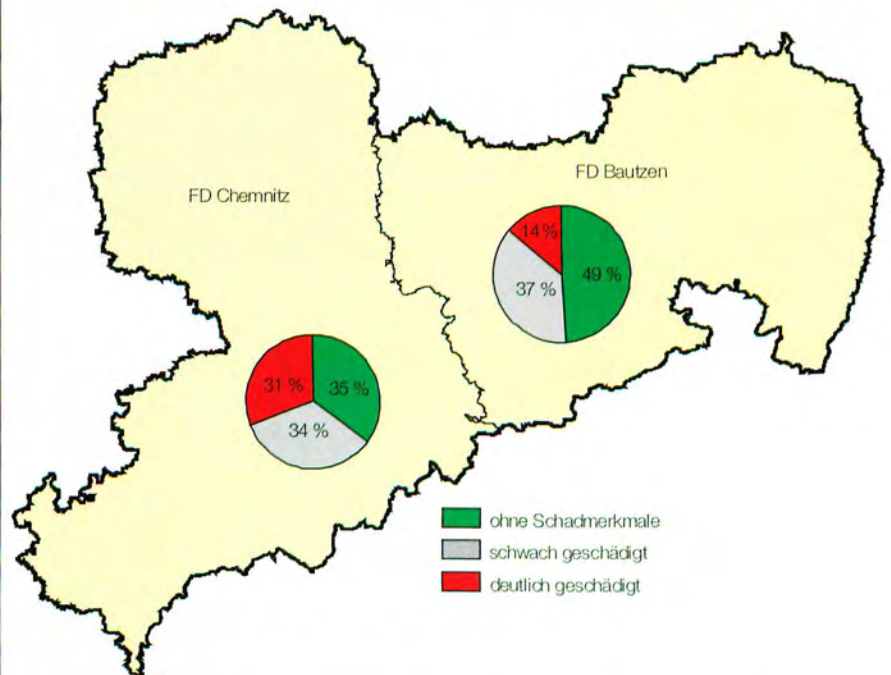
Forstdirektionen

Wie schon bei vorangegangenen Aufnahmen ist der Zustand der Wälder in Ostsachsen (FD Bautzen) weniger kritisch einzuschätzen als in Westsachsen. Die Abb. 32, 33 und Tab. 11 belegen dies.

Der Anteil deutlicher Schäden liegt 1999 in Westsachsen um 17 Prozentpunkte höher als in Ostsachsen. Während im Bereich der Forstdirektion Bautzen im Vergleich zum Vorjahr die deutlichen Schäden um nochmals 1 Prozentpunkt abgenommen haben, nachdem 1998 schon ein Rückgang um 3 % erfolgte, sind sie im Bereich der Forstdirektion Chemnitz mit 7 Prozentpunkten in gravierender Größenordnung angestiegen. Somit hat sich das West-Ost-Gefälle 1999 gegenüber den Vorjahren noch verstärkt.

Die stärkeren Schäden betreffen sowohl die Fichte und Kiefer als auch die Laubbaumarten. Bei der Fichte ist dieser Unterschied jedoch geringer

Abb. 32: Schadstufenverteilung in den Forstdirektionen (FD)



ausgeprägt, da die Fichte ein stärkeres Schadgefälle von Süd nach Nord – auch im Zusammenhang mit der Höhenlage – besitzt. Im Vergleich zwischen den Forstdirektionen werden diese Unterschiede teilweise nivelliert.

In jeder der beiden Forstdirektionen machen die Baumarten Fichte und Kiefer zusammen ca. 3/4 der Bestockung aus, allerdings dominiert in Westsachsen die Fichte mit 60 % und in Ostsachsen die Kiefer mit 48 %. Das

Tab. 11: Schadstufenverteilung in den Forstdirektionen (Angaben in %)

Forstdirektion	Baumart/Alter	Schadstufen		
		0	1	2 bis 4
Bautzen	Fichte	42	36	22
	Kiefer	56	38	6
	Laubholz	38	41	21
	alle Baumarten	49	37	14
	bis 60 Jahre	64	29	7
	über 60 Jahre	29	48	23
Chemnitz	Fichte	39	32	29
	Kiefer	34	43	23
	Laubholz	15	37	48
	alle Baumarten	35	34	31
	bis 60 Jahre	54	28	18
	über 60 Jahre	14	40	46
Sachsen	alle Baumarten	42	36	22

höhere Schadniveau der Fichte gegenüber der Kiefer spiegelt sich somit zusätzlich im Gesamtergebnis der Forstdirektionen wider.

Abb. 33a-c: Veränderung des mittleren Nadel-/Blattverlustprozentages im Bereich der Forstdirektionen Bautzen und Chemnitz

a: alle Baumarten



b: Fichte



c: Kiefer



Aussagen zur Vitalität der Buche nach Kronenstrukturmerkmalen

Bodensaure Buchenwälder dominieren mit einem Flächenanteil von 56 % in der potenziellen natürlichen Vegetation der sächsischen Mittelgebirge. Im Vergleich dazu ist die Buche gegenwärtig nur mit ca. 3 % an der Gesamtwaldfläche beteiligt. Für den Waldumbau im Mittelgebirge ist eine wirtschaftlich und ökologisch angemessene Erhöhung des Buchenanteils von zentraler Bedeutung. Die Bestandeszieltypen für den sächsischen Staatswald bieten hierbei die Möglichkeit einer ausgewogenen Synthese von ökologischer Stabilität und wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit. In diesem Zusammenhang, wie auch für die waldbauliche Behandlung vorhandener Buchenbestände, sind Kenntnisse über die Vitalität der Buche unter dem Einfluss anthropogen überprägter Umweltbedingungen wesentlich. In Ergänzung zur jährlichen Waldschadenserhebung erfolgte daher bei der Bearbeitung waldbaulicher Versuchsflächen sowie der Erstaufnahme von Naturwaldzellen (NWZ) auch eine einzelbaumweise Erfassung der Vitalität. Die Grundlage dieser Vitalitätsansprache bildeten die von ROLOFF (1989) anhand von Kronenstrukturmerkmalen abgeleiteten Vitalitätsphasen (vgl. Abb. 34–37).

Vitalitätsphase 1: Die Hauptachsen der Wipfeltriebe und teilweise auch

Abb. 34: Kronenstruktur von Buchen in der Explorationsphase



deren seitliche Verzweigung bestehen aus Langtrieben. Es entsteht eine relativ gleichmäßig vernetzte Verzweigung bis ins Kroneninnere (Explorationsphase).

Vitalitätsphase 2: Typisch sind aus der Kronenperipherie herausragende Spieße, deren Seitenverzweigung von Kurztrieben oder Kurztriebketten dominiert wird. Der Luftraum zwischen diesen Spießern wird folglich nicht oder nur unvollständig ausgefüllt. Im Kroneninneren kann noch eine intaktere seitliche Verzweigung mit einem höheren Anteil von Langtrieben vorkommen (Degenerationsphase).

Abb. 35: Kronenstruktur von Buchen in der Degenerationsphase



Vitalitätsphase 3: Im Übergang der Wipfeltriebe zur Bildung von Kurztrieben manifestiert sich die deutliche Schwächung der Buche, wodurch im unbelaub-

Abb. 36: Kronenstruktur von Buchen in der Stagnationsphase



ten Zustand die beginnende Krallenbildung hervortritt (Stagnationsphase). Die Kronen verlichten von innen heraus.

Vitalitätsphase 4: Durch Ausbrechen größerer Äste und Absterben von Kronenbereichen zerfällt die Buchenkronen in Fragmente. Der Wipfel ist bereits abgestorben oder unterliegt einem Absterbeprozess (Resignationsphase).

Abb. 37: Kronenstruktur von Buchen in der Resignationsphase



(vgl. ROLOFF: Entwicklung und Flexibilität der Baumkrone und ihre Bedeutung als Vitalitätsweiser; I. Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung am Beispiel der Buche, Schweiz. Z. Forstwes., 140 (1989) 9: 775–789)

Die beschriebenen Vitalitätsphasen ermöglichen neben der Information über die aktuelle Vitalität der Buche sowohl einen Einblick in die zurückliegende Entwicklung der Kronenstruktur als auch eine Prognose einzelbaumbezogener Entwicklungstendenzen. Die von ROLOFF zur Beurteilung der Vitalität und Flexibilität der Baumkrone herangezogenen Kronenstrukturmerkmale bilden somit eine wichtige Grundlage für vitalitäts- und – in Verbindung mit der Schaftqualität – leistungsorientierte Durchforstungs- bzw. Verjüngungsentscheidungen.

Im Zusammenhang mit der Beurteilung von Waldschäden werden temporäre Schwankungen des Belaubungszustandes nivelliert und eher Aussagen über mittel- bis langfristige Entwicklungstrends getroffen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kronenstrukturmerkmale nur außerhalb des natürlichen Alterstrends zur Schadensbeurteilung herangezogen werden können.

Die folgenden Ergebnisse basieren auf Untersuchungen (1997 und 1998) in einem buchenreichen Demonstrationsobjekt zum Waldumbau und in vier von Buchenwaldgesellschaften bestockten Naturschutzgebieten, die gleichzeitig Bestandteil des Systems der sächsischen Naturwaldzellen (§§ 29, 30 SächsWaldG) sind. Die analysierten Buchenwald-Ökosysteme repräsentieren entlang eines Ost-West-Gradienten den Einfluss unterschiedlicher Höhenlagen, Expositionen, Substrate, Standortsformengruppen und Bodenformen auf den aktuellen Vita-

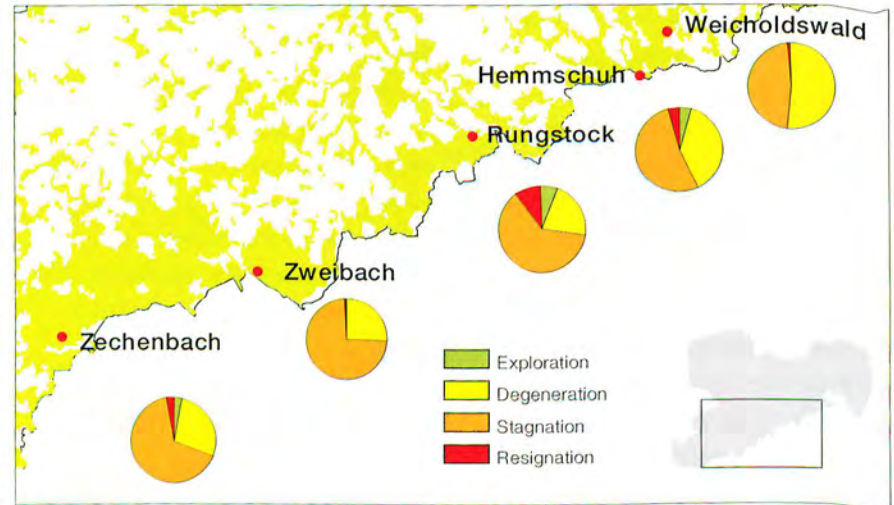
litätsstatus der Buchen (vgl. Tab. 12 und Abb. 38).

Die Stichprobe umfasst insgesamt 6 148 ca. 90- bis 130-jährige Buchen, deren Kronenstruktur noch nicht dem natürlichen Alterstrend unterlag. Jüngere Bestände, in denen die indivi-

duelle Kronenstruktur noch stark von der vertikalen Konkurrenz überprägt wird, wurden ebenfalls ausgeschlossen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Vitalität der heute mittelalten Buchenbestände durch eine waldbauliche Behandlung,

Abb. 38: Untersuchungsobjekte zur Beurteilung der Vitalität der Buche im sächsischen Teil des Erzgebirges



Tab. 12: Charakteristik der Untersuchungsflächen

Fläche	Wuchsbezirk	Höhe über NN/ Jahresdurchschnitts- temperatur/ Jahres- niederschlagssumme	Bodenformen/ Humusform	Standortsformengruppe		
				Klima- stufe	Trophie	Wasser- haus- halt
Zechenbach	westliches oberes Erzgebirge	660–760 m ü. NN 5,5–7,0 °C 800–900 mm	Phyllitbraunerde/ Moder	feuchte höhere Berglagen	mittel	frisch- mäßig trocken
Zweibach	westliches oberes Erzgebirge	680–900 m ü. NN 5,5–4,5°C 900–1000 mm	Gneisbraunerde/ Moder	feuchte höhere Berglagen	mittel	frisch- mäßig frisch
Rungstock	obere Nordabdachung des mittleren Erzgebirges	540–730 m ü. NN 5,2–7,0 °C 800–1000 mm	Gneis-Braunerde Gneis-Braunpodsol/ Moder bis mullartiger Moder	feuchte höhere/ mittlere Berg- lagen	mittel- ziemlich arm	mäßig frisch
Hemmschuh	obere Nordabdachung des östlichen Erzgebirges	700–846 m ü. NN 4,0–5,0 °C 1000 mm	Phyllitbraunerde/ Moder bis mullartiger Moder	feuchte höhere Berg- lagen	kräftig- mittel	frisch- mäßig trocken
Weicholdswald	obere Nordabdachung des östlichen Erzgebirges	510–680 m ü. NN 5,2–7,0 °C 800–1000 mm	Braunerde – Podsolbraunerde/ mullartiger Moder – Moder	feuchte höhere/ mittlere Berg- lagen	kräftig, z. T. mineral. Nass- Standorte	frisch- mäßig frisch

die sich im Wesentlichen auf nieder-
durchforstungsartige Eingriffe oder
Zufallsnutzungen beschränkte, ungün-
stig beeinflusst wurde, woraus sich eine
erhöhte Disposition gegenüber Folge-
schäden ergibt.

Im **Untersuchungsgebiet** konnten nur
2,5 % der untersuchten Buchen der
Vitalitätsphase 1 (Exploration) zuge-
ordnet werden. Damit ist der Anteil von
Buchen mit normal entwickelten Kron-
strukturen ausgesprochen gering.
Mit 54 % überwiegen Buchen mit aus-
geprägten, weit vor dem natürlichen
Alterstrend einsetzenden Seneszenz-
erscheinungen, wie sie durch die Vitali-
tätsphase 3 (Stagnation) charakterisiert
werden. Buchen der Vitalitätsphase 2
(Degeneration) sind mit 40,3 % an der
Stichprobe beteiligt. Der Anteil von
Buchen, die erhebliche Vitalitätsverlu-
ste mit tendenziellen Absterbeerschei-
nungen aufweisen – Vitalitätsphase 4
(Resignation) – war mit 2,8 % relativ
gering.

Entlang eines **Ost-West-Gradienten**
zeigen die Ergebnisse im Bezug zur
klassischen, durch SO₂ dominierten
Immissionsbelastung eine eher atypi-
sche Verschlechterung der Vitalität der
Buche (vgl. Abb. 38). Demnach ergibt
sich ein deutlich besserer Vitalitäts-

status für die Buche in den NWZ
Weicholdswald (FoA Altenberg, Revier
Bärenstein) und Hemmschuh (FoA
Bärenfels, Revier Rehefeld) als in den
Untersuchungsobjekten im mittleren
und westlichen Erzgebirge (NWZ
Rungstock, FoA Olbernhau, Revier
Olbernhau bzw. NWZ Zweibach, FoA
Grünhain, Revier Rittersgrün, FoA
Klingenthal, Revier Zechenbach).
Offensichtlich wird die Vitalität der
Buche in den genannten Untersu-
chungsobjekten durch weitere Faktoren
bestimmt.

Eine potenzielle Immissionsbelastung
wird vor allem durch die **Höhenlage**
und die **Exposition** der Buchenbestände
modifiziert, was durch die Ergebnisse in
den Lokalitäten Hemmschuh und Rung-
stock belegt wird (vgl. Abb. 39).
Grundsätzlich treten die deutlichsten
Vitalitätsverluste der Buche in östlich
bis südöstlich exponierten Beständen
in höheren Berglagen auf (NWZ
Hemmschuh). Mit abnehmender
Höhenlage nimmt auch die Intensität
des Einflusses der Exposition auf die
Vitalität der Buche ab (NWZ Rung-
stock). In Lagen zwischen 550 und
600 m ist kaum noch eine expositions-
bedingte Differenzierung der Vitalität
der Buche nachweisbar (NWZ
Weicholdswald).

Mit abnehmender **Nährkraftstufe**
verschlechtert sich die Vitalität der
Buche. Diese Tendenz wird beson-
ders durch den Vergleich zwischen
Standorten mittlerer Trophie und
ziemlich armen Standorten (Z) deut-
lich, wobei Letztere nur im Bereich
der NWZ Rungstock in die Untersu-
chungen eingingen. In diesem Gebiet
liegen die Z-Standorte in Höhenlagen
über 720 m und sind zudem weniger
günstig nordöstlich exponiert. Neben
dem durch das Ausgangssubstrat
natürlich eingeschränkten Basenan-
gebot, muss hier bei erhöhtem
Immissionseinfluss von einem deut-
lich eingeschränkten Puffervermögen
der Waldböden ausgegangen werden.
Diese Situation kann auch zur gerin-
geren Vitalität der Buche beigetragen
haben.

Widersprüchlich erscheint die redu-
zierte Vitalität der Buchen auf kräfti-
gen Standorten im Vergleich zu den
Standorten mittlerer Trophie. Dieses
Ergebnis wird entscheidend durch
die intraspezifische Konkurrenz und
den damit verbundenen Ausschei-
dungsprozess unter den mitherr-
schenden und herrschenden Buchen
in der NWZ Weicholdswald über-
prägt. Die vitaleren Buchen auf kräf-
tigen Standorten der NWZ Hemm-
schuh gehen nur mit einem weitaus
geringeren Stichprobenumfang in die
Untersuchungen ein. Darüber hinaus
wird der Einfluss der besseren Trophie
hier bereits durch Höhenlagen
über 750 m teilweise ausgeglichen
(vgl. Abb. 40).

Des Weiteren wirkt sich eine durch-
schnittliche bis überdurchschnittliche
Wasserversorgung positiv auf die
Vitalität der Buche aus, was bei
einem Vergleich von Buchen auf
Standorten mittlerer Trophie in einem
Höhenbereich von 720–800 m und
Expositionen von SSW bis SW
anhand der Untersuchungsobjekte
Zweibach und Zechenbach deutlich
wird (vgl. Abb. 41).

Abb. 39: Vitalitätsstatus der Buchen in Abhängigkeit von der Exposition



Abb. 40: Einfluss der Stamm-Nährkraftstufe auf den Vitalitätsstatus der Buche

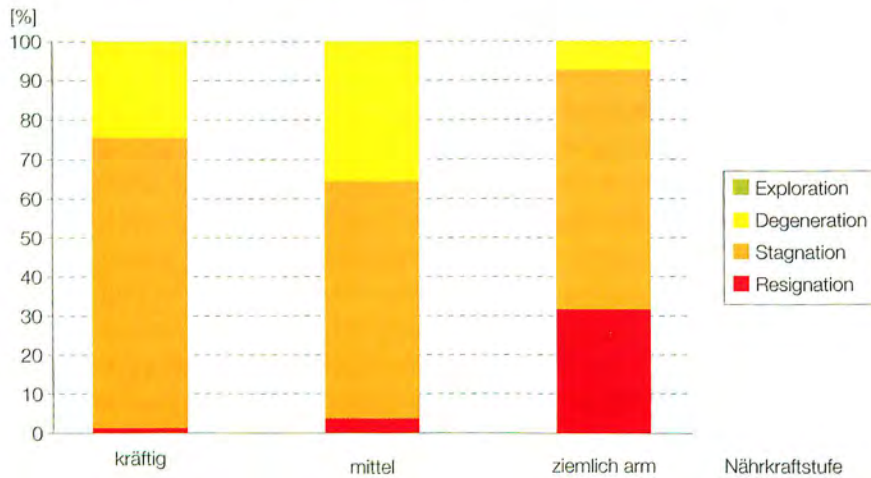


Abb. 41: Einfluss der Wasserhaushaltsstufe auf den Vitalitätsstatus der Buche in den NWZ Zechenbach und Zweibach bei mittlerer Trophie in einem Höhenbereich von 720–800 m

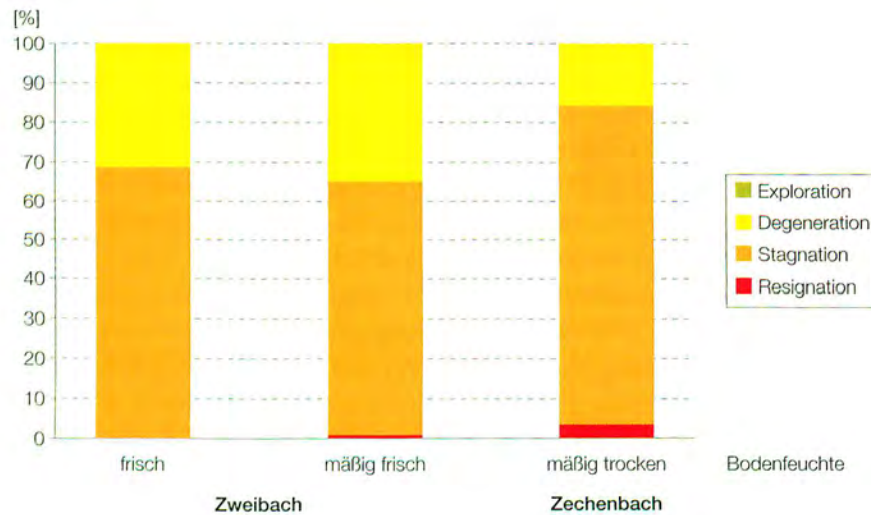
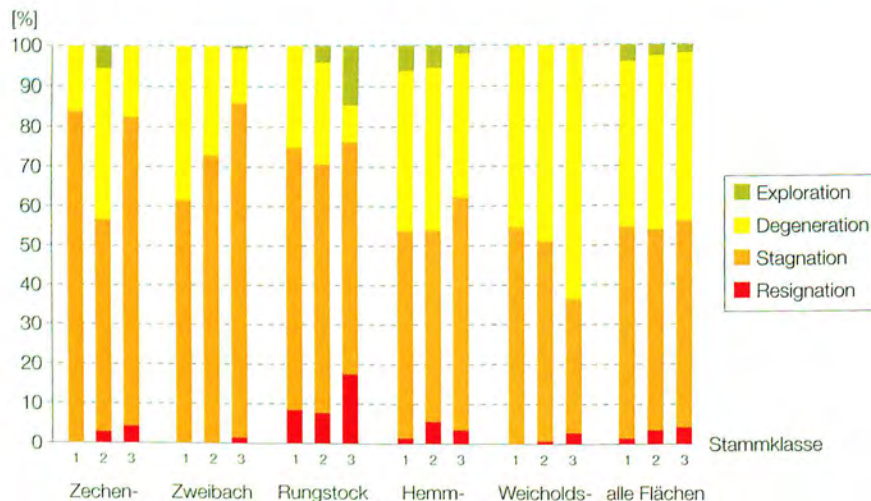


Abb. 42: Verteilung der Vitalitätsphasen in Abhängigkeit von der Baumklasse nach KRAFT



Baumklassen: 1 vorherrschend, 2 herrschend, 3 mitherrschend

Soziale Stellung und Kronenausformung gehen als relative Bewertungskriterien in die biologischen Baumklassen nach KRAFT ein. In den jeweiligen Untersuchungsobjekten wurde die Verteilung der Buchen nach Vitalitätsphasen in Abhängigkeit von der Baumklasse geprüft. In allen Untersuchungsobjekten gehören Buchen mit normal entwickelter Kronenstruktur – Vitalitätsphase 1 (Exploration) – überwiegend zur Baumklasse 1 (vorherrschend), bilden somit den Hauptbestand und besitzen relativ kräftig entwickelte Kronen. Mit fallender sozialer Stellung und zunehmend eingegengten Kronen verringert sich auch der Anteil der Buchen mit normal entwickelter Kronenstruktur von 3,5 % bei den vorherrschenden Buchen auf 2,1 % bei den mitherrschenden Buchen mit schwach entwickelten Kronen. Die umgekehrte Tendenz ist für die Buchen der Vitalitätsphase 4 (Resignation) zu verzeichnen, deren Anteil von den vorherrschenden zu den mitherrschenden Buchen deutlich ansteigt (1,1 bzw. 3,8 %), was auf einen erheblichen Einfluss der intraspezifischen Konkurrenz auf die Vitalitätsentwicklung schließen lässt.

