

Waldschadensbericht 1996



Freistaat  Sachsen

Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Vorbemerkungen 1
2	Der Wald im Freistaat Sachsen 2
2.1	Standortsverhältnisse 2
2.2	Baumarten- und Altersverteilung 3
3	Rahmenbedingungen für den Waldzustand 1996 6
3.1	Witterung 6
3.2	Immissionen 13
3.3	Stoffeinträge in sächsische Waldökosysteme 20
3.3.1	Entwicklung der pH-Werte und der Elementkonzentrationen von SO ₄ -S und NO ₃ -N im Niederschlag 21
3.3.2	Monatliche und jährliche Elementeträge 23
3.4	Ökochemische Konsequenzen der Schadstoffeinträge für sächsische Waldökosysteme 26
3.4.1	Säuregrad der Waldböden 27
3.4.2	Basensättigung und Nährstoffvorräte der Böden 29
3.4.3	Raumzeitliche Drift chemischer Parameter in der Bodenlösung und in Waldquellen 31
3.4.4	Elementbilanzen 37
3.4.5	Zusammenfassung 38
4	Waldzustand 40
4.1	Waldschadenserhebung (WSE) 1996 40
4.1.1	Methodik 40
4.1.2	Analyse des Datenmaterials 42

4.1.3	Ergebnisse	44
4.1.3.1	Allgemeine Schadsituation	44
4.1.3.2	Schäden an den Hauptbaumarten	45
4.1.3.3	Regionale Ausprägung der Schäden	51
4.1.4	Zusammenfassung	54
4.2	Aktuelle Schadsituation im Erzgebirge	56
4.2.1	Schadursachen	56
4.2.2	Schadausmaß	57
4.2.3	Folgeschäden	66
4.2.4	Zusammenfassung	68
4.3	Biotische und abiotische Schäden	69
4.3.1	Methodik der Schaderfassung	69
4.3.2	Schäden durch Insekten und Pilze	70
4.3.2.1	Schäden an Nadelholz	70
4.3.2.2	Schäden an Laubholz	76
4.3.3	Waldbrand	78
4.3.4	Zusammenfassung	79
5	Waldzustandserfassung im Erzgebirge mit Hilfe der Fernerkundung	81
5.1	Organisation und Zielstellung des Forschungsprojekts	81
5.2	Methodisches Vorgehen und Grundlagenerarbeitung	82
5.3	Ergebnisse	83
5.4	Vergleich der unterschiedlichen Fernerkundungsverfahren	88
5.5	Zusammenfassung	89
6	Maßnahmen gegen Waldschäden	90

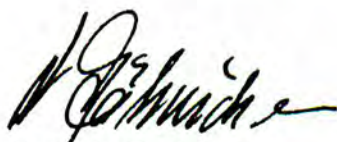
1 Vorbemerkungen

Der Wald hat für unsere Gesellschaft eine außerordentlich große Bedeutung. Die Leistungen, die er erbringt, sind für uns selbstverständlich. In einer hektischen Zeit wie heute ist es nicht verwunderlich, daß die vielfältigen Funktionen des Waldes zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen häufig nur wenig Beachtung finden, obwohl sie für unsere Gesellschaft von existentieller Bedeutung sind. In der