Hinsichtlich der Verteilung der Buchen der Vitalitätsphasen 2 (Degeneration) und 3 (Stagnation) sind auf der Grundlage der biologischen Baumklassen keine tendenziellen Beziehungen feststellbar. Hierfür wäre eine feinere Stratifizierung der Stichprobe auf der Grundlage dendrometrischer Parameter notwendig.

Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass die negative Wirkung anthropogen verursachter Umwelteinflüsse durch die Konkurrenzsituation des Einzelbaumes modifiziert wird (vgl. Abb. 42).

Als Ergebnis der eingangs umrissenen waldbaulichen Behandlung der untersuchten Buchenbestände läuft gegenwärtig in geringen und mittleren Baumhölzern eine ausgeprägte Selbst-

differenzierung ab, die neben anderen Faktoren zu erheblichen Vitalitätsverlusten in Buchenbeständen beitragen kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in mittelalten Buchenbeständen des Erzgebirges die Bäume überwiegen, die auf der Grundlage ihres Verzweigungsmusters der Vitalitätsphase 3 (Stagnation) zuzuordnen sind. Hierdurch werden deutliche Vitalitätsverluste und eine verringerte Flexibilität der Buchenkronen induziert. Dieser Zustand ist nur bedingt durch das klassische, durch SO₂ dominierte

Immissionsgeschehen zu erklären und wird erheblich durch weitere Standortfaktoren wie Höhenlage, Exposition, Substrat und Wasserhaushalt beeinflusst. Standortbedingungen, die bereits außerhalb des Optimums der Buchenwaldgesellschaften liegen, bedingen eine erhöhte Disposition gegenüber Immissionsbelastungen und anderen negativen Umwelteinflüssen. Diese Tendenz wird durch eine hohe intraspezifische Konkurrenz verstärkt. Selbst auf kräftigen Standorten im Bereich der mittleren Berglagen treten erhebliche konkurrenzbedingte Vitalitätsverluste auf, wobei nur schwer ein

Zusammenhang zur Immissionsbelastung hergestellt werden kann.

Die konsequente Kronenpflege an den herrschenden und vorherrschenden Buchen ist spätestens mit der Kulmination des Höhenwachstums für die Verbesserung der Resistenz gegenüber negativen Umwelteinflüssen entscheidend. Neben der Forderung nach einer Einschränkung anthropogen bedingter Umweltveränderungen ist damit die Pflege vorhandener Buchenbestände eine vordringliche waldbauliche Aufgabe.

Zusammenfassung

In Sachsen wurde 1999 zum 9. Mal die Waldschadenserhebung nach bundeseinheitlicher Methode durchgeführt. Im Vollstichprobennetz von 4 x 4 km wurden insgesamt 6 816 Bäume begutachtet.

Das Ergebnis der Erhebung weist **22 % deutliche Schäden, 36 % leichte Schäden** und **42 % ohne Schäden** aus. Damit hat sich der Anteil deutlicher Schäden im Vergleich zum Vorjahr um 3 Prozentpunkte erhöht. Trotz dieser Schadzunahme bleibt das Schadniveau 1999 unter dem zu Beginn der 90er-Jahre. Während 1999 bei den Nadelbaumarten das Schadniveau im Bereich der Vorjahre liegt, zeigt es bei den Laubbaumarten eine steigende Tendenz.

Die Baumart **Fichte** bestimmt die Tendenz des Gesamtergebnisses wesentlich. Die deutlichen Schäden bei der Fichte sind um 3 Prozentpunkte höher als im Vorjahr und liegen jetzt bei 27 %. Die leichten Schäden haben sich entsprechend verringert. Der Anteil ohne Schadmerkmale blieb mit 40 % unverändert. Nennenswerte biotische Einflussfaktoren auf den Kronenzustand der Fichtenbestände traten nicht auf. Der Befall durch Borkenkäfer, speziell Buchdrucker, nahm – vor allem witterungsbedingt – ab.

Die deutlichen Schäden in der **Kiefer** sind mit 10 % ähnlich niedrig wie in den vorangegangenen vier Jahren und damit deutlich niedriger als Anfang der 90er-Jahre. In Kiefernbeständen kam es wiederum zu lokal eng begrenzten Schäden durch nadelfressende Insekten. Rückläufig ist der Befall durch stamm- und rindenbrütende Insekten.

Das schon in den vorangegangenen Jahren bereits extrem hohe Schadniveau der Eiche hat sich 1999 um weitere 14 Prozentpunkte auf 68 % deutliche Schäden erhöht. Nur 9 % der **Eichen** sind gesund. Dabei spielen Fraßschäden – verursacht durch Eichenwickler und Frostspannerarten – nur eine untergeordnete Rolle. Das starke Auftreten des Eichenmehltaus sowie weiterer phyllophager Insekten hat im Sommer den Belaubungszustand der Eichen erheblich geprägt.

Der Anteil deutlicher Schäden in der **Buche** ist 1999 ebenfalls wieder etwas angestiegen. Die Verzweigungsstruktur der Buchenkronen in mittelalten Beständen des Erzgebirges verweist auf deutliche Vitalitätsverluste und eine verringerte Flexibilität der Kronen.

An **anderen Laubbaumarten** traten verschiedenartige biotische Schäden auf, die deren Belaubungszustand beeinflussten.

Die Auswertung der Waldschäden in den **Wuchsgebieten** lässt erhebliche lokale Unterschiede erkennen. Im Erzgebirge liegt der Anteil deutlicher Schäden um 11 Prozentpunkte höher als im Landesdurchschnitt. Die Schadausprägung ist innerhalb des Wuchsgebietes jedoch stark differenziert. Die Schadentwicklung lässt noch keinen allgemeinen Trend erkennen. Im Sächsisch-Thüringischen Löss-Hügelland erfolgte, in erster Linie in Zusammenhang mit der Verschlechterung des Zustandes der Laubbaumarten, eine drastische Schadzunahme. In den Wuchsgebieten Mittleres nordostdeutsches Altmoränenland/Düben-Niederlausitzer Altmoränenland stellte sich vor allem das Erscheinungsbild der dort vorherrschenden Kiefer wesentlich günstiger dar.

Rahmenbedingungen für den Waldzustand

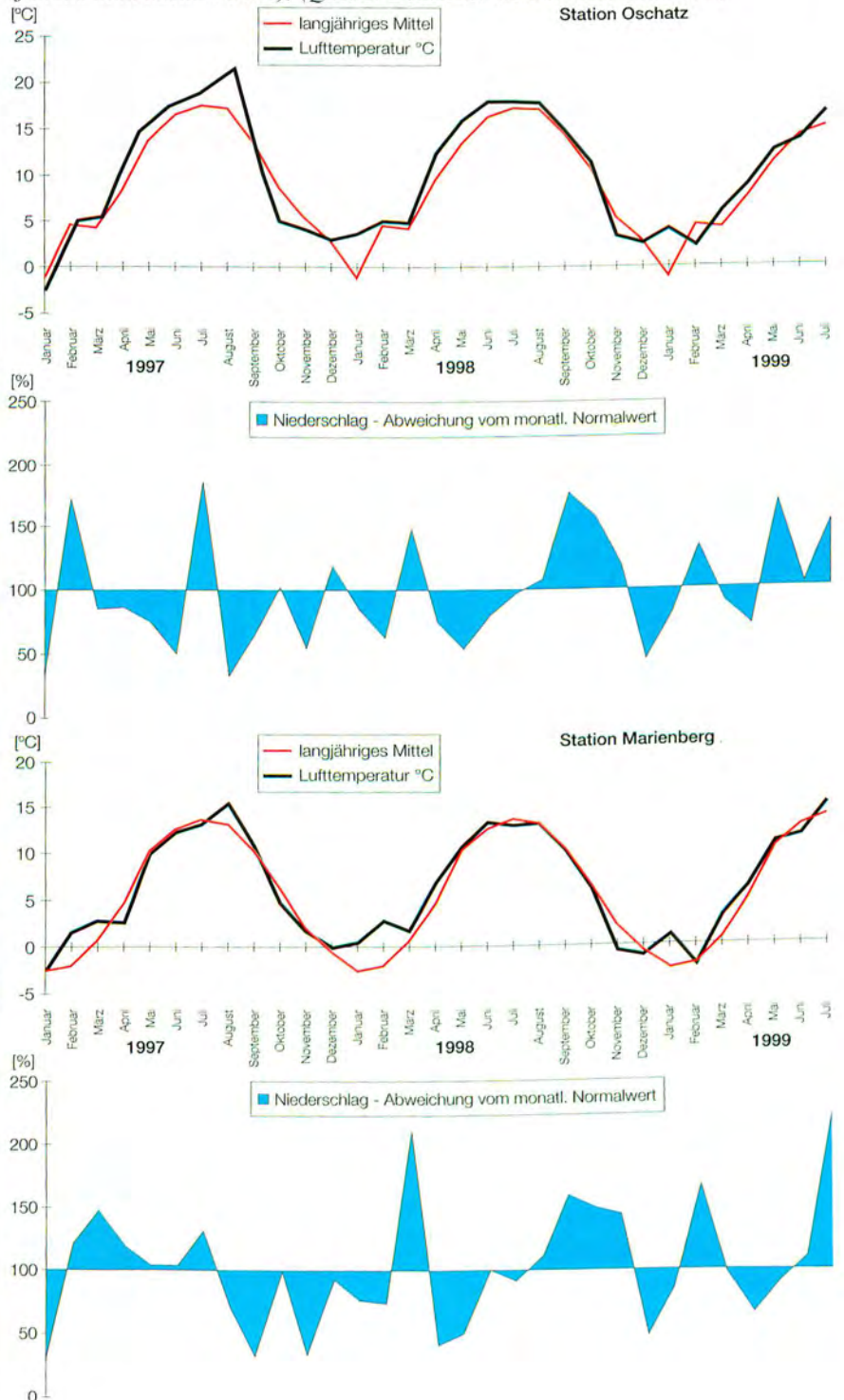
Witterung

Witterungsverläufe sind wesentliche Steuergrößen für die ökophysiologischen Aktivitäten, d. h. für die Assimilation, Respiration und Transpiration von Waldbäumen und der gesamten Vegetation im Waldökosystem. Von entscheidender Bedeutung dabei sind u. a. Temperatur, Niederschlag, standortsabhängige Bodenfeuchte in Wechselwirkung mit der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) in ihrer jahreszeitlichen Dynamik.

So beeinflussen beispielsweise Spätfröste im Frühjahr oft erheblich die weitere Wachstumsdynamik. Die Temperaturdynamik und die Tageslänge im Frühjahr leiten den Beginn der Vegetationsperiode ein, die Tageslänge und Frühfröste im Herbst beenden sie. 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. Die PAR-Strahlung liefert zudem die nötige Energie für die Photosynthese. Neben den angesprochenen direkten Wirkungen dieser Umweltfaktoren, nimmt die Witterung auch indirekt Einfluss auf das Pflanzenwachstum (z. B. Steuerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, Entwicklungsbedingungen für Schadinsekten etc.).

Bäume besitzen wie alle anderen Pflanzen einen mehr oder weniger großen Toleranzbereich, d. h. sie ertragen Schwankungen von Umwelteinflüssen in einem gewissen Rahmen. Wachsen sie am natürlichen (geeigneten) Standort, so werden vom Normal abweichende

Abb. 43a–d: Vergleich der Temperatur- und Niederschlagsdynamik von 1997–1999 mit den langjährigen Mittelwerten der DWD-Stationen Oschatz und Marienberg (jeweils Monatsmittelwerte), (Quelle: Deutscher Wetterdienst–Radebeul)



Witterungsverläufe oder Umwelteinflüsse in der Regel ohne irreversible Schäden überstanden.

Waldbestände, deren Standortbedingungen und/oder Umwelteinflüsse für die aktuelle Baumartenzusammensetzung nicht geeignet sind (z. B. Fichtenreinbestände auf wechselfeuchten Standorten) oder die extremen Umweltveränderungen unterworfen sind (z. B. Immissionen), reagieren besonders drastisch auf Witterungsextreme.

Die in *Abb. 43* dargestellten Daten der Wetterstationen Oschatz und Marienberg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) charakterisieren den Witterungsverlauf der Jahre 1997 bis 1999. Sie befinden sich in den Wuchsgebieten Sächsisch-Thüringisches Löss-Hügelland (Oschatz, 150 m NN) und Erzgebirge (Marienberg, 639 m NN). Damit repräsentieren sie 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.

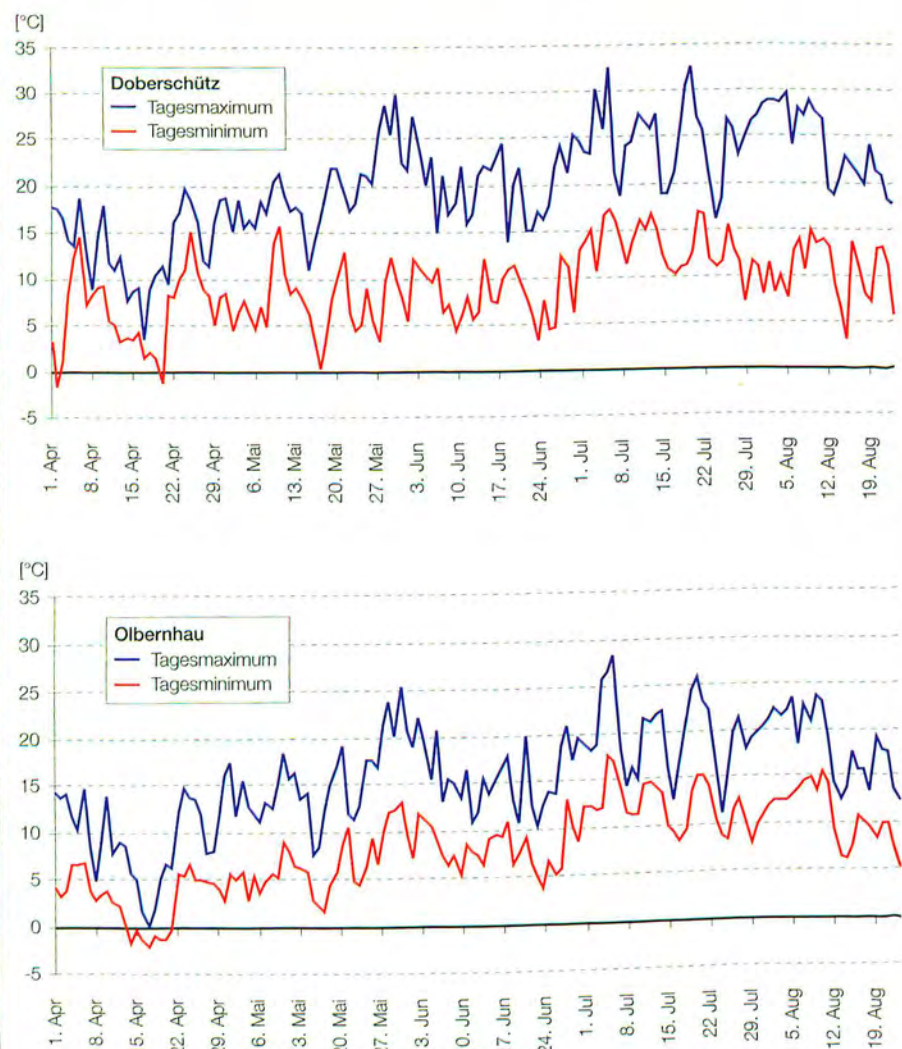
Um die Witterungsdynamik des Jahres 1999 mit langjährigen Mitteln vergleichen zu können, sind diese Vergleichsstationen des DWD erforderlich, da unmittelbar aus Waldgebieten keine langfristigen Datenreihen vorliegen. Da der Wald auch die Witterung in seiner Umgebung beeinflusst, sich in seinem Inneren ein eigenes Klima ausbildet und sich die Witterung auf Waldökosysteme spezifisch auswirkt (beispielsweise Bodenfeuchte), werden die langjährigen Wetterdaten des DWD von Oschatz und Marienberg durch Messungen der Waldklimastationen, die von der LAF betrieben werden, ergänzt. Zwei der Waldklimastationen befinden sich unweit der meteorologischen Mess-Stellen im Forstamt Doberschütz (vergleichbar mit Oschatz) und im Forstamt Olbernhau (vergleichbar mit Marienberg). Zur besseren räumlichen Differenzierung

werden weiterhin Daten aus den Waldklimastationen Klingenthal (Westerzgebirge) und Hoyerswerda (Lausitz) herangezogen.

Im gesamten Winter 1998/99 wurden keine nennenswerten Bodenfrostperioden registriert. Der Januar 1999 wies **Temperaturen** mit ca. 2–4 °C, die über dem langjährigen Mittel lagen, und ein **Niederschlagsdefizit** auf. Der vergleichsweise kalte und niederschlagsreiche Februar wurde von einer leicht über den langjährigen Temperaturen liegenden Periode von März bis Mai abgelöst. Ein Ausdruck hierfür dürfte der relativ zeitige Beginn der **Vegetationsperiode** (Blattaustrieb) im April 1999 gewesen sein.

Während im Mittelgebirgsraum die Niederschläge in dieser Zeit leicht unter den langjährigen Mittelwerten lagen, ergaben sich für den Tieflandbereich in dieser Periode teilweise Niederschlagsmengen, die erheblich über den Normalwerten lagen. Die aufgetretenen Niederschlagsdefizite im Mittelgebirgsraum führten jedoch nicht zu ausgeprägten Bodenwasserdefiziten. Danach entwickelte sich im Juni bis in den Juli hinein ein allgemein kühlfeuchter Witterungsabschnitt, der zu günstigen Umweltbedingungen insbesondere in Bezug auf die Wasserversorgung der Wälder geführt hat. Ab Mitte Juli setzte sich eine zunehmend warme und trockene Witterung durch, die bis zur redaktionellen Bearbeitung dieses

Abb. 44a, b (von oben nach unten): Tagesextreme der Lufttemperatur von April bis August 1999 an den Waldklimastationen Doberschütz und Olbernhau



Berichtes (Ende August) anhielt. Dadurch kam es insbesondere auf den Sandstandorten des Tieflandbereiches zu erheblichem Wasserstress. Spätfröste, die in vergangenen Jahren Schäden an Waldverjüngungen verursacht haben, blieben 1999 fast vollständig aus. Die Grafiken der Lufttemperatur für einen Mittelgebirgs- (Olbernhau) und einen Tieflandstandort (Doberschütz) (vgl. Abb. 44a und 44b) sind typisch für alle Mess-Standorte und zeigen die Lufttemperaturdynamik für den Zeitraum von April bis August 1999.

Jahreszeitlich relativ spät kam es landesweit in der letzten Mai- bzw. 1. Junidekade zu ersten Sommertagen (Maximum der Lufttemperatur über 25 °C).

Die **Bodenfeuchteverhältnisse** 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 Übersichtlichkeit werden nur Tensiometerwerte dargestellt, obwohl deren Messbereich begrenzt ist. In ausgeprägten Trockenperioden liegen die realen Saugspannungen noch weit über dem mit dieser Methode messbaren Bereich von 800–900 hPa.

Die folgenden Abb. 45a und 45b zeigen den Verlauf der Bodensaugspannungen von April bis August 1999 für einen typischen Sandstandort des Tieflandes (Doberschütz – Nordwestsachsen) und einen typischen Mittelgebirgsstandort (Olbernhau –

Abb. 45a, b (von oben nach unten): Bodenfeuchtedynamiken und Niederschläge im Zeitraum April bis August 1999 für den Tieflands-Sandstandort Doberschütz (Nordwestsachsen) und den Mittelgebirgsstandort Olbernhau (mittleres Erzgebirge)

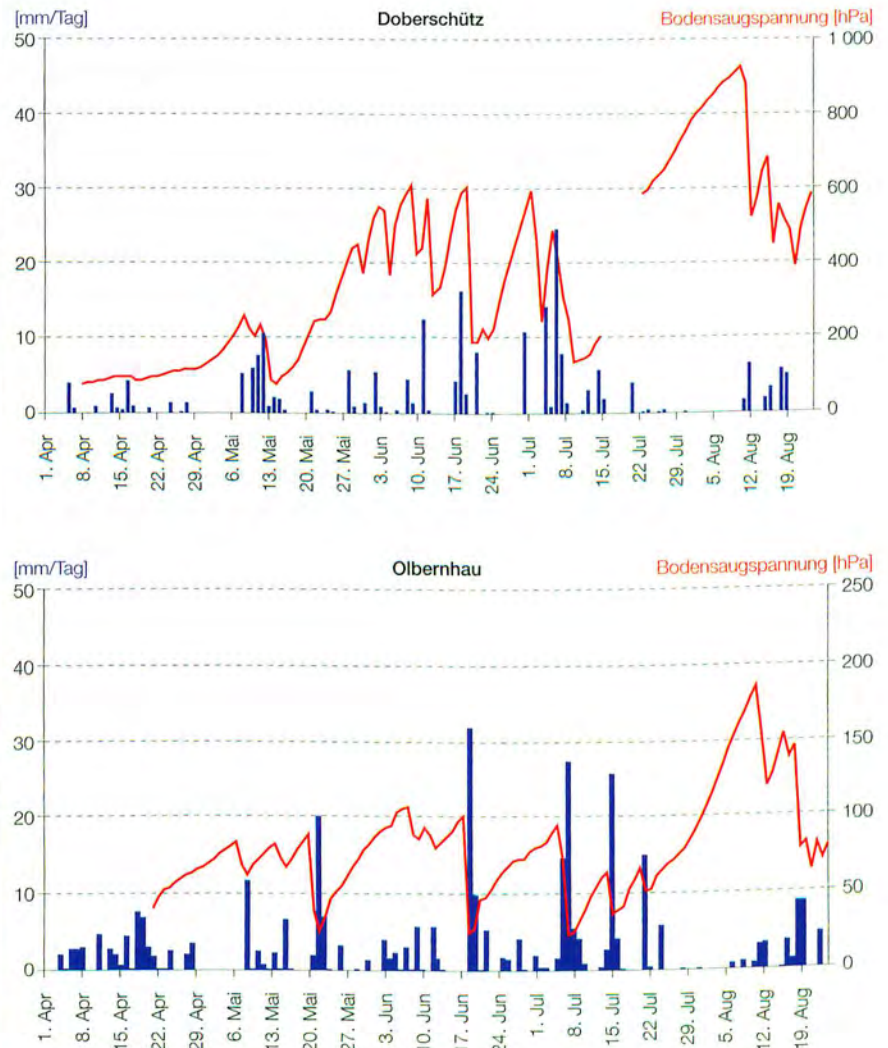
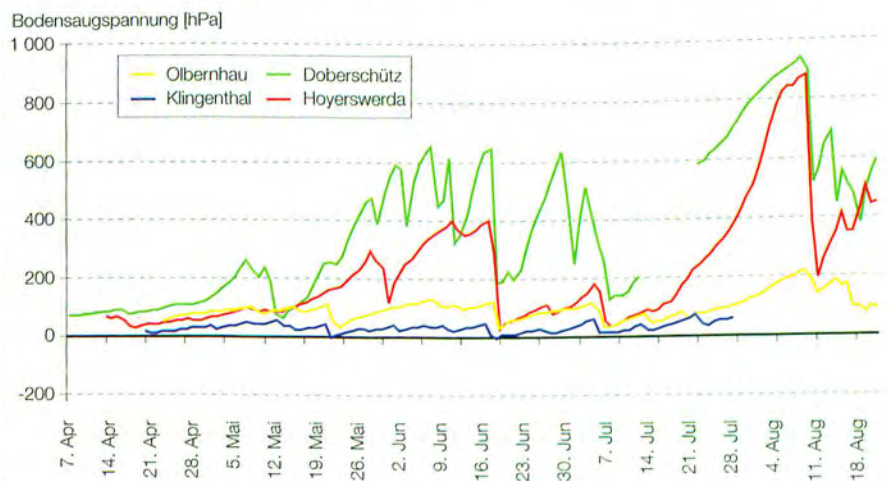


Abb. 46: Bodenfeuchtedynamiken 1999 für typische Standorte Sachsens; Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge); Tiefland (Sand): Doberschütz (Nordwestsachsen)/Hoyerswerda (Lausitz)



hau – mittleres Erzgebirge). Die Mittelgebirgsstandorte waren trotz Niederschlagsdefiziten im Zeitraum von März bis Mai durchweg von günstigen Bodenwasserverhältnissen in der Vegetationsperiode 1999 gekennzeichnet. Die Sandstandorte des Tieflandes zeichneten sich durch überdurchschnittliche Niederschlagsmengen im Zeitraum von März bis Juni und somit durch relativ günstige Bodenwasserdynamiken aus. Dort trat ab Anfang Juni zwar zeitweise Bodenwasserstress auf, der sich aber immer wieder durch z. T. erhebliche Niederschlagsereignisse entspannte. Insgesamt war die Wasserversorgung deshalb auch für diesen Bereich bis Mitte Juli 1999 außergewöhnlich günstig.

Ab der 2. Julihälfte 1999 verschärfte sich die Trockenheit auf den Sandstandorten des Tieflandes erheblich. Diesen Stress konnten auch Niederschläge in der ersten Augusthälfte nicht nachhaltig beenden, sodass sich der Bodenwassermangel auf den Sandstandorten im August nochmals verschärfte.

Um eine bessere regionale Untersetzung der Bodenfeuchtedynamiken in sächsischen Wäldern darstellen zu können, werden in *Abb. 46* zwei weitere Standorte (Lausitz/Westerzgebirge) hinzugezogen.

Vom Niveau eines relativ ausgeglichenen Bodenwasserhaushaltes bis Ende Juni/Anfang Juli verschärfte sich die Situation ab Mitte Juli insbesondere für die Sandstandorte des Tieflandesbereiches extrem. Nach Niederschlägen Ende Juli/Anfang August blieb der August nahezu niederschlagsfrei und es kam dort zu sich immer weiter aufbauendem Bodenwasserstress. Die bis August aufgelaufenen Niederschlagsdefizite führten auch zu einer Austrocknung des Unterbodens (bis ca. 1 m Tiefe).

Allerdings sind die Wasserstresserscheinungen 1999, die im Wesentlichen in der 2. Hälfte der Vegetationsperiode aufgetreten sind, weit weniger problematisch für die Vitalität und das Wachstum von Bäumen als jahreszeitlich früher einsetzender Wasserstress. Dies liegt vor allem in der dann schon zu großen Teilen abgelaufenen Bildung von Reservestoffen und der Ausbildung der Knospenanlagen für das kommende Frühjahr begründet, sodass in diesem Falle nachhaltige Schäden vermutlich ausbleiben werden.

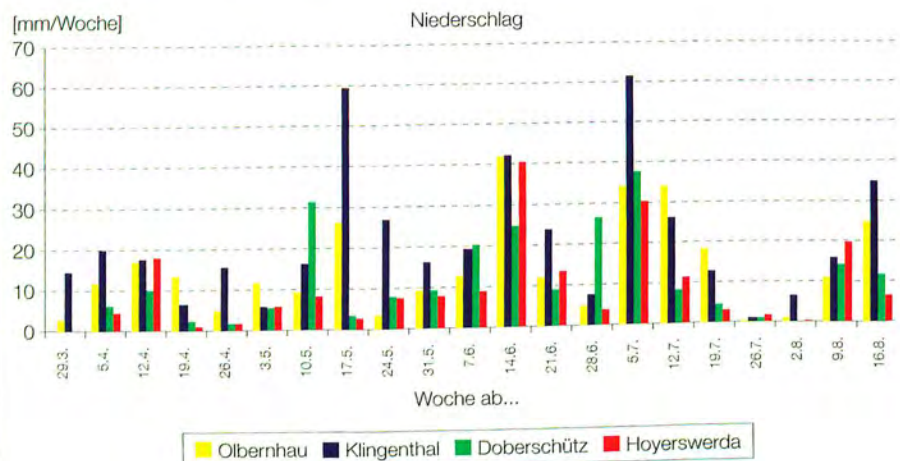
Als Vergleich zum Verlauf der Bodenfeuchtedynamiken sollen die Wochensummen der Niederschläge für die Vegetationsperiode 1999 dargestellt werden. Diese zeigen sehr gut die Unterschiede zwischen den Regionen und im Vergleich mit den Grafiken der Bodenfeuchtedynamiken die Auswirkungen der Niederschlagsverhältnisse auf die Bodenfeuchte (*vgl. Abb. 47*).

Insgesamt traten 1999 bezüglich der Lufttemperaturdynamiken keine gravierenden Besonderheiten auf. Es waren keine Spätfrostschäden an der Vegetation festzustellen. Die Bodenwasserdynamik kann für die erste Hälfte der Vegetationsperiode 1999 durchgängig für alle Standorte als aus-

reichend bis günstig beurteilt werden. Auf den Sandstandorten des Tieflandes kam es von Mitte Juli bis Ende August zu Trockenstress. Da dieser jedoch vergleichsweise spät einsetzte, hatte er vermutlich weniger negative Auswirkungen auf Vitalität und Wachstum der Wälder als die jahreszeitlich wesentlich früher einsetzenden Trockenperioden der vergangenen Jahre.

Die Mittelgebirgsstandorte, die Böden höherer Wasserspeicherkapazität aufweisen (beispielsweise Löss-Substrate), waren über die gesamte Vegetationsperiode ausreichend wasserversorgt – bis auf eine auch hier gebietsweise zu verzeichnende Austrocknung des Unterbodens.

Abb 47: Wochensummen der Niederschläge 1999 für typische Standorte Sachsens; Mittelgebirge: Olbernhau (mittleres Erzgebirge)/Klingenthal (Westerzgebirge), Tiefland (Sand): Doberschütz (Nordwestsachsen)/Hoyerswerda (Lausitz)



Immissionen

Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Energieträger (z. B. Braunkohle und Öl) durch Oxidation des darin enthaltenen Schwefels. Schwefeldioxid schädigt vor allem die Funktion des Spaltöffnungsapparates der Blätter und Nadeln, beeinträchtigt das Feinwurzelwachstum und wirkt als Stoffwechselgift. In der Folge kommt es zu einem gestörten Wasser- und Nährstoffhaushalt der Pflanzen, verminderter Frosthärte sowie erhöhter Anfälligkeit gegenüber Schadinsekten (z. B. Borkenkäfer). Entscheidend für eine SO₂-Schadwirkung ist das Zusammenwirken von Konzentration und Einwirkungsdauer, wobei diese Faktoren wiederum wesentlich von der Höhe der Emission, dem Abstand vom Emittenten und den meteorologischen Rahmenbedingungen (z. B. Windgeschwindigkeit und Windrichtung) abhängen. Da die Verbrennungsprozesse hauptsächlich während der Heizperiode im Winter stattfinden, zeigen die SO₂-Immissionen eine deutliche jahreszeitliche Dynamik. Erhöhte winterliche SO₂-Konzentrationen

führen in Verbindung mit speziellen meteorologischen Bedingungen zum charakteristischen „Wintersmog“.

Die **direkte Schadwirkung** von SO₂ auf Pflanzen ist bereits seit 1850 bekannt, deren Symptome als „**Klassische Rauchschäden**“ beschrieben werden und deren Schadgebiete in Sachsen hauptsächlich die Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges sind. In diesen Regionen führten SO₂-Immissionen zum Absterben ganzer Waldbestände. Während noch in den 80er-Jahren häufig SO₂-Jahresmittelkonzentrationen im Bereich von 80 µg/m³ gemessen wurden, haben seit 1992 die SO₂-Konzentrationen der Luft kontinuierlich abgenommen. Im Jahre 1998 wurde erstmalig nach einer Jahrzehnte währenden Phase teilweise extremer SO₂-Belastung der von der UN/ECE zum Schutz empfindlicher Ökosysteme festgelegte kritische Konzentrationswert von 20 µg/m³ großflächig unterschritten (vgl. Abb. 48).

Trotz dieser vor allem wegen der Rauchgasentschwefelung besonders im

West- und Mittel Erzgebirge deutlichen **Abnahme der SO₂-Konzentrationen** der Luft, können die Belastungen der Waldökosysteme durch aktuelle Schwefel- und Säureeinträge – auch durch die Auswirkungen der sehr umfangreichen Schwefeleinträge aus der Vergangenheit – weiterhin hoch sein.

Ozon (O₃)

Ozon ist ein gasförmiger Stoff, der photochemisch aus Stickoxiden und Sauerstoff bei starker Sonneneinstrahlung entsteht, wobei flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC) diesen Prozess beschleunigen können. Die Vorläufersubstanzen entstammen neben der Industrie vor allem den Hochtemperaturverbrennungen aus Kraftfahrzeug- und Flugverkehr.

Besonders in den bewaldeten Mittelgebirgsregionen können die aus den Ballungszentren über größere Entfernungen angeströmten stickoxidhaltigen Abgase unter dem Einfluss der dort intensiveren UV-Strahlung und den vorherrschenden relativen Reinluftbedingungen sehr effektiv zu Ozon umgesetzt werden. Demgegenüber ist die Rückreaktion des Ozons in diesen Hochlagen gegenüber den Ballungszentren der tiefer gelegenen Zonen verhältnismäßig schwach, sodass **in den betreffenden Wäldern höhere Ozonkonzentrationen als in den Städten** gemessen werden.

In Abhängigkeit von der Strahlungsintensität unterliegt auch Ozon einem typischen Jahresgang mit Maximalwerten in den Sommermonaten (vgl. Abb. 49). Es ist ein wesentlicher Bestandteil des so genannten „Sommersmogs“, in dessen Verlauf es bei

Abb. 48: Jahresmittelwerte SO₂-Konzentration der Luft an ausgewählten Messstationen im sächsischen Mittelgebirgsraum (Datenquelle: LfUG)

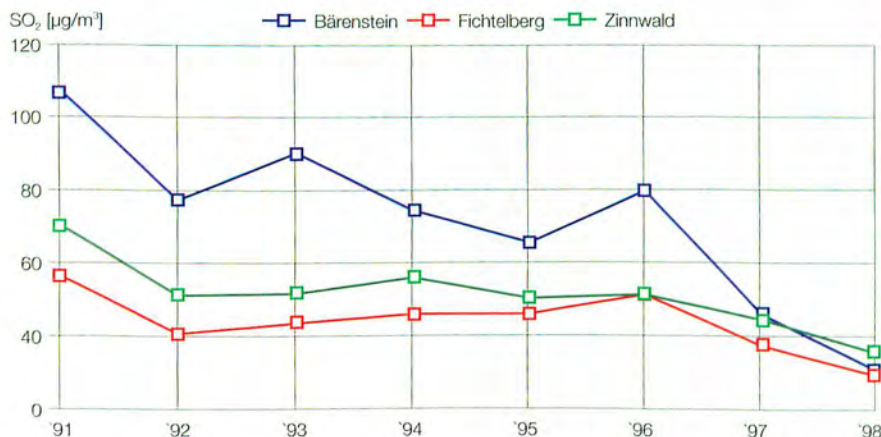
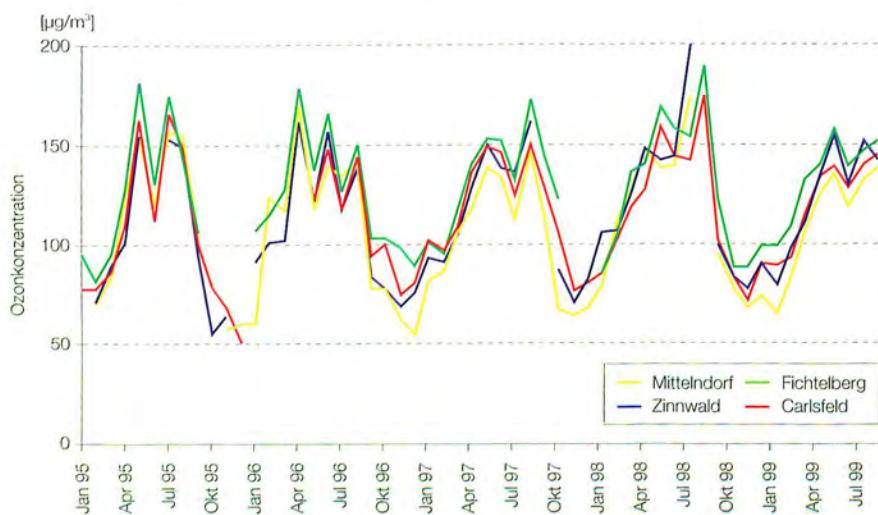


Abb. 49: 98-%-Perzentile der Ozonkonzentration/Monat von Januar 1995 bis August 1999, Mess-Stationen Carlsfeld, Fichtelberg, Zinnwald und Mittelndorf (Datenquelle: LfUG)



Menschen infolge der bei der atmosphärischen Ozonbildung freigesetzten Nebenprodukte bzw. Begleitstoffe zu typischen **Reizungen der Augen, der Schleimhäute** und der tieferen **Atemwege** kommt. Bei sehr hohen Ozonkonzentrationen kann zudem in Belastungssituationen – z. B. bei sportlicher Betätigung – die körperliche Leistungsfähigkeit eingeschränkt sein. Allgemein muss von einer **allergiefördernden Wirkung** des Ozons ausgegangen werden, die in Verbindung mit der Reizwirkung z. B. entzündliche Prozesse im Lungengewebe auslöst. Sowohl bei Bakterien und Pflanzen als auch bei Säugetieren waren ferner **erbutschädigende Wirkungen** nachweisbar.

Bei **Pflanzen** greift Ozon aufgrund seiner oxidativen Wirkung die Struktur des Zellgewebes an. Es 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-Load-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 wird definiert als Summe der Stundenmittelwerte an Ozon von 6 Uhr bis 18 Uhr unter Abzug von jeweils 40 ppb (= 80 µg/m³) im Verlauf des Sommerhalbjahres. Dabei geht man davon aus, dass die Pflanze das Ozon bis zu 40 ppb entgiften kann und erst längerfristig darüberliegende Konzentrationen (> 80 µg/m³) zu Schadreaktionen führen können. Als **Schwellenwert für Waldökosysteme** wird ein akkumulierter Summenwert von 10 000 ppb x h angenommen. Nach Erhebungen des LfUG wurde im

Sommerhalbjahr 1998 dieser Wert z. B. an den Mittelgebirgsstationen Zinnwald (13 335 ppb x h) und Fichtelberg (19 922 ppb x h) **erheblich überschritten**. Es zeigte sich zudem, dass die Häufigkeiten der Überschreitungen an den Langzeitmess-Stellen Radebeul-Wahnsdorf und Fichtelberg seit den 80er-Jahren erheblich zugenommen haben.

Hieraus wird ersichtlich, dass die Gefahr von Ozonschäden in den sächsischen Waldökosystemen nicht unterschätzt bzw. verharmlost werden sollte.

Stickstoff (N)

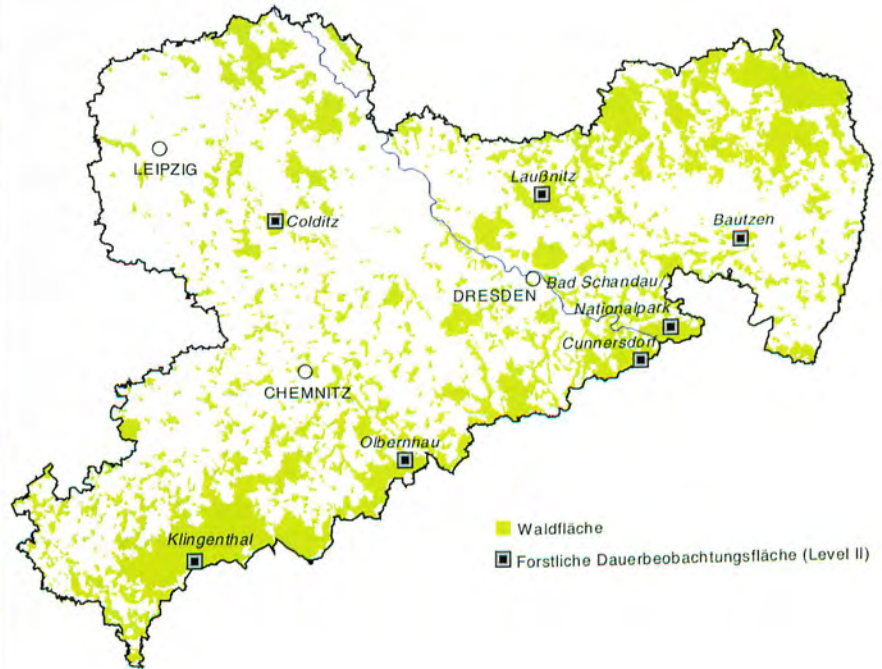
Stickstoff kann in Form von Stickoxiden (NO_x) oder als Ammoniumverbindung (NH_y) als Schadstoff relevant werden. Während die **Stickoxide** fast ausschließlich den **Hochtemperaturverbrennungsvorgängen** der Motoren entstammen und eine wesentliche Vorläufersubstanz der Ozonbildung darstellen (s. o.), sind die **Ammoniumverbindungen** in der Luft zu **etwa 80 %** auf die NH₃-Emissionen **aus dem landwirtschaftlichen Bereich** zurückzuführen (Tierhaltung und Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel). Das durch N-Verbindungen induzierte verstärkte Pflanzenwachstum kann Mangelerscheinungen an anderen wichtigen Pflanzennährstoffen hervorrufen, die direkt oder indirekt (z. B. durch Veränderung der Nahrungsqualität für nadel- und blattfressende Insekten) die Anfälligkeit gegenüber weiteren Stressfaktoren erhöhen.

Stoffeinträge

In den früheren Jahrhunderten waren Waldschäden durch Schadstoffeinflüsse vornehmlich in der Nähe von Industrieanlagen wie z. B. den Hüttenwerken im Erzgebirge zu beobachten, die auf die direkte Einwirkung des bei der Erzverhüttung frei werdenden Schwefeldioxids („Rauchgas“) auf die Baumkronen zurückgeführt werden konnten („Klassische Rauchschäden“). Schon im Jahre 1850 lagen im damaligen Institut für Rauchschadensforschung in Tharandt Ergebnisse über direkte Schäden an Waldbäumen vor. Im Verlauf dieses Jahrhunderts – speziell gegen Ende der 70er-Jahre – traten ähnliche Symptome dieser früher nur lokal begrenzten Waldschäden regional und damit großflächig fernab von Industrieanlagen auf. Als Ursache dieser „Neuartigen Waldschäden“ wurden u. a. die im Zuge des industriellen Aufschwungs umfangreichen Emissionen angesehen, die auch in weit entlegenen Waldbeständen zum kontinuierlichen Eintrag von Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie zum Säureeintrag in die Waldökosysteme führten (Ferntransport von Schadstoffen in Verbindung mit der „Hochschornsteinpolitik“). Davon waren vor allem die den Luftströmungen in besonderem Maße ausgesetzten höheren Lagen der Mittelgebirge betroffen.

Im Rahmen der Umweltkontrolle werden auf mittlerweile **7 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II der EU)** bzw. Stoffbilanzstationen kontinuierliche Analysen der **Stoffeinträge** mit dem Niederschlag (Depositionen) und zur chemischen Zusammensetzung der **Bodenlösung** bzw. des **Bodensickerwassers** durchgeführt. (vgl. Tab. 13) **Meteorologische Größen** (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Luft-

Abb. 50: Verteilung der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II)



temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Bodentemperatur, Niederschlagsverteilung) werden im Freiland und parallel dazu ebenfalls in benachbarten Untersuchungsbeständen des Waldumbau-

programms (Waldklimastationen) erfasst (siehe oben). In unterschiedlichen zeitlichen Abständen erfolgen zudem Erhebungen zur **Waldbodenvegetation** und zum **Kronenzustand**,

Abb. 51: Entnahme von Niederschlagsproben in der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)



zur **Ernährungssituation** der Bäume über Blatt- und Nadelanalysen, zum **Zuwachs** der Waldbestände sowie hinsichtlich des **Bodenzustandes**. Da aus der Messfläche Bad Schandau im Nationalpark Sächsische Schweiz (Beginn des regulären Messbetriebes im November 1998) bisher nur Ergebnisse aus den ersten 6 Monaten vorliegen, bleibt diese Fläche in den folgenden Auswertungen unberücksichtigt.

Zwischen den Stoffeinträgen auf freier Fläche (Freilandniederschlag) und denen unter dem Kronendach am Waldboden (Bestandesniederschlag/ Kronentraufe) bestehen erhebliche Unterschiede. Das **Kronendach wirkt wie ein Filter**. Trockene gas- und staubförmige Luftinhaltsstoffe sowie im Regen oder Nebel gelöste Elemente werden an den Blattorganen zeitweilig angelagert, teilweise aufgenommen (besonders Stickstoff und Schwefeldioxid) bzw. chemisch umgewandelt und mit dem Bestandesniederschlag wieder abgewaschen. Zudem werden speziell Kalium, Kalzium und Magnesium – besonders im Verlauf von Pufferprozessen gegen die Säurebelastung im Kro-

nenraum – unterschiedlich stark aus den Nadeln und Blättern ausgewaschen. **Waldökosysteme sind deshalb im Vergleich zum Freiland deutlich stärker durch Schadstoffe belastet**, wobei es erhebliche Unterschiede zwischen den Baumarten gibt. So kann der Säureeintrag in den sächsischen Fichtenbeständen der mittleren und höheren Berglagen etwa das Drei- bis Fünffache des Freilands betragen. In Laubwäldern sind die Unterschiede aufgrund fehlender Belaubung während der Wintermonate weniger ausgeprägt.

Neben der Belastung und direkten Schädigung der oberirdischen Pflanzenorgane durch Stoffkonzentrationen in bzw. Stoffeinträge aus der Atmosphäre, haben sich insbesondere **durch den jahrzehntelangen kontinuierlichen Säureeintrag die Waldböden verändert** und sind oft in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt. Während unter natürlichen Umweltbedingungen solche Veränderungen des Waldbodenzustandes meist unmerklich langsam verlaufen, werden sie durch die Einträge von Luftverunreinigungen häufig um ein Vielfaches beschleunigt.

Dabei hängt es von dem Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsvermögen der jeweiligen Waldstandorte ab, ob und wann es durch die im Laufe der Zeit angereicherten Fremdstoffe oder durch die kontinuierliche Bodenverarmung bzw. -versauerung zu ernsthaften Störungen des Beziehungsgefüges im Waldökosystem kommt.

Waldböden sind daher in der Regel – auch unter natürlichen Bedingungen – saurer als z. B. regelmäßig bewirtschaftete Ackerböden. Bei pH-Werten des Bodens unter 5,0 und gleichzeitig weniger als 15 % Basensättigung (= Anteil von Ca+K+Mg+Na am gesamten verfügbaren bzw. austauschbaren Elementvorrat des Mineralbodens) steigt die **Gefahr von Säuretoxizität** für die Bodenorganismen infolge der Freisetzung potenziell toxischer Stoffe (Aluminium, Schwermetalle) im Wurzelraum. Selbst bei den relativ säuretoleranten einheimischen Baumarten wie Buche, Eiche, Tanne, Fichte und Kiefer kann es zu **Säurestress** und einer Einschränkung der Nährstoffaufnahme kommen. Die Bäume reagieren mit **Wurzelschäden** oder zeigen Blattverfärbungen, die durch Magnesium-,

Tab. 13: Kurzbeschreibung zu den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen nach Level II-Programm in Sachsen

lfd. Nr. EU-Nr.	Wuchsgebiet Wuchsbezirk-Nr.	Forstamt	Geologie	Höhe [m]	Bestand	Betrieb seit
2001 041401	82 Erzgebirge 8201	Klingenthal	Eibenstocker Granit	840	Fichte	07/1993
2002 041402	82 Erzgebirge 8202	Olbernhau	Grauer Gneis	720	Fichte	10/1994
2003 041403	83 Elbsandstein- gebirge 8302	Cunnersdorf	Quadersandstein mit Lösslehm	440	Fichte	07/1993
2004 041404	84 Oberlausitzer Bergland	Neukirch (ehem. Bautzen)	Lausitzer Granodiorit	440	Fichte	07/1995
2005 041405	68 Dübener-Nieder- lausitzer Bergland 6808	Laußnitz	diluvialer Decksand	170	Kiefer	10/1994
2006 041406	72 Sächs.-Thüring. Löss-Hügelland 7202	Colditz	Lösslehm	185	Eiche	07/1995
2007	83 Elbsandstein- gebirge	Bad Schandau/ Nationalpark Sächs. Schweiz	Basalt und Quadersandstein mit Lösslehm	260	Buche	09/1998

Kalium- und Spurennährstoffmangel bedingt sein können. Wegen des ebenfalls sauren Sickerwassers können auch die Untergrund- und Oberflächengewässer im Wald versauern. Die **Qualität des Rohwassers für die Trinkwassergewinnung** ist entsprechend **gefährdet** und der Aufwand für die Aufbereitung von Trinkwasser nimmt zu.

Hinsichtlich der Waldschadensproblematik der jüngeren Vergangenheit – speziell das erneute Absterben ganzer Bestände im Bereich des Erzgebirges nach dem Winter 1995/96 – kann davon ausgegangen werden, dass hierfür ein differenziertes Zusammentreffen von wechselnder, aber hoher Luftbelastung (Schadstoffkonzentration) und unzureichend nährstoffversorgten, labilen Waldbeständen auf langfristig nährstoffverarmten, versauerten Böden verantwortlich zeichnet.

pH-Werte im Niederschlag

Die Anreicherung von Säuren und Säurebildnern in der Atmosphäre hat in Mitteleuropa seit Beginn der Industrialisierung bis heute zu einer **Absenkung der pH-Werte im Niederschlagswasser** von über 5 auf im Mittel etwa 4,1 geführt. Da SO_2 und NO_x als Vorläufersubstanzen für die Bildung des Sauren Regens einem Ferntransport unterliegen, sind die pH-Werte der Niederschläge auch in größerer Entfernung von den mitteleuropäischen Ballungszentren bis hin nach Skandinavien abgesenkt. Als Referenzwert für unbelastetes kohlenstoffreiches Regenwasser, das sich mit dem CO_2 -Partialdruck der Luft im Gleichgewicht befindet, gilt pH 5,6. Insbesondere im Nebelniederschlag können – wie z. B. im Messfeld Olbernhau während der Winterperiode 1995/96 – extrem niedrige Werte bis $\text{pH} < 3$ gemessen werden (vgl. Abb. 52a

und 52b). Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des logarithmischen Aufbaus der pH-Skala die Abnahme um eine pH-Wert-Stufe mit einer Erhöhung der Säurekonzentration um das Zehnfache verbunden ist. Unter derartigen Bedingungen wird z. B. die Auswaschung („leaching“) von Mineralstoffen (Nährionen) aus den Blättern überproportional verstärkt.

Insgesamt liegen die pH-Werte des Freiland- und insbesondere des Bestandesniederschlages regional differenziert auch gegenwärtig vielfach noch weit unterhalb des Säuregrades natürlicher Regenniederschläge. Sie werden also nach wie vor durch Säurebildner in der Atmosphäre beeinflusst, woran nach

einer groben Schätzung in Mitteleuropa Sulfat einen Anteil von 60 %, Nitrat von 30 % hat. Für die in der Vergangenheit stärker (Klingenthal, Cunnersdorf) bis stark (Olbernhau) belasteten Standorte des Erzgebirges bzw. des Umlandes wird inzwischen ein abnehmender Säuregrad der Niederschläge erkennbar. Damit liegt ein Hinweis auf insgesamt abnehmende SO_2 - und NO_x -Gehalte der Atmosphäre vor.

Elementeinträge

Im Messzeitraum 1998 wurde in sämtlichen Messflächen das bereits erheblich verminderte Eintragsniveau der

Abb. 52a, b: Entwicklung der monatlichen pH-Werte im Freiland- und Bestandesniederschlag der 6 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen

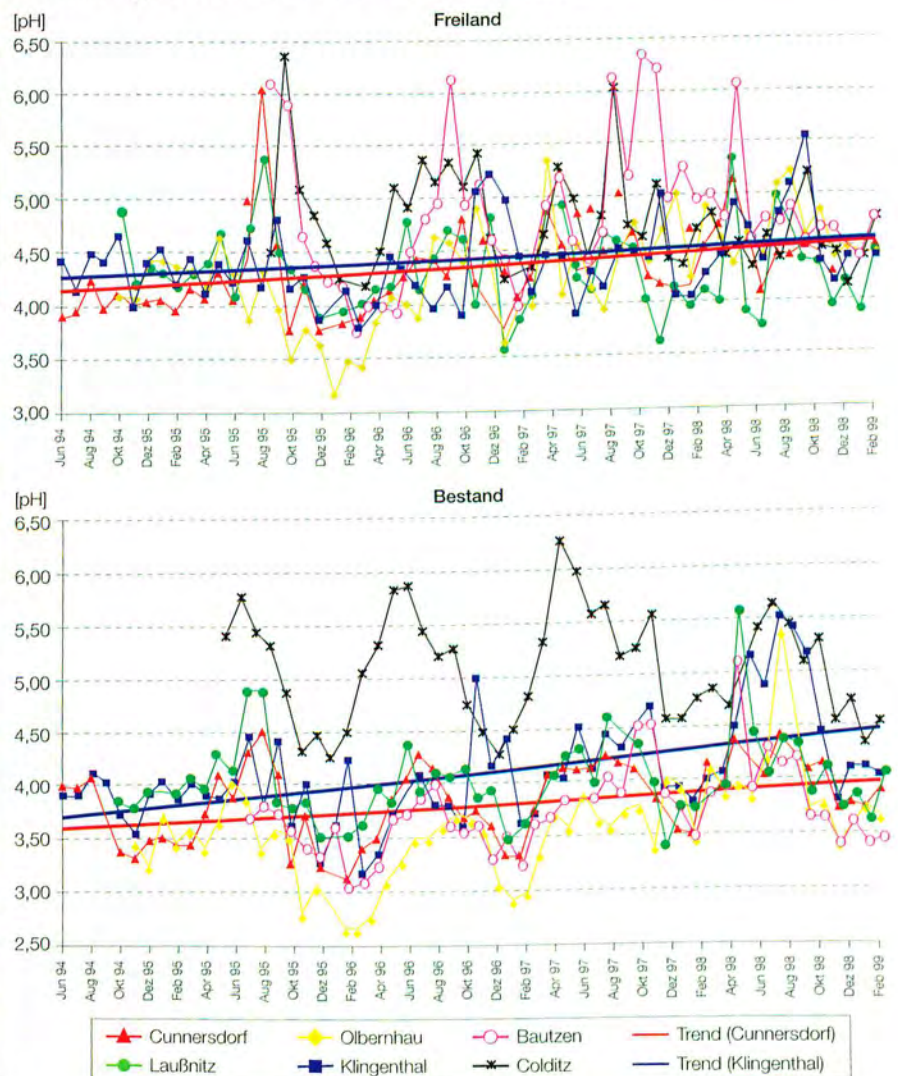


Abb. 53: Entwicklung der jährlichen Schwefeleinträge (SO_2 -S) mit dem Freiland- und Bestandesniederschlag in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (hydrologische Jahre 1994 bis 1998)

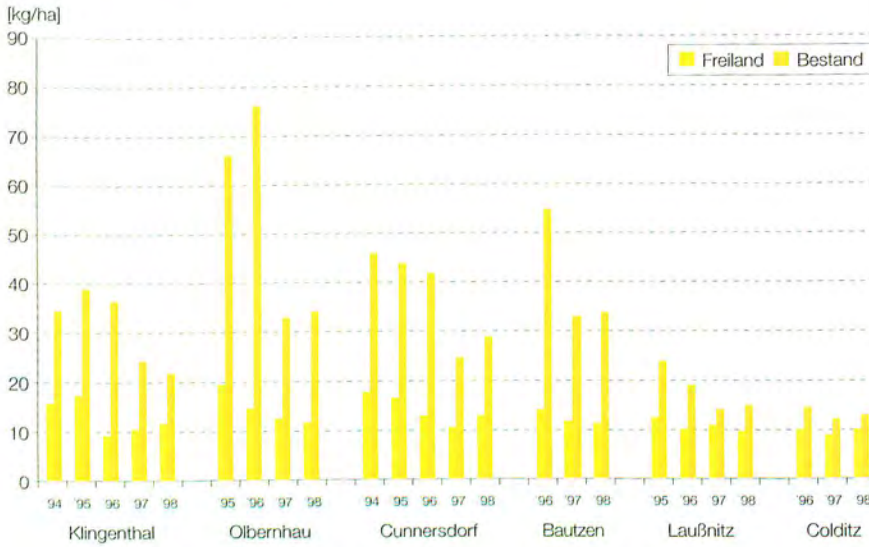


Abb. 54: Entwicklung der jährlichen Stickstoffeinträge (NH_4 -N+ NO_3 -N) mit dem Bestandesniederschlag in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (hydrologische Jahre 1994 bis 1998)

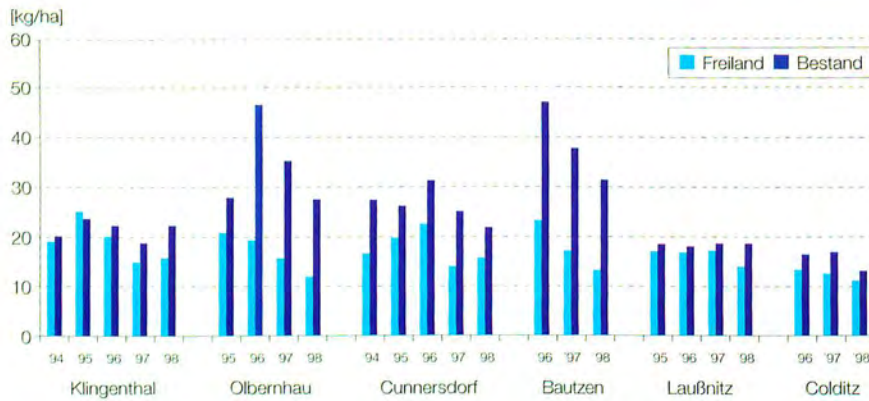
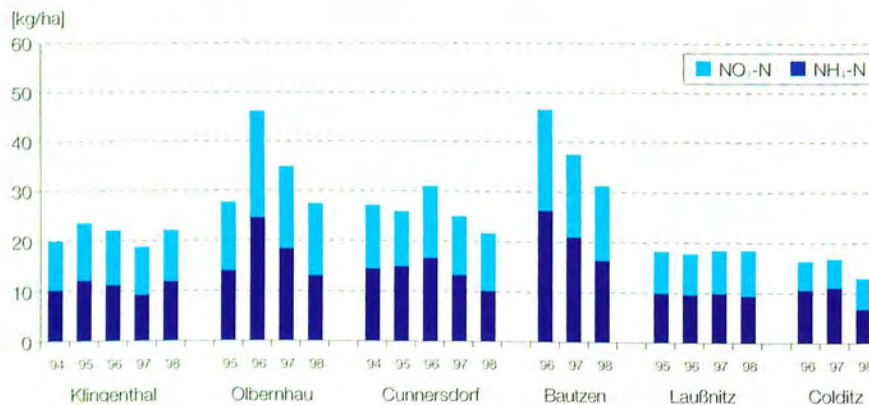


Abb. 55: Entwicklung der jährlichen Stickstoffeinträge NH_4 -N- und NO_3 -N-Einträge mit dem Bestandesniederschlag in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (hydrologische Jahre 1994 bis 1998)



Schwefeleinträge des Vorjahres beibehalten (vgl. Abb. 53, 54, 55). Die Werte sind aber mit etwa 22 kg/ha (Klingenthal) bis ca. 29 und 33 kg/ha (Cunnersdorf bzw. Olbernhau und Bautzen) noch zu hoch und nur die Schwefelbelastung der Standorte Laußnitz und Colditz liegt auf einem ökologisch langfristig verträglichen Niveau (vgl. S. 49ff).

Die jährlichen **Stickstoffeinträge** mit dem Bestandesniederschlag überschreiten wie in der Vergangenheit teilweise erheblich den allgemein für Waldökosysteme als kritisch anerkannten Schwellenwert von etwa 10–20 kg pro Hektar (vgl. Abb. 54). Jedoch ist bei den bisher sehr hoch stickstoffbelasteten Fichtenstandorten Olbernhau und Bautzen ein kräftiger Rückgang von jeweils etwa 47 kg/ha auf nunmehr 30 kg/ha festzustellen. Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, dass erhebliche Stickstoffmengen im Kronenraum von den Nadeln und Blättern aufgenommen werden können, sodass der tatsächliche N-Eintrag in Waldbeständen meistens beträchtlich höher anzusetzen ist. Diese Tatsache wird bei der Berechnung der kritischen Belastungswerte (Critical Loads) durch die Kalkulation von elementspezifischen Kronenraumbilanzen berücksichtigt.

Die Aufnahme von Ammonium aus der Luft kann zu schweren Wachstumsstörungen führen und bei der Wurzelaufnahme zusätzliche Versauerungsprozesse im Boden induzieren. Diese Gefahr besteht besonders in Nadelwaldökosystemen vor dem allgemeinen Hintergrund, dass Ammonium-Stickstoff (NH_4 -N) gegenüber Nitrat-Stickstoff (NO_3 -N) die Stickstoffeinträge beherrscht (vgl. Abb. 55) und Ammonium bevorzugt von Nadelbäumen aufgenommen wird. Übermäßige Stickstoffeinträge fördern zudem das Sprosswachstum gegenüber dem Wurzelwachstum, sodass ein erhöhter Zuwachs mit einer erhöhten Dispositi-

tion gegenüber verschiedenen abiotischen und biotischen Schadfaktoren einhergehen kann und nicht unbedingt auf eine höhere ökologische Stabilität

der Waldbestände schließen lässt. Weitere ökologische Auswirkungen übermäßiger Stickstoffeinträge sind im Kapitel zu den Critical Loads zusammengefasst.

Chemische Parameter in der Lösungsphase der Waldökosysteme

Anhand der Diagramme zur **Ionenzusammensetzung in der Lösungsphase** der einzelnen Ökosystemebenen der Fichtenbestände der Messflächen Bautzen und Olbernhau – vom **Niederschlag** über die **Bodenlösung** bis in die **Waldquelle** (Olbernhau) – wird im Folgenden auf der Grundlage des Prinzips der Elektroneutralität in Lösungen deutlich, in welchem Maße die Schwefel- aber auch Nitratgehalte die Kationenzusammensetzung der Lösungsphase von Waldökosystemen bestimmen (vgl. Abb. 56).

Zunächst belegt die Gegenüberstellung der Freiland- und Bestandeswerte am Beispiel der Messfläche Bautzen die starke Konzentrationszunahme der einzelnen Elemente im Bestandesniederschlag aufgrund der Filterwirkung und des Transpirationseffektes der Fichtenkronen. Zusammen mit **chemischen**

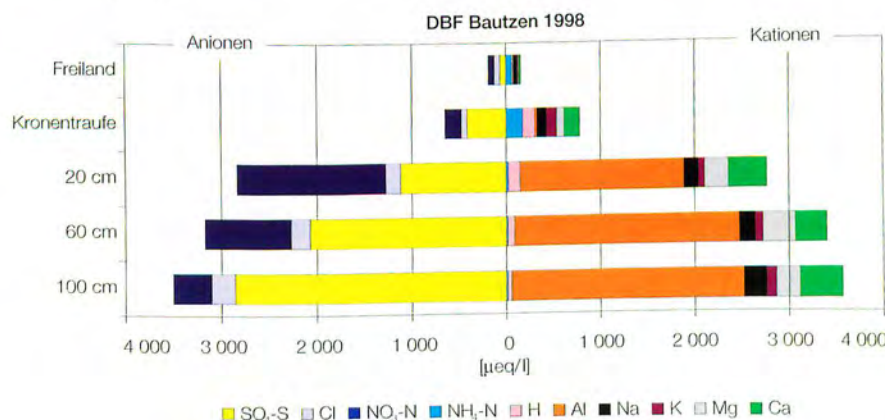
Wechselwirkungen im Kronenraum – z. B. Pufferreaktionen an den Nadeloberflächen – führt dies zu elementspezifischen Kationen- und Anionenreicherungen. Auffällig ist außerdem, dass bereits im Oberboden (20 cm Tiefe) keine Ammoniumgehalte in der Bodenlösung mehr feststellbar sind. Der Ammonium-Eintrag wurde entweder vom Bestand aufgenommen oder im Oberboden in Nitrat umgewandelt (Nitrifikation).

Im Boden erklärt sich der Konzentrationsanstieg bzw. die tiefenstufenmäßige Verschiebung der Ionenzusammensetzung einerseits aus einem Aufkonzentrierungs- und Eindickungseffekt der Lösung infolge des Wasserentzuges durch die Waldvegetation, andererseits aber aus den unterschiedlichen pH-abhängigen Pufferreaktionen im Zuge der weiteren Versickerung. Deut-

lich zeichnen sich die Reaktionen im Aluminium-Puffersystem ab. Mit fortschreitender Bodentiefe wird die starke Säure (H^+) durch Kationenaustauschvorgänge gegen Aluminium der Bodenfestphase ausgetauscht und somit in eine schwächere Säure umgewandelt. Gleichzeitig ist aber ein erheblicher Anteil der sehr hohen Schwefel- und Al-Konzentrationen auf die Mobilisierung bzw. Auflösung der Al-Sulfat-Salzphase als einer Speicherform vor-maliger Säureinträge zurückzuführen.

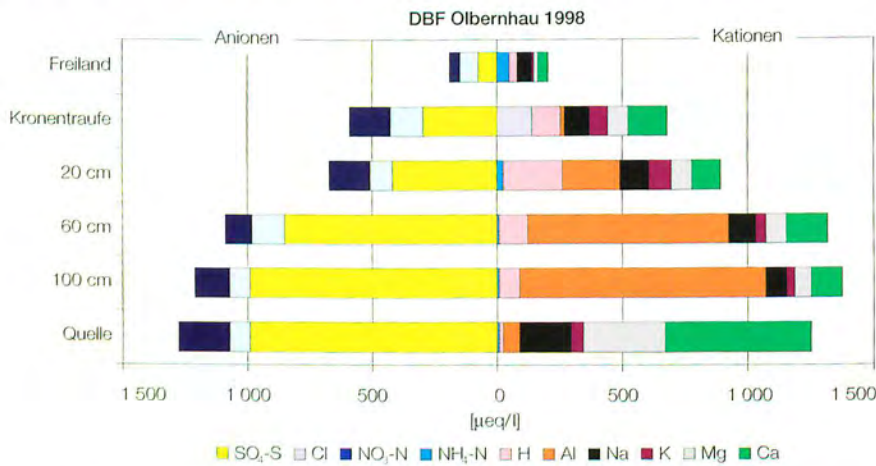
Es lässt sich ferner die erhebliche Bedeutung der Stickstoffkomponenten im Ökosystem erkennen. Während einerseits entsprechend den hohen Konzentrationen übermäßig Ammonium- und Nitratstickstoff mit den Niederschlägen in den Fichtenaltbestand eingetragen wird, werden andererseits umfangreiche Nitratmengen im Boden freigesetzt, mit dem Sickerwasser verlagert und ausgetragen. So betrug die im Zuge der Aufnahme-, Umwandlungs-, Freisetzungs- und Verlagerungsprozesse von Stickstoff induzierte Säurebelastung im Messfeld Bautzen zwischen 1996 und 1997 jährlich etwa 3 kmol H^+ /ha. Diese hohe Rate übertraf damit den Anteil des Schwefels an der Gesamtsäurebelastung (vgl. S. 47 ff).

Abb. 56: Mittlere jährliche Ionenzusammensetzung der bedeutendsten Anionen und Kationen in der Lösungsphase der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche (DBF) Bautzen im Jahr 1998: Freiland; Kronentraufe/Bestand; Bodenlösung in 20, 60 und 100 cm Tiefe



Ähnliche Verhältnisse, insgesamt aber auf einem geringeren Konzentrationsniveau, zeigt das Fichtenwaldökosystem in Olbernhau (mittleres Erzge-

Abb. 57: Mittlere jährliche Ionenzusammensetzung der bedeutendsten Anionen und Kationen in der Lösungsphase der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche (DBF) Olbernhau im Jahr 1998: FN = Freiland; KR = Kronentraufe/Bestand; Bodenlösung in 20, 60 und 100 cm Tiefe; Quelle = Waldquelle unterhalb der Messfläche



birge). Auch dort gelangen weiterhin umfangreiche Mengen ungepufferter Säure (H^+) und Aluminium bis in das Quellwasser und über hohe Schwefel- und Nitratgehalte werden erhebliche Mengen an basischen Nährelementen (Ca, Mg, K) ausgetragen (vgl. Abb. 57).

Insgesamt lassen die bis 1993 zurückreichenden Stoffbilanzuntersuchungen an den Stationen Cunnersdorf und Klingenthal jedoch einen allmählichen Rückgang der Sulfat-Konzentrationen in der Bodenlösung (vgl. Abb. 58 und 59) und auch im Quellwasser erkennen.

Dies belegt einerseits den bereits genannten Rückgang der Schwefeleinträge mit den Niederschlägen. Andererseits scheint in den beprobten Tiefenstufen der Prozess der Mobilisierung ehemals gespeicherter Säurevorräte (Auflösung der Al-Sulfat-Salzphase) und deren Verlagerung in tiefere Bodenschichten abzuklingen.

Abb. 58: Entwicklung der Schwefelgehalte in der Bodenlösung der Tiefenstufen 20 und 60 cm in der Messfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)

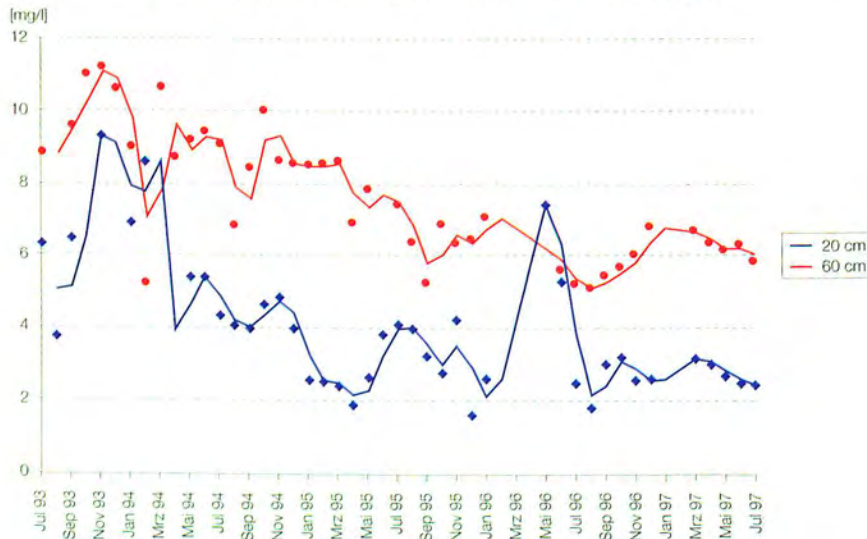
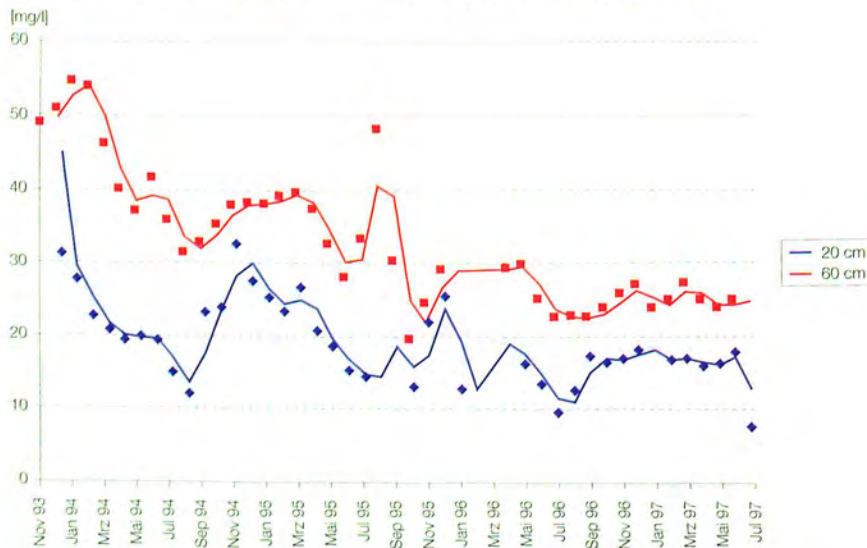


Abb. 59: Entwicklung der Schwefelgehalte in der Bodenlösung der Tiefenstufen 20 und 60 cm in der Messfläche Cunnersdorf (Elbsandsteingebirge)



Waldböden

Spätestens seit dem Übergang von der Nutzung der Wälder als Waldweide für Rinder, Schweine und andere Nutztiere hin zur Stallfütterung hat der Mensch in hohem Maße auf die Beschaffenheit der Waldböden eingewirkt. Im Verlauf der intensiven Nutzung von Nadeln und Blättern der Waldbäume als Streu und letztlich als Dünger für die Felder kam es zu einem massiven Nährstoffentzug aus dem Waldökosystem und zu einer Veränderung der Böden mit langfristigen Folgen, die teilweise bis heute nachwirken. Ähnliche Auswirkungen hatte die übermäßige Holznutzung z. B. für die Salinen und Bergwerksbetriebe. Erst ab Mitte des 18. Jahrhunderts wurden Grundlagen für eine nachhaltige Waldwirtschaft geschaffen, die auch dem Schutz der Waldböden zugute kam. Waldböden konnten sich wieder mehr oder weniger ungestört von menschlichen Eingriffen entwickeln und waren bzw. sind damit – im Gegensatz zu den regelmäßig bewirtschafteten Ackerböden – relativ naturnah. Im Bodenprofil zeigen sie in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten (z. B. Geologie, Wasserhaushalt, Baumarten, Stoffbelastung) charakteristische Horizontabfolgen. Die Zuordnung zu einem Bodentyp erfolgt jeweils anhand ähnlicher diagnostischer Horizonte und Horizont-Kombinationen (vgl. Abb. 60 und 61).

Die **Belastung der Böden** änderte sich jedoch drastisch mit der großräumigen **Veränderung der chemischen Zusammensetzung in der Atmosphäre** im Zuge einer zunehmenden Industrialisierung. Über die kontinuierlichen Einträge von Luftverunreinigungen kam es besonders in den letzten Jahrzehnten großflächig zu Änderungen sowohl der chemischen, der biologischen wie auch der physikalischen Bodeneigenschaften und damit

Abb. 60: Bodenprofil 67 der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im Forstamt Weißkollm, Revier Burg (Bodentyp: Podsol)



zu einer teilweise nachhaltigen Störung im Ökosystem. **Waldböden** nehmen aber eine **Schlüsselrolle im Ökosystem** ein, indem sie einerseits den Wurzelraum für den Waldbestand und seine Begleitflora darstellen und eine ausgewogene Ernährung sicherzustellen haben, während andererseits der chemische Bodenzustand direkt die Qualität des Sicker- und Quellwassers in Waldgebieten beeinflusst. **Funktionsfähige Waldböden sind daher eine Grundvoraussetzung für vitale Wälder und stabile Waldökosysteme.**

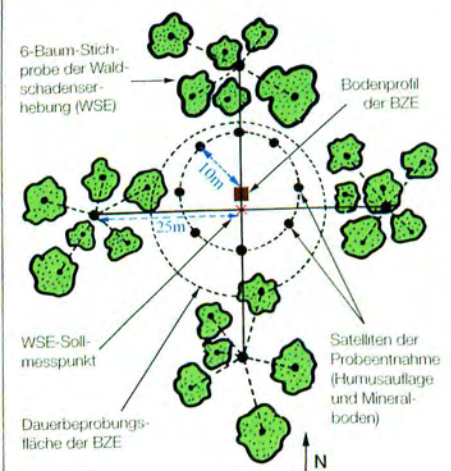
Der Säurezustand der Waldböden ist entscheidend für die Lebensbedingungen der Bodenorganismen und die Verfügbarkeit von Nährstoffen. Er bestimmt die Gefährdung des Auftretens von toxisch wirkenden Aluminium- und Schwermetallkationen in der Bodenlösung. Zwar wird auch unter natürlichen Bedingungen z. B. durch mikrobielle Vorgänge oder bei der Wurzelatmung Säure gebildet. Im Rahmen einer nachhaltigen und standortgemäßen Waldwirtschaft werden jedoch die durch derartige ökosysteminterne Vorgänge induzierten

Abb. 61: Bodenprofil 292 Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im Forstamt Taura, Revier Schildau (Bodentyp: Podsol)



Säurelasten weitgehend durch die Freisetzung von Nährelementen aus der Silikatverwitterung – den so genannten Neutralkationen Kalzium, Magnesium Kalium und Natrium – abgepuffert. Dieser langsame **Prozess einer natürlichen moderaten Versauerung der Waldböden** wird jedoch durch den Eintrag von Säuren aus der Atmosphäre – insbesondere bei Nadelwäldern mit ganzjähriger Belaubung – **unnatürlich beschleunigt und verstärkt.**

Abb. 62: Methodik/Probenahme der Bodenzustandserhebung



Für die Beschreibung des Säurezustandes von Waldböden ist zwar der **pH-Wert** ein wichtiges Maß. Er beschreibt jedoch nur die im Boden vorliegende Säurestärke, nicht die vorhandene Säuremenge und ist deshalb als alleiniges Kriterium nicht ausreichend. Dies bedeutet, dass trotz gleich bleibendem pH-Wert in Abhängigkeit von den jeweiligen Puffermöglichkeiten des Bodens die Bodenversauerung durch Verluste an Basen bzw. Pufferkapazität zunehmen kann. Deshalb müssen zur Diagnose von Versauerungserscheinungen in Böden auch die austauschbar an die Bodenkolloide gebundenen Kationen einbezogen werden. Sie bestimmen in Abhängigkeit vom geologischen Ausgangsmaterial und der Verwitterungsintensität die möglichen Pufferraten.

Die **Basensättigung** charakterisiert die Kationenaustauschverhältnisse der Bodenfestphase. Sie gibt den Anteil der basischen Nährelemente (Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium) an der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität wider, während der Rest von den so genannten Kationensäuren (H, Fe, Al, Mn) eingenommen wird. Die Basensättigung ist ein guter **Weiser** für die Fähigkeit der Böden, **Säuren zu neutralisieren**. Sie kann somit zur Beurteilung der Elastizität von Waldböden gegenüber weiteren Säureinträgen herangezogen werden.

Absinkende pH-Werte weisen darauf hin, dass die Säurebelastung die Pufferrate der Böden übersteigt. Dabei werden nach pH-Bereichen gegliederte Pufferbereiche durchlaufen, die durch jeweils **typische Pufferreaktionen** und damit durch spezifische ökologische Funktionen geprägt sind. Besonders kritisch entwickelt sich die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung unterhalb einem pH von 4,2, wenn zusätzlich zu den Protonen (H⁺) zunehmend

auch die das Pflanzenwachstum und die Lebewesen (z. B. Mikroorganismen) schädigenden Aluminium- und Eisen-Ionen von der Bodenmatrix in die Bodenlösung gelangen und aufgespeicherte Schwermetallvorräte wie z. B. Cadmium und Zink verstärkt mobilisiert werden.

Auf der Grundlage sämtlicher Probestpunkte der **Bodenzustandserhebung im Walde (BZE = Level I)** des 4 x 4-

Abb. 63: Entnahme von Bodenproben mit dem Bohrstock bei der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I)



km-Rasters ergibt sich aus der Zusammenschau der Ergebnisse von Basensättigungsgraden und pH-Werten sowie aus den ermittelten Nährstoffvorräten mittlerweile ein differenzierter Einblick

Abb. 64: Bodenprobe aus dem Bohrstock aus der Tiefe 0–30 cm

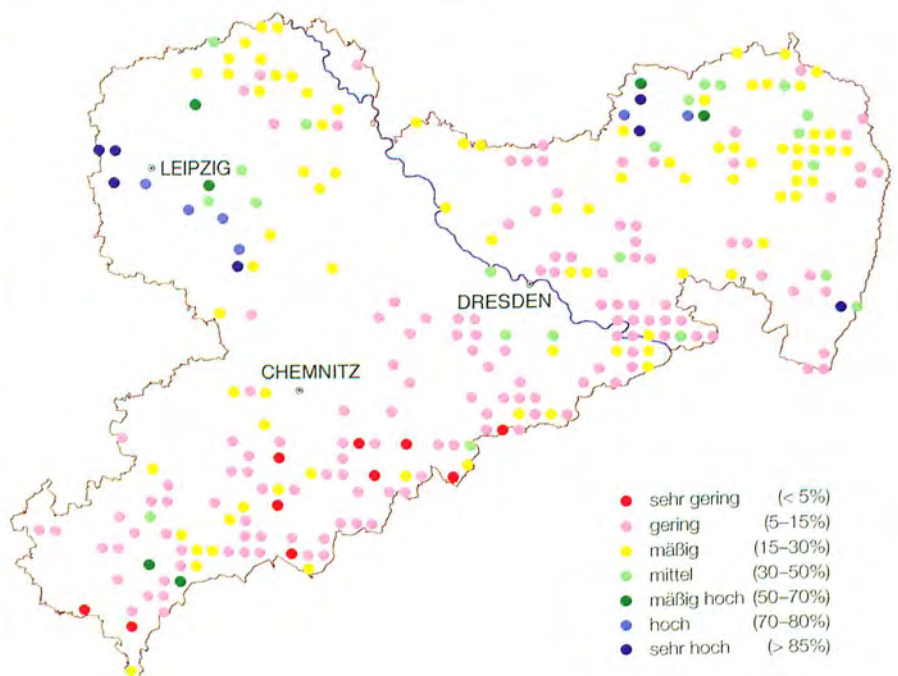


in den Versauerungsstatus der sächsischen Waldböden und deren Elastizität gegenüber weiteren Belastungen.

Basensättigung

Beispielhaft ist in den Abb. 65 bis 67 die Elastizität der Einzelstandorte gegenüber Säuretoxizität in den Tiefenstufen 0–5, 10–30 und 30–60 cm nach der vom Arbeitskreis Standortkartierung

Abb. 65: Basensättigung in der Tiefenstufe 0–5 cm der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im 4 x 4-km-Raster (Erhebung 1992–1997)



veröffentlichten Einteilung dargestellt. Mit diesen Tiefenstufen wird der Hauptwurzelbereich des Mineralbodens erfasst.

Es wird deutlich, dass geringe (5–15 %) und sehr geringe (< 5 %) Basenanteile und damit entsprechend **geringe Elas-**

tizitäten großflächig mit einem ausgeprägten Schwerpunkt im Erzgebirgsbereich von den Hochlagen über die Hügellandstandorte bis in das Tiefland auftreten. Auffällig ist zudem, dass die höheren Sättigungsgrade bzw. Elastizitäten auf den relativ armen Substra-

ten des pleistozänen Flachlandes zu finden sind. Diese Tatsache erklärt sich vorwiegend aus relativ geringen Säurebelastungsraten der Tieflandstandorte sowie deren häufig sekundäre Aufbaue in der Vergangenheit durch basische Staubeinträge aus benachbarten Brikettfabriken und Kohlekraftwerken. Andere Erhebungspunkte im Raum Leipzig und Hoyerswerda sind nährstoffreiche Auenstandorte oder befinden sich vereinzelt auf Kippen des Braunkohletagebaus. Letztere zeigen aufgrund der Durchmischung von unterschiedlichem Bodenmaterial im Zuge der Verkippung des Abraums keinen natürlichen Profilaufbau und die Basensättigung kann ebenfalls sehr hoch sein. Hohe Sättigungsgrade treten zudem auf den basenreichen Standorten aus Basaltverwitterungsmaterial des Zittauer Gebirges auf.

Abb. 66: Basensättigung in der Tiefenstufe 10–30 cm der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im 4 x 4-km-Raster (Erhebung 1992–1997)

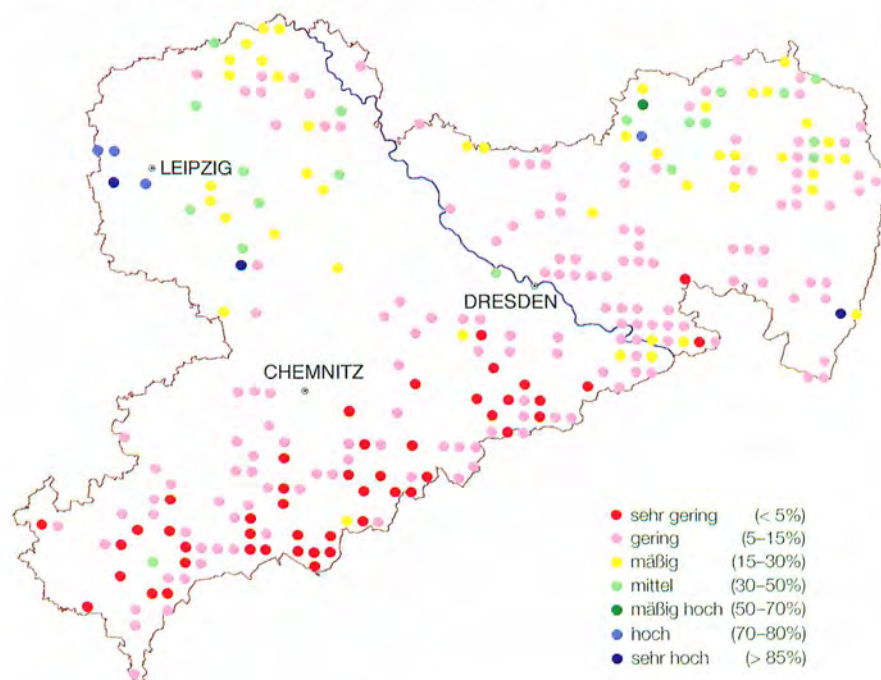
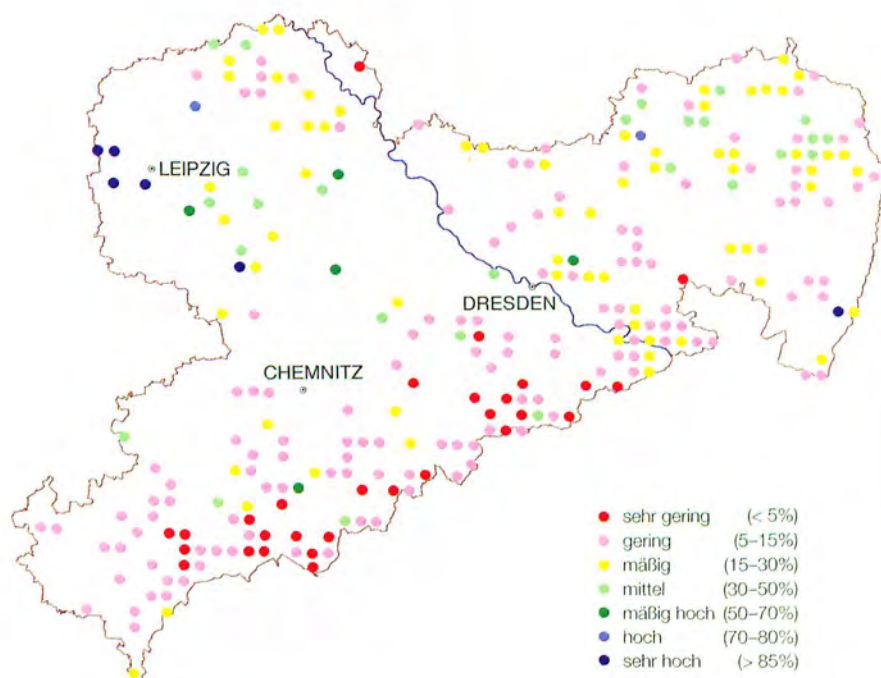
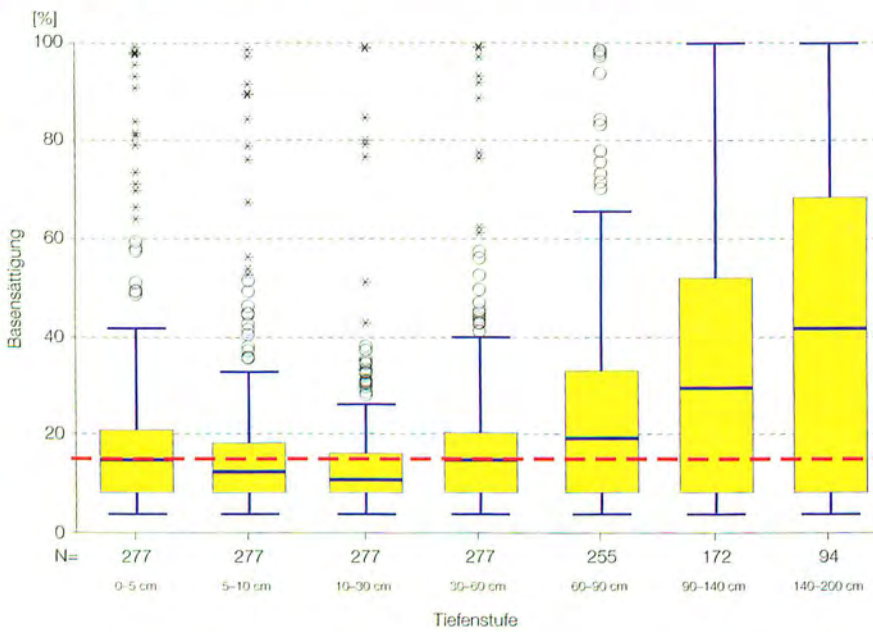


Abb. 67: Basensättigung in der Tiefenstufe 30–60 cm der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im 4 x 4-km-Raster (Erhebung 1992–1997)



Die Abb. 68 verdeutlicht, dass **geringe bis sehr geringe Basensättigungsgrade** in den sächsischen Waldböden **bis in 60 cm Tiefe** dominieren. Erst in größeren Bodentiefen ab 90 cm treten verstärkt auch hohe (> 70 %) und sehr hohe Sättigungsgrade bis zu 100 % auf. Es handelt sich hierbei allerdings überwiegend um tiefgründige Standorte des Tief- und Hügellandes einschließlich der Auenstandorte. Diese umfassen mehrheitlich die häufig sekundär aufgebasten pleistozänen Sandstandorte sowie Bodenprofile mit mehr oder weniger mächtigen Lössauflagen, während die meist mittelgründigen Hochlagenstandorte in diesen Tiefenbereichen nur ausnahmsweise vertreten sind. Damit wird in den meisten sächsischen Standorten erst im Unterboden der kritische Wert von 15 % Basensättigung deutlich überschritten. Die tendenziell höhere Basensättigung des obersten Mineralbodenbereiches bis 10 cm Tiefe gegenüber den direkt darunter anschließenden Bodenhorizonten ist einerseits auf das hohe selektive Bindungsvermögen der organischen Sub-

Abb. 68: Boxplot zur Basensättigung (= Anteil von Ca+K+Mg+Na an der Kationenaustauschkapazität AKe) nach Tiefenstufen der Bodenzustandserhebung im 4 x 4-km-Raster; die Box umfasst jeweils 50 % der Werte; der Balken entspricht dem Median; * und o sind Ausreißer und Extremwerte; die gestrichelte rote Linie verdeutlicht den kritischen Wert von 15 % Basensättigung)



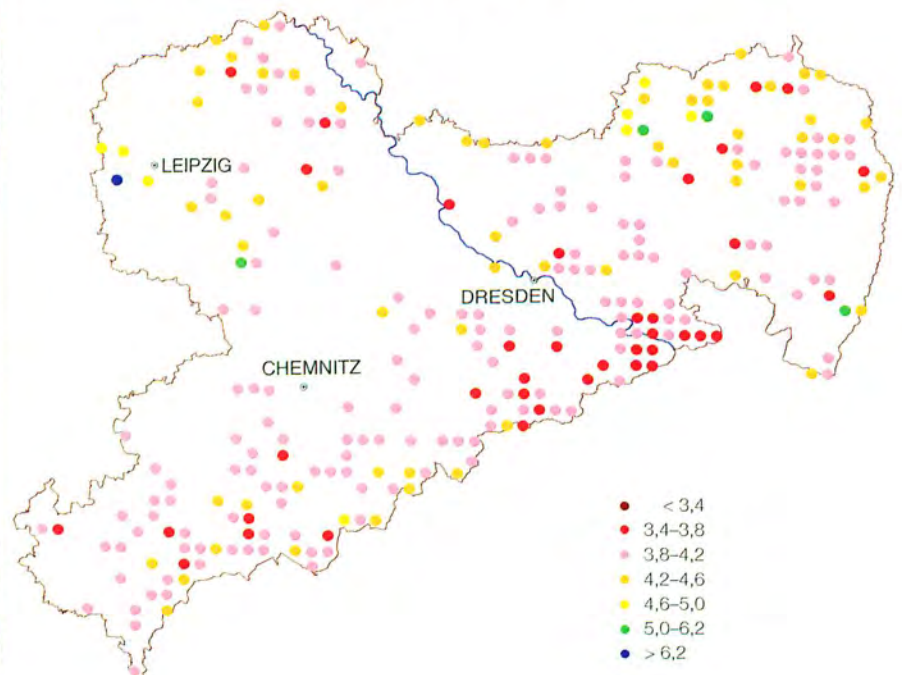
stanz für Kalzium-Ionen zurückzuführen, während andererseits Kalkungseffekte eine Rolle spielen können.

pH-Werte

In der Abb. 69 sind als Ausdruck des zum Zeitpunkt der Probenahme aktuell im Hauptwurzelbereich der BZE-Probleflächen herrschenden Aciditätsgrades die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte der Tiefenstufe 10–30 cm dargestellt. Diese in einer reinen Bodenwasser-Suspension ermittelten Werte sind das Resultat mehrerer Einflussgrößen. Auf der einen Seite ist es die gegebene Säurebelastung, die sowohl aus biologischen Prozessen wie z. B. der Nitrifizierung von organischer Substanz als auch aus den Säureeinträgen mit den Niederschlägen herrühren kann. Andererseits entscheidet insbesondere die Basensättigung in Verbindung mit der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität (AKe) über die Elastizität und Möglichkeit des Standortes, diese Säure-

belastung ohne negative ökologische Konsequenzen abzupuffern. Dies bedeutet zudem, dass die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte i. d. R. wenig stabil sind und stärker saisonalen Schwankungen unterliegen.

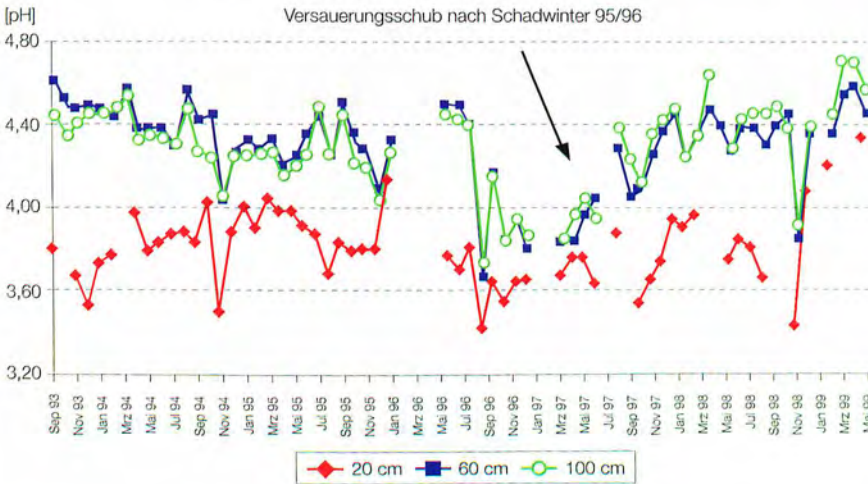
Abb. 69: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ in der Tiefenstufe 10–30 cm der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im 4 x 4-km-Raster (Erhebung 1992–1997)



Die Darstellung unterstreicht die überwiegend geringe Elastizität der sächsischen Waldböden gegenüber Säuretoxizität, indem sich bevorzugt eine Zuordnung zu den chemischen Reaktionen des Aluminium-Pufferbereiches zwischen pH 3,8 und 4,2 widerspiegelt. Unter diesen Bedingungen werden die im Verlauf des Versauerungsprozesses und speziell im Austauschpufferbereich (pH: 5,0 bis 4,2) auf der Oberfläche der Bodenkolloide angelagerten Al-Hydroxide (der Austauscher kann bis etwa 95 % mit Al belegt sein) verstärkt in die Pufferprozesse einbezogen und Al^{3+} -Ionen in die Bodenlösung überführt. Sie erreichen dort Konzentrationen, die auch für die heimischen, relativ säuretoleranten Baumarten giftig sein können.

Auffällig sind die zum Zeitpunkt der Probenahme oft sehr niedrigen Werte im Bereich der Sächsischen Schweiz bis hinüber zum östlichen Rand des Erzgebirges, was auf eine hohe Säurebelastung zum Probenahmetermin zurückgeführt werden kann. Diese Standorte der Forstdirektion Bautzen wurden im Verlauf des Sommers 1996

Abb. 70: Entwicklung der pH-Werte in der Bodenlösung der Forstlichen Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal (westliches Erzgebirge)

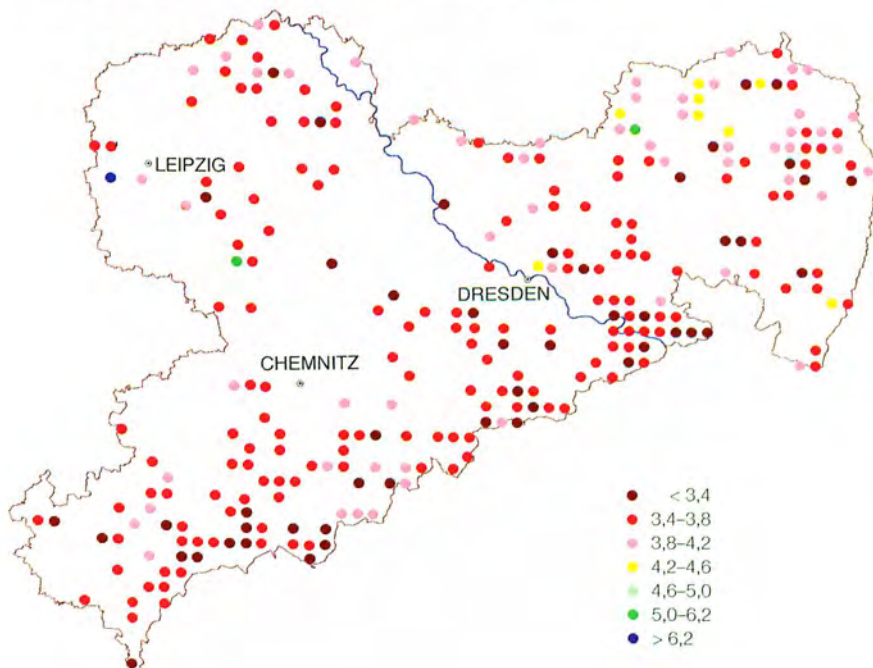


beprobte, also in einem Zeitraum, als für die südlichen Landesteile im Anschluss an die erneut sehr hohen Schadstoff- und Säureinträge des vorangegangenen Winters und Frühjahrs von einem ausgeprägten Versauerungsdruck in den betreffenden Waldböden auszugehen ist. Dabei ist ein ähnlicher Verlauf eines Versauerungsschubes anzunehmen, wie er z. B. im Messfeld Klingenthal (vgl. Abb. 70) registriert wurde (vgl. S. 35 ff.). Die Werte der Bodenzu-

standserhebung in der Forstdirektion Chemnitz aus dem Jahr 1997 fallen entsprechend der in diesem Zeitraum deutlich geringeren Belastung – besonders auch im Erzgebirgsbereich – moderater aus.

Es ist davon auszugehen, dass an den genannten Standorten im Zuge dieses Versauerungsschubes vielfach sogar die maximal mögliche Säurestärke erreicht wurde. Das zeigt der Vergleich

Abb. 71: pH(KCl) in der Tiefenstufe 10–30 cm der Bodenzustandserhebung (BZE = Level I) im 4 x 4-km-Raster (Erhebung 1992–1997)



der pH(H₂O)-Werte (vgl. Abb. 69) mit der Grafik zu den pH(KCl)-Werten in Abb. 71. Die unter Zugabe von Kaliumchlorid (KCl) bestimmten pH-Werte erfassen auch einen Teil der an den Austauscheroberflächen festgelegten Protonen sowie Kationsäuren und erlauben somit einen Blick in extreme Versauerungsereignisse der Vergangenheit, die zur Festlegung dieser Kationen an der Bodenmatrix führten. Unter ungünstigen örtlichen Rahmenbedingungen können folglich – wie in diesem Fall geschehen – ähnliche chemische Bedingungen erneut auftreten und flächenweise zum pH-Einbruch bis in den Aluminium-Eisen-Pufferbereich (pH: 3,8 bis 3,2) führen, in dem es zu Säurestress und Wachstumsstörungen kommen kann. Die Grafik lässt zudem erkennen, dass dies für die meisten Waldstandorte in Sachsen zutrifft. Dies gilt auch für viele Standorte des Flachlandes mit relativ günstigen Basensättigungsgraden, deren Böden jedoch von Natur aus nur sehr geringe Kationenaustauschkapazitäten aufweisen.

Nährstoffvorräte

Aus dem Verlust der leicht verfügbaren und der mittelfristig mobilisierbaren Nährelementvorräte des Bodens resultiert langfristig die Gefahr einer gestörten Nährstoffversorgung der Waldökosysteme. Ein Vergleich dieser Nährelementvorräte der Böden mit den in der Biomasse von Waldbeständen gebundenen Elementvorräten ermöglicht die **Abschätzung der aktuellen bis mittelfristigen Nährstoffversorgung der Waldbestände**. So werden als durchschnittlicher Kalium- und Kalziumvorrat allein für die Biomasse von Baumhölzern bereits etwa 400 kg/ha angegeben. Der Richtwert von Magnesium liegt bei 100 kg/ha (Rahmenwerte des Arbeitskreises Standortkartierung). Eichen-Hainbuchenwälder können aber z. B. wesentlich höhere Ca-Vorräte von

Abb. 72: Boxplot zu den Kalzium-, Kalium- und Magnesiumvorräten im Wurzelraum (= organische Auflage + Mineralboden bis 60 cm Tiefe) der Bodenzustanderhebung (BZE) im 8 x 8-km-Raster (n = 68; die Box umfasst jeweils 50 % der Werte; der Balken entspricht dem Median; * und o sind Ausreißer und Extremwerte)

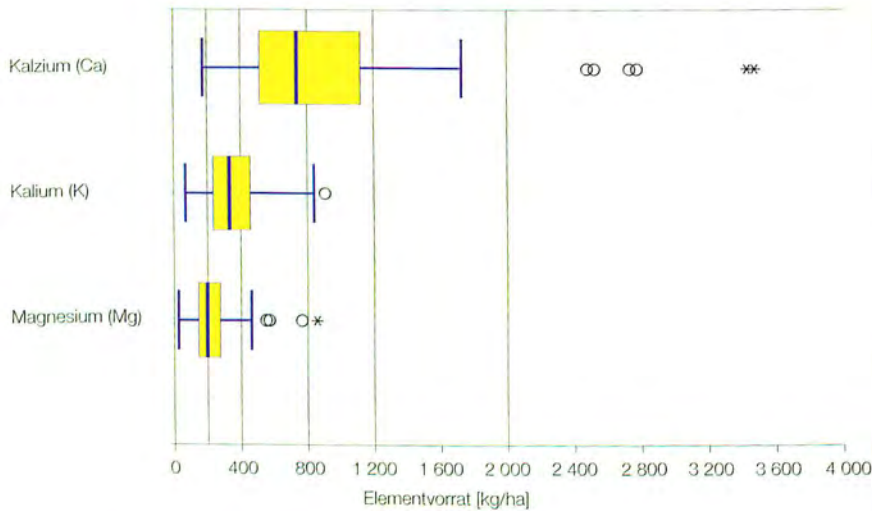
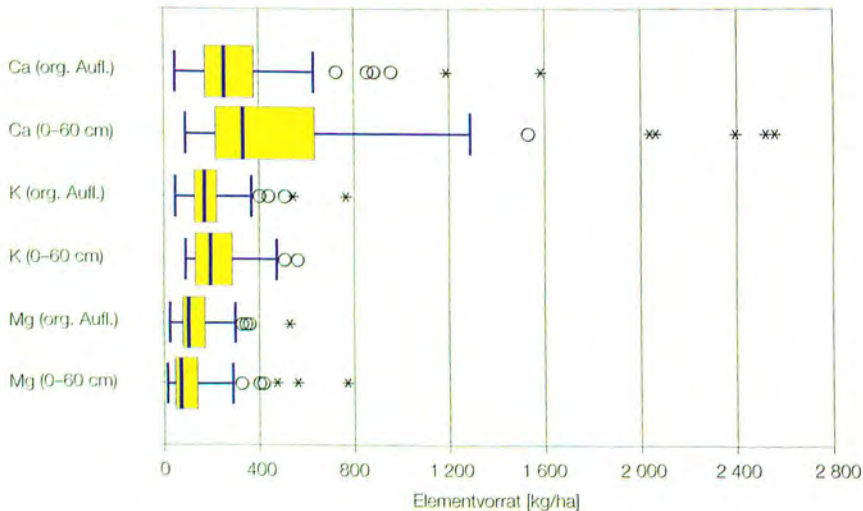


Abb. 73: Boxplot zu den Kalzium-, Kalium- und Magnesiumvorräten in der organischen Auflage (org. Aufl.) und im Mineralboden bis 60 cm Tiefe (0–60 cm) der Bodenzustands-erhebung (BZE) im 8 x 8-km-Raster (n = 68; die Box umfasst jeweils 50 % der Werte; der Balken entspricht dem Median; * und o sind Ausreißer und Extremwerte)



> 2 000 kg/ha aufweisen. Demgegenüber lassen sich in geringwüchsigen Kiefernbeständen oft nur etwa 210 kg/ha Kalzium und etwa 40 kg/ha Magnesium in der Biomasse der Bäume bestimmen.

Eine Einschätzung der Nährstoffvorräte im Wurzelraum (vgl. Abb. 72) – definiert als die Summe der Vorräte der organischen Auflage und des Mineralbodens bis in 60 cm Tiefe – ergibt auf der Grund-

lage der 68 Standorte des 8 x 8-km-Rasters folgendes Bild: Die Kalziumvorräte sind mit überwiegend etwa 500 bis 1 100 kg/ha mäßig (400–800 kg/ha) bis mittel (800–2 000 kg/ha). Die gleiche Einstufung gilt für die Magnesiumvorratswerte, die mehrheitlich zwischen etwa 150 und 350 kg/ha liegen (mäßig: 100–200 kg/ha; mittel: 200–500 kg/ha), während die Kaliumvorräte mit etwa 200 bis 550 kg/ha nur gering (200–400 kg/ha) bis mäßig

(400–600 kg/ha) zu bewerten sind. Einschränkung ist anzumerken, dass **erhebliche Elementmengen** in überwiegend **ungünstigen Humusformen** (vgl. Waldschadensbericht 1995) bzw. teilweise mächtigen Humusaufgaben eingebunden sind und vielfach diejenigen der Mineralböden überschreiten. Von dieser **Umverteilung der Nährstoffvorräte** ist Magnesium offensichtlich bevorzugt betroffen (vgl. Abb. 73). Dies kann z. B. ungünstige Auswirkungen auf die Mg-Ernährung der Bestände haben und wird häufig durch die bekannten **Mangelsymptome** (Nadelvergilbungen) dokumentiert.

Schwermetalle Blei und Kupfer in der organischen Auflage

Waldökosysteme besitzen aufgrund ihrer hohen Oberflächenrauigkeit ebenfalls eine bedeutende Filterfunktion für schwermetallhaltige Stäube. Folglich werden die in unterschiedlichem Umfang geogen bedingten Schwermetallgehalte der Böden durch die atmosphärischen Schwermetalleinträge erheblich gesteigert. Da einige Schwermetalle (Chrom, Blei, Kupfer) dazu neigen, metallorganische Komplexe zu bilden, spiegelt sich die **Schwermetallbelastung** vor allem in den organischen Auflagen wider. Ein Gefährdungspotenzial durch akkumulierte Schwermetalle in den Waldböden besteht hauptsächlich für die Bodenorganismen und die Pflanzenwurzeln. Vor allem für die Zersetzerorganismen können über die einfache Säurebelastung hinaus zusätzliche toxische Wirkungen auftreten, wodurch sich die Streuabbauprozesse nochmals verzögern und Nährstoffmangelsituationen verschärft werden. In Abhängigkeit von der standörtlichen Gesamtsituation wächst mit zunehmender Belastung der Oberböden die **Gefahr eines Übertritts von Schwermetallen in das Oberflächen- bzw. Grundwasser**.

Abb. 74: Bleigehalte (mg/kg Trockensubstanz) in der Oh-Lage der organischen Auflage der Bodenzustandserhebung (BZE= Level I) im 4 x 4-km-Raster (Untergliederung der Werte nach den Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %)

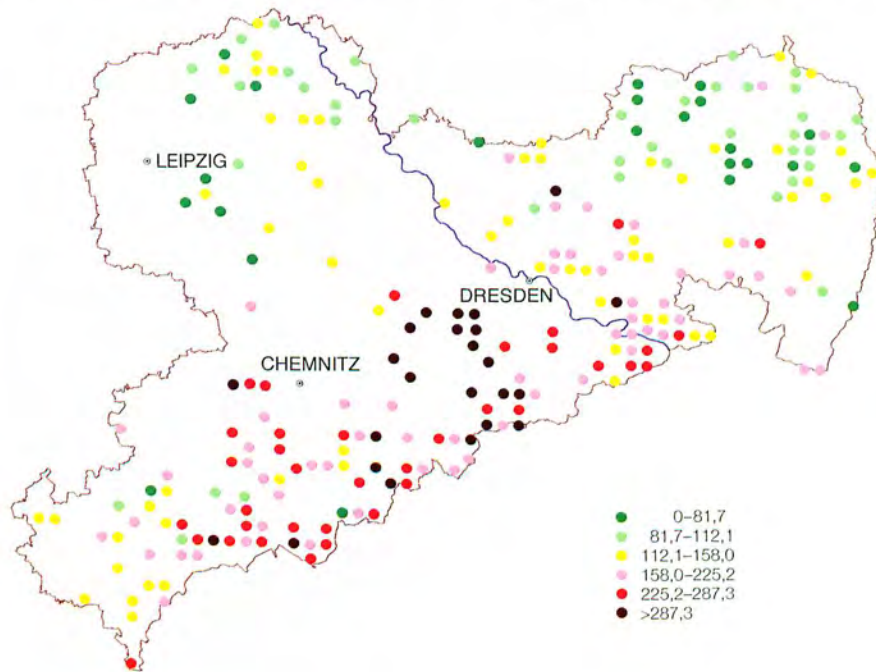
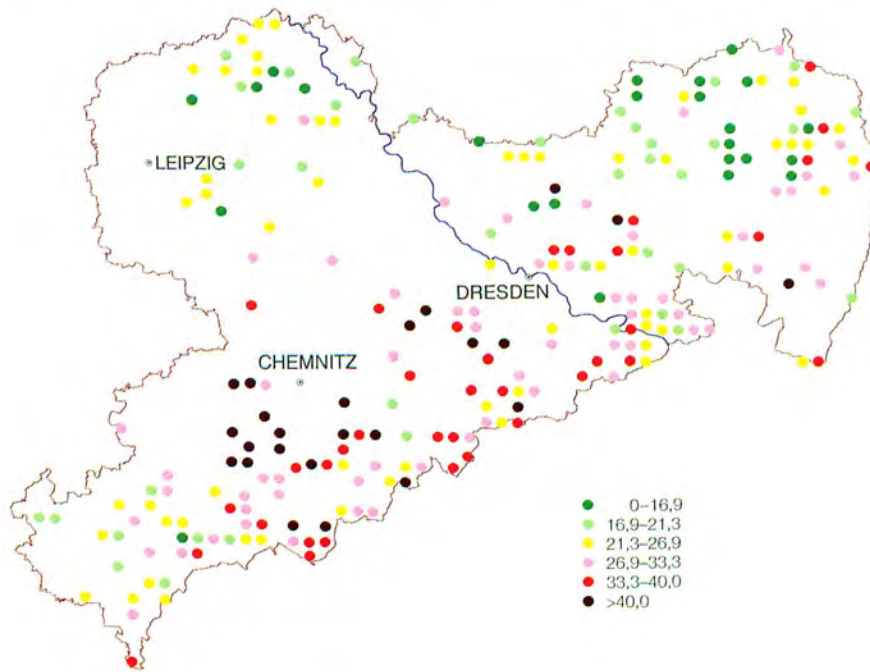


Abb. 75: Kupfergehalte (mg/kg Trockensubstanz) in der Oh-Lage der organischen Auflage der Bodenzustandserhebung im 4 x 4-km-Raster (Untergliederung der Werte nach den Perzentilstufen 10, 25, 50, 75 und 90 %)



Aus dem Spektrum der 4 bei der Bodenzustandserhebung untersuchten Schwermetalle (Blei [Pb], Kupfer [Cu], Cadmium [Cd], Zink [Zn]) sind die

Gehalte für Blei und Kupfer im Oh-Horizont der organischen Auflage wiedergegeben (Abb. 74 und 75). Blei ist hinsichtlich seiner Umwelt-

wirkung ein toxisches Element, das infolge seiner vielseitigen industriellen Verwendung und einer weiträumigen Abgasbelastung aus dem Kraftfahrzeugverkehr sehr verbreitet war und somit nicht nur der regional enormen Belastung aus der über Jahrhunderte betriebenen Verhüttung von Bleierzen entstammt. **Sehr hohe Bleigehalte** treten insbesondere **im Osterzgebirge** zwischen Freiburger Raum bis hinüber nach Altenberg im Südosten sowie nach Olbernhau und Marienfeld/Zschopau im Südwesten auf. Weitere Schwerpunkte sind das Gebiet um Schneeberg und der Fichtelberg. Auch im Bereich des Elbsandsteingebirges können hohe Bleigehalte angetroffen werden. Insgesamt treten häufig Gehalte weit über einem Wert von 150 mg Pb pro kg Humustrockengewicht auf, der als kritische Konzentration für schädigende Wirkungen im Ökosystem angesehen wird (nach TYLER 1992).¹⁾

Dies verdeutlicht die auch vom sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG 1999)²⁾ festgestellte Tatsache, dass die **organischen Auflagen** in den Wäldern **des Erzgebirges zu den am stärksten Pb-belasteten Deutschlands** zählen. Zwar ist Blei im Allgemeinen sehr immobil, doch sind speziell in den forstlichen Oberböden hohe mobile Pb-Gehalte zu verzeichnen und bei pH 3 kann der Anteil des pflanzenverfügbaren Pb bis zu 10 % des Gesamtgehaltes erreichen. Im Zuge eines flachgründigen, überwiegend horizontalen Abflusses aus stark versauerten Oberbodenhorizonten besteht somit die Gefahr der Verlagerung von Blei in die Oberflächengewässer. Dies unterstreicht am Beispiel des Elementes Blei die bereits in den Waldschadens-/zustandsberichten der vergangenen Jahre formulierte Forderung, eine weitere **Zunahme der Versauerung der Waldböden unbedingt zu vermeiden** bzw. abzuwenden. Eine ähnliche regionale Zuordnung wie beim Blei ergibt sich für die Kupfer-

¹⁾ Tyler, G. (1992): Critical Concentrations of Heavy Metals in the Mor Horizon of Swedish Forests. SNV-Report 4078. Solna

²⁾ Landesamt für Umwelt und Geologie (1999): Materialien zum Bodenschutz 1999. Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3

gehalte, die stark durch Cu-Einträge in Verbindung mit der in der Vergangenheit betriebenen Buntmetallurgie geprägt wurde. Die elementspezifische

kritische Konzentration von 20 mg/kg (nach TYLER 1992) wird besonders in der Region Oelsnitz/ Stollberg häufig und deutlich überschritten. Damit kann

ein extremes Überangebot eines ansonsten für die Ernährung aller Lebewesen essenziellen Elementes durchaus zu toxischen Wirkungen führen.

Kritische Belastungsraten (Critical Loads)

Die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Luftreinhaltung führte in Europa zu neuen Strategien bei der Luftreinhaltung. Sie beschränkt sich nicht mehr allein auf die Festlegung zulässiger Höchstwerte von Schadstoffemissionen, sondern es wird versucht, über ganzheitliche, ökosystemare Ansätze Empfindlichkeitsbereiche von Ökosystemen gegenüber Stoffeinträgen aufzuzeigen und die tatsächlichen Belastungsgrenzen fundiert abzuschätzen. Damit wendete sich das Interesse von der reinen Wirkungsforschung hinsichtlich kritischer Stoffkonzentrationen (Critical Levels) – z. B. direkte Schäden durch Schwefeldioxid – vermehrt den **ökologisch bedeutsameren Belastungsraten (Critical Loads)** aus der Langzeit- und Kombinationswirkung von Stoffkonzentrationen zu. Insbesondere die „Saure-Regen-Diskussion“ der 80er-Jahre hat zur Intensivierung der Forschung und der **Messung tatsächlicher Belastungszustände** geführt und letztendlich über internationale Absprachen zur Herleitung einheitlicher kritischer Schwellenwerte (Critical Loads) für indirekte langfristige Wirkungen geführt. Dabei wurde der Wald als vordringlich zu schützendes Ökosystem eingestuft und Methoden für die Herleitung der Critical Loads bezüglich des Eintrages von Säurebildnern und eutrophierendem Stickstoff auf Waldstandorten entwickelt. Die Grundannahme dabei ist, dass die langfristigen Stoffeinträge gerade noch so hoch sein dürfen, wie diesen ökosysteminterne Prozesse gegenüberstehen, die den Eintrag puffern, speichern oder aufnehmen können bzw. in unbedenklicher Größe aus dem System austragen. Dabei fungiert die Bodenlösung als Kontrollindikator für die Auswirkungen anthropogener Depositionen von Säurebildnern.

Critical Loads können somit auch als die maximale Deposition beschrieben werden, bei deren langfristigen Eintrag sich die Verhältnisse in der Bodenlösung nicht dahingehend ändern, dass als kritisch erkannte Bedingungen – wie z. B. niedrige pH-Werte und die Freisetzung von Aluminium in die Bodenlösung – auftreten.

Zur Berechnung wird eine **Massenbilanz** verwendet, die den **Gleichgewichtszustand des Ökosystems** abbildet. Es werden dabei versauernd wirkende Prozesse (Schwefel- und Stickstoffdeposition, Netto-Aufnahme basischer Kationen durch den Waldbestand sowie Auswaschung von Säureneutralisierungskapazität durch den Basenverlust der Böden) den säurepuffernden Prozessen (Basendeposition, Basenfreisetzung durch Verwitterung, Netto-Stickstoffaufnahme durch den Waldbestand und Stickstofffestlegung im Ökosystem) gegenübergestellt. Wie auf einer Waage können auf der einen Seite atmosphärische Stoffeinträge nur in einem solchen Umfang zugelassen werden, wie auf der anderen Seite das Gleichgewicht durch ökosystemare Bedingungen hergestellt werden kann. Mit Einstellung des Gleichgewichts ist die maximal zulässige Deposition, der Critical-Load-Wert, erreicht. Die Höhe der jeweils vom Ökosystem tolerierten Deposition hängt allein von den spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Ökosystems ab. Der Critical-Load-Ansatz ist somit auf eine langfristige Stabilität ausgerichtet und bietet sich auch als theoretische Grundlage zur Überprüfung des von der Forstwirtschaft entwickelten Nachhaltigkeitsprinzips im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung an.

Critical Loads für Stickstoff als Nähr-element (eutrophierender Stickstoff)

Aus ökologischer Sicht sind übermäßige Stickstoffeinträge in Ökosysteme insofern gravierend, weil unter natürlichen Bedingungen Stickstoff im Vergleich zu anderen Nährstoffen knapp ist und sich Ökosysteme im Verlauf der Evolution auf diese natürliche Mangelsituation eingestellt haben. Insbesondere infolge der Verbrennung fossiler Energieträger in den Bereichen Verkehr und Industrie, aber auch durch Tierhaltung und Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel in der Landwirtschaft, haben diese **anthropogenen Stickstoffeinträge** die natürlichen Kreisläufe vielfach dahingehend verändert, dass der **einstmalige Mangelnährstoff im Überfluss vorhanden** ist. Eine Übersättigung des Systems mit Stickstoff ist dann gegeben, wenn die Verfügbarkeit organisch gebundenen Stickstoffs den Bedarf stickstoffverbrauchender Prozesse übersteigt und forstökologische Effekte oder Wirkungen auftreten, die zur Destabilisierung des Systems beitragen können. Eine Auswahl der Wirkungen überhöhter Stickstoffeinträge auf Waldökosysteme ist in *Tab. 14* zusammengestellt.

Besonders hervorgehoben sei hier der **Effekt einer Versauerung im Oberboden**, der dann auftritt, wenn das Verhältnis von deponiertem Ammoniumstickstoff zu Nitratstickstoff größer als 1 ist, oder wenn ein Austrag von Nitrat erfolgt. Auch bei ausgeglichenem Ammonium/Nitrat-Verhältnis ist jedoch ein Protonenüberschuss aus der Umsetzung deponierten oder fixierten Stickstoffs möglich. Dies ist dann der Fall, wenn dennoch ein Nitrataustrag zu ver-

zeichnen ist und die aus der Nitrifikation stammenden Protonen nicht wieder aufgenommen werden können (Überschussnitrifikation), oder bei einer räumlichen oder zeitlichen Entkopplung des N-Kreislaufes. Dadurch können **bodenprozessbedingte Säurebelastungen** des Wurzelraumes hervorgerufen werden, die z. T. bedeutsamer als der direkte Säureeintrag über die Deposition sind. Neben der Säurewirkung führen erhöhte Nitratausträge zu einer **Belastung des Grundwassers**, die unter dem Aspekt der Trinkwassernutzung erhöhte Aufwendungen bei der Rohwasseraufbereitung erfordern.

Zur Belastbarkeit mit Stickstoff liegen für viele Ökosysteme mehr oder weniger gesicherte Erfahrungen vor (empirischer Ansatz), die in der Regel auf langjährige Beobachtungen der Reaktionen von Vegetationstypen auf Stoffeinträge und

experimentellen Ergebnissen beruhen. Danach liegen die kritischen Raten für eutrophierende Stickstoffeinträge in Waldökosystemen je nach Ökosystemtyp zwischen etwa 5 und 20 kg pro ha und Jahr.

Auf der Grundlage des Massenbilanzansatzes und der umfangreichen Stofffluss- und Bodendaten der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II) wurde für den Zeitraum 1996 bis 1997 eine qualitative und quantitative Berechnung möglichst aller Quellen- und Senkenprozesse des Nährstoffes Stickstoff für die betreffenden 6 Waldökosysteme vorgenommen. Hierzu wurden die Stoffeinträge (Depositionen) gegen fixierende Prozesse (dauerhafte Immobilisierung im Humus, langfristige Stickstoffaufnahme in der Biomasse) und Stoffausträge (Denitrifikation, Stickstoffauswaschung

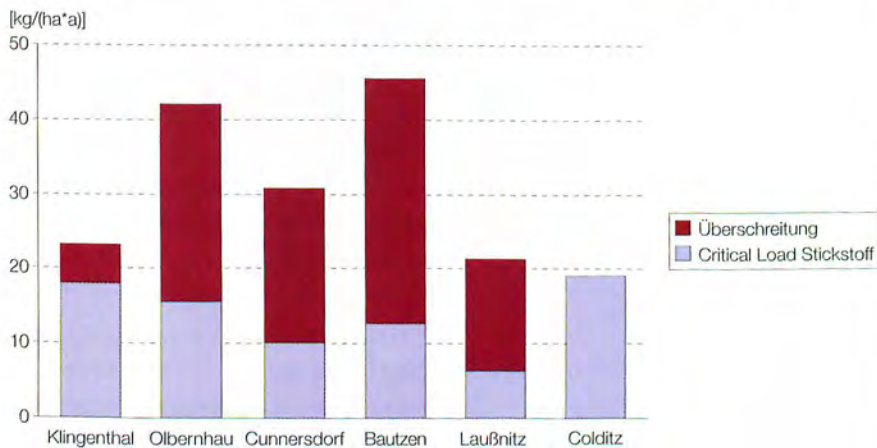
mit dem Sickerwasser) aufgewogen. Generell geht zum Schutz des Ökosystems die Begrenzung einer Stickstoffakkumulation sowie von Nährstoffungleichgewichten und Stickstoffausträgen in die Modellbildung ein, womit eine Destabilisierung – gemäß den in *Tab. 14* genannten Merkmalen – ausgeschlossen werden soll.

Die so berechneten zulässigen kritischen Stickstoffdepositionswerte (Critical Loads) der sächsischen Level-II-Standorte sind in der *Abb. 76* zusammen mit den jeweiligen Überschreitungen durch die aktuellen Stickstoffeinträge wiedergegeben. Danach wurden in den Jahren 1996–1997 die **Critical Loads** auf den Messflächen Bautzen, Cunnersdorf, Olbernhau und Laußnitz **um etwa das Doppelte übertroffen** und nur die Messfläche Colditz blieb im vorgegebenen Belastungsrahmen.

Tab. 14: Ökologische Auswirkungen einer überhöhten Stickstoffdeposition in Waldökosystemen

Eintragspfad	Wirkung	Destabilisierung
Direkter Eintrag über Blätter/Nadeln	<ul style="list-style-type: none"> - direkter Schaden an Blättern/Nadeln - Auswaschung von Nährstoffen - Akkumulation von Protonen in den Blattzellen 	
Akkumulation in der Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Holzproduktion - erhöhtes Spross-Wurzel-Verhältnis - Zunahmen nitrophiler Arten in der Bodenvegetation - Vergrößerung von Holzzellen - verstärktes Algenwachstum - erhöhter N-Gehalt in den Blättern 	<ul style="list-style-type: none"> → steigender Wasserbedarf → erhöhte Anfälligkeit für Trockenheit und Nährstoffmangel → erhöhtes Windwurfrisiko → verminderte Lichtintensität zur Photosynthese → Disharmonische Ernährung → verminderte Frosthärte → steigende Schädlingsanfälligkeit
Akkumulation im Boden	<ul style="list-style-type: none"> - Versauerung der Rizosphäre bei Ammoniumaufnahme - erhöhter Austrag von Ca, Mg, K durch Kationenaustausch - Nährstoffungleichgewichte im Boden (erhöhte NH_4^+/K^-- und $\text{NH}_4^+/\text{Mg}^{2+}$-Verhältnisse) - Verstärkung der Häufigkeit und Wirkung von Versauerungsschüben 	<ul style="list-style-type: none"> → gestörte Kationenaufnahme durch Ammoniumkonkurrenz → Wurzelschäden
Austrag aus dem Ökosystem	<ul style="list-style-type: none"> - Bodenversauerung und Verlust basischer Kationen - Mobilisierung von Aluminium; Wurzeltoxizität - Nitrataustrag 	<ul style="list-style-type: none"> → Nährkraftverlust → gestörte Wasser- und Nährstoffaufnahme → Grundwassergefährdung

Abb. 76: Critical Loads für Stickstoffeinträge und deren Überschreitung (Messzeitraum 1996–1997) in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II)



Critical Loads für die Säurebildner Schwefel und Stickstoff

Gemäß der Critical-Load-Philosophie im Sinne von ökologischen Belastungsgrenzen wird als Critical Load für Säureeinträge die höchste Deposition von säurebildenden Verbindungen verstanden, die langfristig nicht zu schädlichen Effekten in Struktur und Funktion der Ökosysteme führen.

Allgemein wird die Versauerung von Waldökosystemen auf Schwefel- und Stickstoffeinträge zurückgeführt. Diese werden erst in der Atmosphäre aus den Vorläufersubstanzen Schwefeldioxid und Stickstoffoxide über Kontakt mit der Feuchtigkeit der Luft zu Schwefel- bzw. Salpetersäure umgewandelt. Deren Säurewirksamkeit hängt jedoch stark von der Art des Eintrages als nasse, feuchte oder trockene Deposition ab und wird ferner von den Baumkronen beeinflusst, an deren Nadel- und Blattoberflächen weitere chemische Reaktionen stattfinden. Damit ändert sich aufgrund der Vielzahl von Reaktionsmöglichkeiten und Bindungsformen im Kronenraum – besonders bezüglich der Stickstoffverbindungen – die Gesamtmenge der in Waldökosystemen eingetragenen **direkten und indirekten**

Säurebelastung. Sie wird im Rahmen der Critical-Load-Berechnungen über Kronenraumbilanzen hergeleitet, die z. B. die direkte Aufnahme von Stickstoff und Schwefel im Kronenraum berücksichtigen.

Langfristig bedeutsam für das Ökosystem sind die vielfachen **bodenchemischen Veränderungen**, die nicht nur durch den direkten Säureeintrag mit den Niederschlägen, sondern auch durch H⁺-Ionenfreisetzungen im Boden selber hervorgerufen werden. Letzteres kann z. B. bei der Umwandlung von Ammonium zu Nitrat (Nitrifizierung) und dessen Auswaschung mit dem Sickerwasser der Fall sein.

Generell reagiert der **Boden** auf diese Säurebelastungen durch diverse **pH-abhängige Puffermechanismen**.

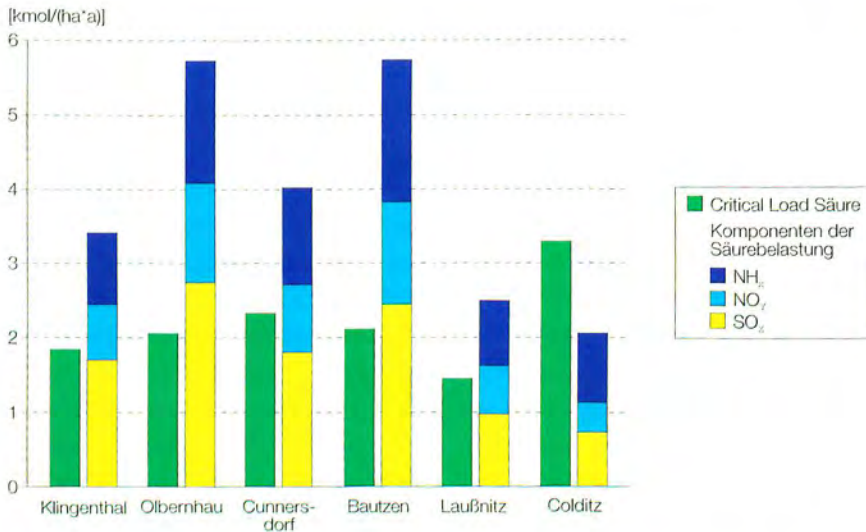
Während in basenreichen Böden eine Pufferung über die Freisetzung der basischen Kationen erfolgt, verändern sich bei pH-Werten zwischen 5,0 und 4,2 die Kationenaustauschverhältnisse der Böden insofern, als vermehrt Al-Ionen aus dem Gerüst der Tonminerale basische Kationen verdrängen und andererseits Austauscherflächen blockieren. Unterhalb pH 4,2 (Aluminiumpuffer) treten zunehmend Al³⁺-Ionen in die Bodenlösung über und das Verhältnis zwischen der Aluminiumkonzentration und der Summe der Kon-

zentrationen gelöster Elemente aus dem Basenbestand der Bodenminerale (Bc/Al-Verhältnis, Bc = Summe der molaren Konzentrationen von Ca, Mg und K) nimmt ökologisch bedenkliche Werte an. Um derartige Prozesse langfristig auszuschließen, wird bei der Critical-Load-Berechnung ein pH-Wert der Bodenlösung von 4,0 vorgegeben und ein Bc/Al-Verhältnis in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Empfindlichkeit der Baumarten von mindestens 1 gefordert. In die Berechnungsmethode der Massenbilanz gehen neben diesen zentralen Indikatoren für den Versauerungsgrad eines Waldökosystems ferner die Verwitterung und Deposition basischer Kationen, der Nährstoffentzug durch die Biomasse sowie die Auswaschung basischer Kationen mit dem Sickerwasser ein.

Aus den Ergebnissen in Abb. 77 wird einerseits deutlich, dass für den Messzeitraum 1996 bis 1997 – wiederum mit Ausnahme der Fläche Colditz – mit durchschnittlichen 2,4 bis 5,6 kmol H⁺ pro Hektar die langfristig ökologisch **tolerierbare Säurebelastung** in Klingenthal, Cunnersdorf und Laußnitz **um das Doppelte** und in Olbernhau und Bautzen **um das Dreifache überschritten** wird.

Die Ergebnisse bestätigen damit die bereits im Waldschadensbericht 1997 vorgenommene Abschätzung der Gesamtsäurebelastung der Standorte. Andererseits wird ersichtlich, dass im Durchschnitt der Messflächen etwa die Hälfte der Säurebelastung durch den Eintrag von Stickstoffverbindungen induziert wird.

Abb. 77: Gegenüberstellung des Critical Loads für den Säureeintrag durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie die tatsächliche mittlere Säurebelastung (Messzeitraum 1996–1997) in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II)



Überschreitung der Critical Loads durch Schwefel- und Stickstoffdeposition

Eine zusammenfassende Ergebnisdarstellung der versauernd wirkenden Einträge von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Kombination mit der Wirkung eutrophierender Stickstoffeinträge gibt Abb. 78 wider. Sie zeigt, in welchem Umfang auf den Beobachtungsflächen aber auch allgemein Maßnahmen zur Senkung des Schadstoffeintrages getroffen werden müssen, um langfristig die Critical-Load-Bedingungen zu erfüllen.

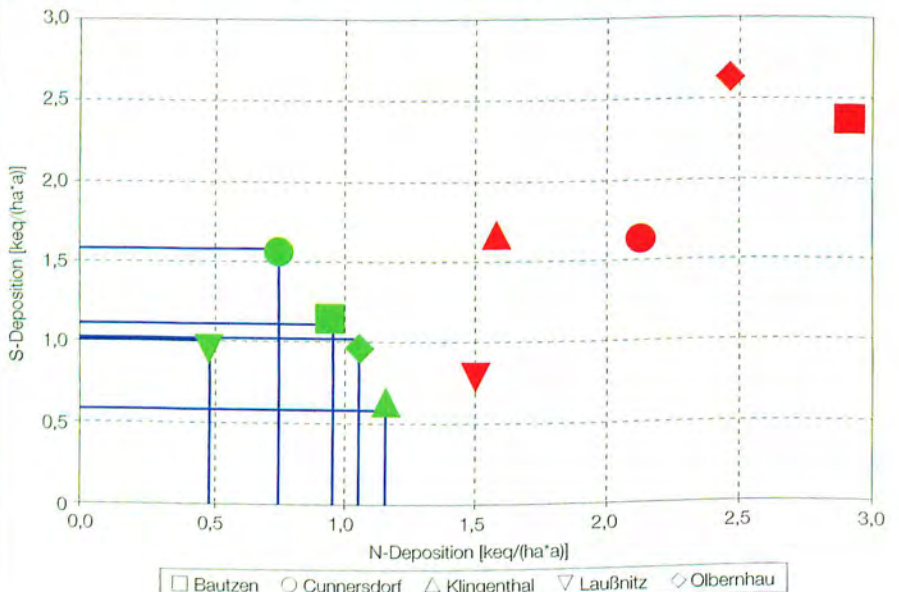
In der Darstellung wurden die folgenden Kriterien aus den Critical-Load-Berechnungen berücksichtigt:

- der maximal zulässige Eintrag von versauernden Schwefelverbindungen, der unter der Annahme errechnet wird, dass ausschließlich Schwefel- und keine Stickstoffverbindungen zur Versauerung beitragen;
- der Schwellenwert für den zulässigen Stickstoffeintrag, der analog zum maximalen Schwefeleintrag unter der Annahme bestimmt wird, dass ausschließlich Stickstoff zu den Versauerungsprozessen führt;

- die maximale Deposition von eutrophierenden Stickstoffverbindungen;
- der Wert für den minimal notwendigen Stickstoffeintrag, da dieser als Nährstoff nicht völlig aus dem System herausgenommen und deshalb, anders als beim Schwefel, die Stickstoffdeposition nicht auf den Wert Null reduziert werden kann.

Befindet sich der Depositionswert der Stickstoff- und Schwefeleinträge (rotes Symbol) innerhalb der jeweils für die

Abb. 78: Zusammenfassende Darstellung der Critical-Load-Ergebnisse (grün) im Vergleich zur tatsächlichen Belastung (rot) in den Level II-Flächen Sachsens (ohne Messfläche Colditz, da keine Überschreitung der Critical Load Funktion)



einzelnen Versuchsflächen durch die blauen Linien abgegrenzten Fläche, so werden die Critical-Load-Bedingungen hinsichtlich Eutrophierung und Säurebelastung erfüllt (grünes Symbol). Es wäre keine Überschreitung der Belastungsgrenzen gegeben und emissionsmindernde Maßnahmen wären nicht erforderlich. Besonders die Depositionswerte der Flächen Bautzen und Olbernhau liegen weit entfernt von dem Critical Load und verweisen auf die **regional sehr hohen Belastungsraten aus etwa gleichen Stickstoff- und Schwefelanteilen**. Bei den anderen Flächen liegt jeweils in unterschiedlichem Umfang eine vor allem übermäßige Stickstoff- (Cunnersdorf und Laußnitz) oder überhöhte Schwefelbelastung (Klingenthal) vor. Nur die Fläche Colditz erfüllt die Critical-Load-Bedingungen, ein Ergebnis, das bereits aus den vorherigen Abschnitten deutlich wurde.

Für die nahe Zukunft ist die Präsentation landesweiter kartenmäßiger Darstellungen zu den Critical Loads für Säurebildner und eutrophierenden Stickstoff vorgesehen, die sich im Wesentlichen aus der Verschneidung von Ausbreitungsmodellen zur Deposition mit den Daten der Bodenzustandserhebung ergeben.

Zusammenfassung

Seit dem Jahr 1996, in dessen Verlauf es durch sehr hohe winterliche Schadstoffbelastungen erneut zu einem großflächigen Waldsterben in den Kammlagen des mittleren Erzgebirges kam, sind besonders in den südlichen Landesteilen die durch den Ferntransport bedingten Schwefeleinträge in die sächsischen Waldökosysteme erheblich zurückgegangen und scheinen sich auf einem deutlich niedrigeren Belastungsniveau zu stabilisieren. Ernährungsuntersuchungen bestätigen diesen Trend.

Die für die Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen kalkulierten Kritischen Belastungsraten (Critical Loads) zeigen jedoch, dass die ökologisch langfristig vertretbare Säurebelastung der Waldstandorte mehr oder weniger deutlich überschritten wird. Auch die Stickstoffbelastung in den Waldökosystemen kann – trotz ebenfalls teilweise deutlichem Rückgang der N-Einträge – ein Vielfaches der zulässigen Eintragsrate betragen. Es zeichnet sich ab, dass in Zukunft der größte Anteil der Säurebelastung in den Waldökosystemen möglicherweise durch den Eintrag von Stickstoffverbindungen induziert wird.

Die Waldböden sind aufgrund der vorwiegend relativ erdalkaliarmen Ausgangssubstrate Sachsens und infolge der in der Vergangenheit regional differenzierten Depositionsverhältnisse – z. B. teilweise extreme Belastungen durch Schwefel- und Säureeinträge in den Erzgebirgslagen – unterschiedlich stark versauert bzw. nährstoffarm.

Insbesondere auf den nährstoffarmen Standorten mit zudem häufig ungünstigen Humusformen befindet sich der überwiegende Anteil des kurz- bis mittelfristig verfügbaren Nährelementvorrates derzeit in der Humusaufgabe und ist damit nicht stabil bzw. langfristig gesichert. Die Waldbestände können in eine instabile Versorgungslage geraten. Dies wird durch Blatt- und Nadelanalysen belegt.

Die Elastizität der Böden gegenüber Säurebelastungen ist großflächig nur sehr gering. Dadurch kann es unter entsprechenden Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Versauerungsschüben in der Bodenlösung kommen, die eine Gefahr für das Pflanzenwachstum darstellen.

Die in der jüngeren Vergangenheit durch erhöhte Säureeinträge in den Waldböden ausgelösten Mobilisierungsprozesse von vormals gespeicherten Säurevorräten klingen weiter ab. Damit geht auch der verstärkte Verlust von Nährelementen aus den Böden zurück.

Die teilweise mächtigen organischen Auflagen der Waldböden gehören in Waldregionen des Erzgebirges zu den am stärksten durch die Schwermetalle Blei und Kupfer belasteten Auflagehumushorizonten Deutschlands. Die Mobilisierung der teilweise sehr hohen Schwermetallvorräte und deren Verlagerung in das Grund- und Oberflächenwasser im Zuge möglicherweise fortschreitender Bodenversauerungsprozesse gilt es zu verhindern.

An den Mess-Stationen des Erzgebirges werden die Kritischen Belastungsraten von Ozon erheblich überschritten, womit die Gefahr von Ozonschäden in den Waldökosystemen der Hochlagen nicht unterschätzt werden sollte.

Allgemein sind auch in Zukunft die Schwefel- und Stickstoffemissionen bzw. -immissionen zu reduzieren, um regional differenziert die Schwefel-, Stickstoff- und Säurebelastungen in den Waldökosystemen Sachsens weiter zu verringern. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass durch die intensiven Bemühungen der letzten Jahre zum Schutz der Böden durch die Waldkalkung gegen eine zunehmende Bodenversauerung in Verbindung mit der deutlichen Minderung des Ferntransportes und Eintrages von Schadstoffen eine Verschärfung von Ernährungsstörungen in den sächsischen Wäldern auf großer Fläche abgewendet werden konnte.

Maßnahmen gegen Waldschäden

Waldstabilisierung

Das langfristig angelegte **Waldumbauprogramm** der Landesforstverwaltung vom Februar 1992 hat in der sächsischen Forstwirtschaft eine Wende vom Kahlschlagsprinzip und der damit verbundenen Entstehung von instabilen einförmigen Nadelwäldern hin zur naturnahen Waldwirtschaft eingeleitet. Danach sollen im Ergebnis der ökologischen Waldentwicklungsplanung von 1993 im sächsischen Landeswald umfangreiche Laubholzanbauten angelegt werden. Im Vollzug der Jahre 1994 bis 1998 wurden die gesetzten Zielstellungen deutlich überboten.

Eine andere wichtige Maßnahme zur Stabilisierung des Waldes – besonders in den jüngeren Nadelholzbeständen – ist die Standraumregulierung zur Förderung des Wachstums von gut bekronen Einzelbäumen oder Baumgruppen. Die im sächsischen Landeswald im Zeitraum von 1994 bis 1998 zu diesem Zweck erfolgten Maßnahmen sind in *Tab. 15* aufgeführt.

Tab.15: Pflegemaßnahmen zur Stabilisierung jüngerer Bestände im Landeswald von 1994 bis 1998 (in ha)

Maßnahme	1994	1995	1996	1997	1998	Summe
Jungwuchspflege	3 792	3 160	3 078	2 994	2 618	15 642
Jungbestandespflege	2 890	2 474	3 215	3 552	2 751	14 882
Summe	6 682	5 634	6 293	6 546	5 369	30 524

Derartige Maßnahmen werden zur Stabilisierung des Waldes im Privat- und Kommunalwald auf der Grundlage der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ gefördert. Die Schwerpunkte der Förderung liegen bei der Einbringung von Laubholz in Nadelholzreinbeständen, bei der Erstaufforstung (insbesondere von Laubholzbeständen) sowie bei der Waldpflege und der Standorts-

kartierung. Die Förderung der Erstaufforstung soll die Umsetzung des langfristigen Konzeptes zur Erhöhung des Waldanteiles in Sachsen von 27 auf 30 % realisieren helfen.

Abb. 79: Erstaufforstungsfläche



In den stärker geschädigten höheren Lagen des Erzgebirges waren in den letzten Jahren besonders umfangreiche Anwendungen zur Stabilisierung des Waldzustandes notwendig. Nach den gravierenden Waldschäden des Winters 1995/96 wurden über 400 000 fm Schadholz aufbereitet und ca. 1 400 ha Kahlflächen bzw. stark verlichtete Waldbestände überwiegend mit standortsgerechten Laubbäumen aufgeforstet. Dafür wurden im

Körperschafts- und Privatwald die im Rahmen eines Sonderprogramms bereitgestellten Mittel zur Beseitigung der Schäden genutzt. Den Schwerpunkt der weiteren Aktivitäten bilden die ständige Überwachung des Schadgebietes im Hinblick auf eine mögliche Massenvermehrung von Borkenkäfern, der Schutz der Verjüngungen gegen Mäuseschäden und die Nachbesserung der Kulturen bei größeren Pflanzenausfällen.

Der Umfang der **Bodenschutzkalkung** zur Kompensation von Säureeinträgen beträgt 1999 in allen Eigentumsarten voraussichtlich 19 159 ha. Mit der Realisierung dieser Maßnahmen wurde im Zeitraum von 1991 bis Ende 1999 auf etwa 157 343 ha sächsischer Waldbestände Kalk ausgebracht. Dabei erfolgt seit 1998 in zunehmendem Maße die Wiederholung der Bodenschutzkalkung auf bereits behandelten Flächen. Diese Maßnahmen sind auch in Zukunft – möglicherweise in geringerem Umfang aufgrund abnehmender Säurebelastungen – weiterhin notwendig.

Abb. 80: Kalkausbringung mittels Hubschrauber



Die Kalkung erfolgt zurzeit in einer Menge von etwa drei bis vier Tonnen je Hektar, womit für einen Zeitraum von etwa 6 bis 10 Jahren einer weiteren Verschlechterung des Bodenzustandes entgegengewirkt werden soll. Damit die mit der Kalkausbringung verbundenen Risiken – z. B. verstärkte Nitratbildung beim Abbau der organischen Auflagen bei zu hoher Kalkgabe - minimiert werden, wurde von der Landesanstalt für Forsten in Graupa ein für alle Kalkungsmaßnahmen im Wald verbindliches Merkblatt erstellt. Darin werden u. a. die kalkungsbedürftigen Bereiche klar von den Flächen abgegrenzt, die aus Gründen des Naturschutzes, des Wasserschutzes oder aus anderen Gründen nicht in die Maßnahme einbezogen werden dürfen.

Der Vergleich von gekalkten und ungekalkten Flächen weist auf einen positiven Einfluss der Kalkung hin. Das gilt insbesondere für Waldflächen, auf denen im Zuge der Pflanzlochbearbeitung eine meliorative Maßnahme zur kleinstandörtlichen Verbesserung der bodenchemischen Bedingungen durch die Einarbeitung von magnesiumhaltigem Kalk in den Boden vorgenommen wurde.

Die anhaltenden Säureinträge 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 der reinen Fichtenbestände in einen Mischwald kann somit langfristig die Gefahr des Schadstoffaustrages (z. B. Aluminium, Schwermetalle) verringert werden.

Besonders die mit Kiefernreinbeständen bestockten Wälder Nordostsachsens weisen eine extrem hohe **Brandgefährdung** auf. Der Sächsischen Landesforstverwaltung obliegt die Waldbrandvorbeugung. Je nach Waldbrandgefahr werden von den zuständigen Forstämtern "Waldbrandwarnstufen" ausgerufen. Für die Beobachtung der Waldflächen hinsichtlich der Entstehung von Waldbränden werden 27 Feuerwachtürme bereitgehalten. Diese Türme werden bei einer erhöhten Waldbrandgefahr besetzt. Mit Hilfe der modernen Ausstattung der Wachtürme können Brände schnell lokalisiert und eine zügige Bekämpfung eingeleitet werden. In Zeiten besonders hoher Waldbrandgefahr wird zusätzlich ein Hubschrauber zur Überwachung eingesetzt. Dieser führt zudem einen Löschwasserbehälter mit und kann somit bereits vor dem Eintreffen der Feuerwehr mit dem Löschen von Bränden beginnen.

Abb. 81: Feuerwachturm im SäFoA Dresden



Luftreinhaltung

Die Belastungen der Waldökosysteme durch **Schwefeldioxid**emissionen haben sich in den letzten Jahren spürbar verringert. Dies ist zu einem großen Teil auf die Ausrüstung der Großemittenten mit Abgasreinigungsanlagen zurückzuführen. Über das Förderprogramm zur Heizungsträgerumstellung im Erzgebirge, das auch 2000 fortgesetzt wird, werden zudem vor allem lokale Belastungen aus der Verbrennung schwefelreicher Braunkohle verringert.

Belastungen der Luft mit **Stickoxiden** und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), die unter Einwirkung von Sonnenlicht zu pflanzenschädigendem Ozon umgebaut werden können, resultieren überwiegend aus den Emissionen des Straßenverkehrs, der Kraftwerke und der Industrie (insbesondere aus der Lösungsmittelanwendung). Jedoch hat sich der Ausstoß von Industrie und Großfeuerungsanlagen durch die Umsetzung der „Großfeuerungsanlagenverordnung“ 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 Kraftfahrzeug-

verkehrs entgegen. Eine zukunftsorientierte Verkehrspolitik muss deshalb vor allem auf eine weitere deutliche Verringerung des Kraftstoffverbrauches und des Schadstoffausstoßes gerichtet sein. Dies ist auch wichtig im Hinblick auf eine schnelle Verringerung der Ozonvorläufersubstanzen, denn diesbezügliche Maßnahmen führen zu einer geringeren Ozonbelastung.

Ein großer Anteil der oft übermäßigen Stickstoffversorgung und der Säurebelastung der Waldökosysteme ist auf die **Ammoniak**emissionen der Landwirtschaft (Tierhaltung und Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel) zurückzuführen. Zur Verminderung dieser Emissionen hat der drastische Abbau der Tierbestände um ca. 50 % seit 1990 beigetragen. Eine gleiche Wirkung hat die Anwendung einer verbesserten Lagerungstechnik für tierische Dünger bzw. einen leistungs- und bedarfsgerechten Futtermittelsatz. So konnte zwischen 1989 und 1997 die Freisetzung von Ammoniak aus der sächsischen Landwirtschaft von ca. 42 000 Tonnen auf 25 000 Tonnen reduziert werden. Eine Optimierung der Ausbringungstechniken für Gülle und Dung kann eine Abnahme der Emissionsbelastung um bis zu 90 % bewirken.

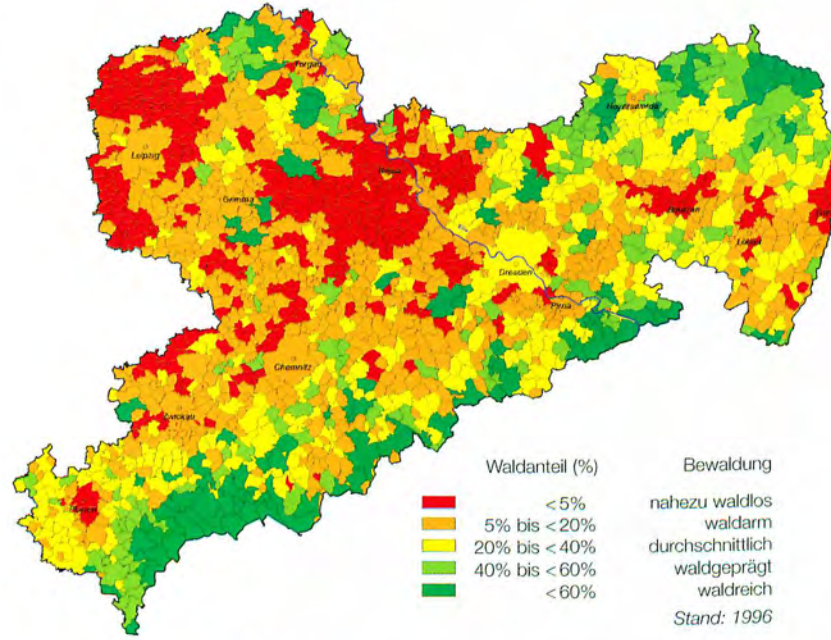
Diese Maßnahmen sind weiter zu optimieren. Insgesamt ist das mittelfristige Minderungspotenzial für Ammoniakemissionen aus der sächsischen Landwirtschaft mit etwa 1 300 Tonnen aber begrenzt.

Weitere Maßnahmen auf internationaler Ebene sind notwendig, um die immer noch bestehenden Belastungen der Waldökosysteme durch aktuelle Schwefel-, Stickstoff- und Säureinträge – die in der Kombination mit den Auswirkungen der sehr umfangreichen Schwefeleinträge der Vergangenheit auch weiterhin teilweise sehr hoch sind – zu verringern.

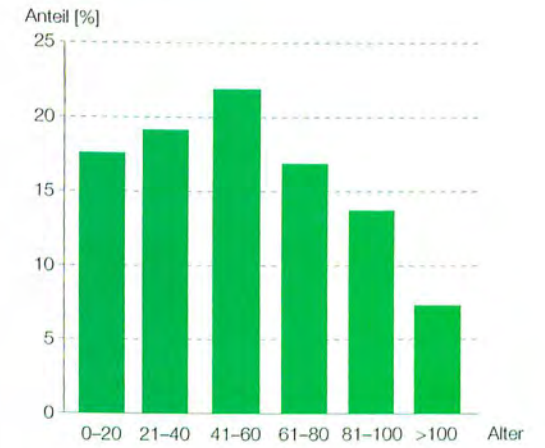
Fakten zum Sächsischen Wald

Waldfläche: 508 882 Hektar
 Bewaldungsprozent: 27,6
 Waldfläche je Einwohner: 0,11 Hektar

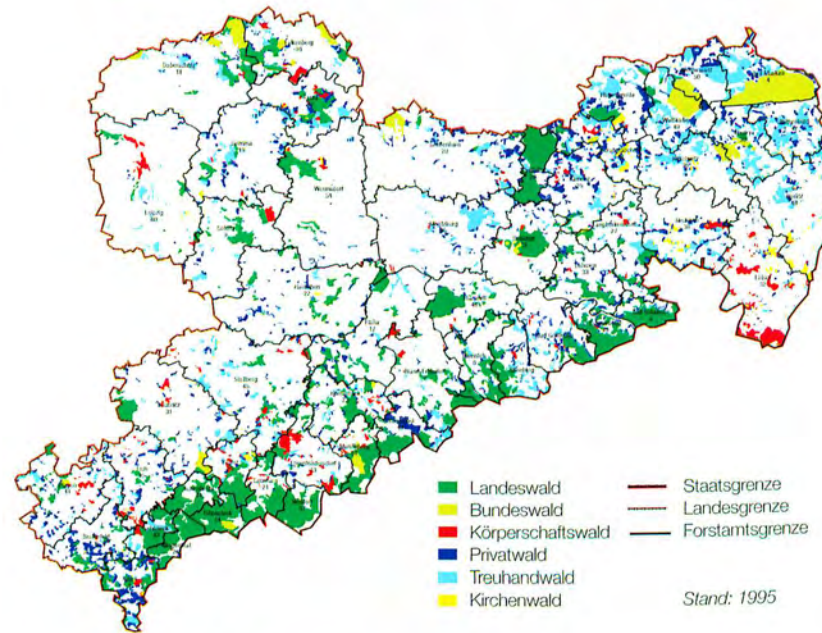
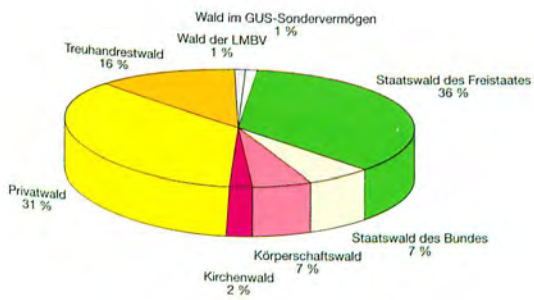
Bewaldungsprozent nach
 Städten und Gemeinden:



Altersstruktur:



Waldeigentum:

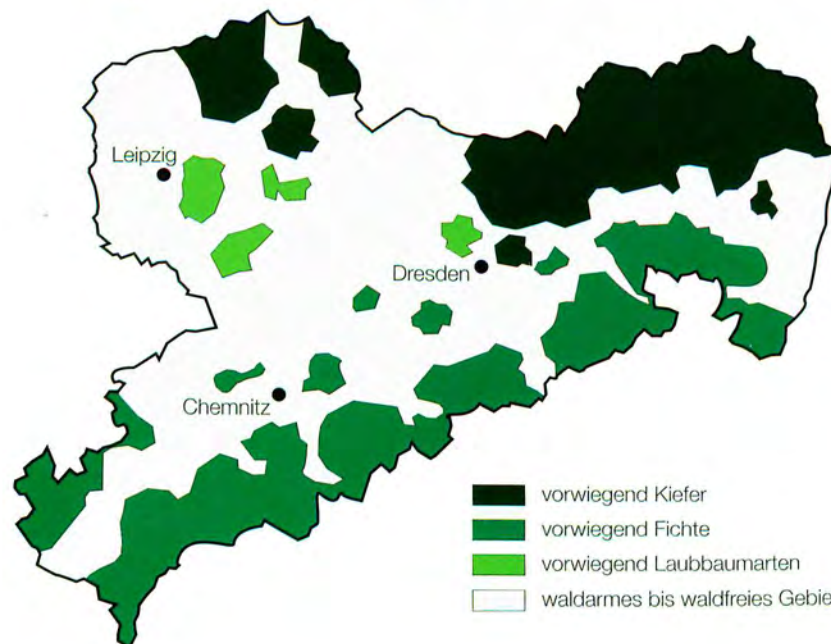
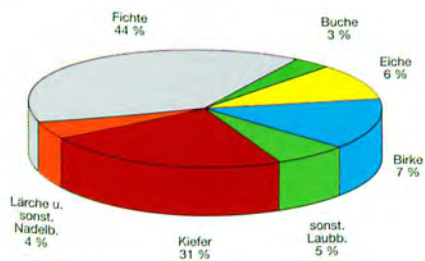


Zuwachs: 8,8 Vfm/ Hektar und Jahr
 (Öffentlicher Wald)

Nutzung: 4,8 Efm/ Hektar und Jahr
 (Staatswald)

Holzvorrat: 221 Vfm/ Hektar
 (Öffentlicher Wald)

Baumartenverteilung:



Waldfunktionen:

Funktionsbereich	Funktionen	Fläche (ha)	Anteil (%)
Boden	Boden-, Anlagen- und Straßenschutzwälder	43.300	8,5
Wasser	Wasser- u. Hochwasserschutzwälder	206.600	40,6
Luft	Klima-, Lärm- und Immissionschutzwälder	74.800	14,7
Natur	Schutzgebiete, geschützte Biotope, ökologisch wertvolle Waldflächen	88.500	17,5
Landschaft	Landschaftsschutzgebiete, landschaftsbildprägende Wälder	261.100	51,3
Kultur	Biosphärenreservate, Kulturdenkmale	19.300	3,8
Erholung	Naturparke, Erholungswälder	273.300	53,7
Summe		966.900	

Herausgeber:

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und
Landwirtschaft (SMUL)
Referat: Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
01075 Dresden
Tel.: (03 51) 5 64 68 14, Fax: (03 51) 5 64 20 74
E-Mail: info@smul.sachsen.de

Redaktion:

Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF)
Bonnewitzer Straße 34, 01827 Graupa
Tel.: (0 35 01) 54 20, Fax: (0 35 01) 54 22 13

Fotos:

Archiv der LAF

Layout und Produktion:

WDS Pertermann, Dresden

Redaktionsschluss:

30.09.1999

Auflage:

4 000

Bezug:

Sachsenwerbung Formulardruck Dresden GmbH
Dornblühstraße 14, 01277 Dresden
Tel.: (03 51) 3 40 04 95 oder 4 33 15 10,
Fax: (03 51) 3 40 04 96 oder 4 33 15 11

Internet:

[http:// www.lafgraupa.sachsen.de](http://www.lafgraupa.sachsen.de)

Gedruckt auf Papier aus 100 % chlorfrei (tcf) gebleichtem
Zellstoff

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist besonders die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.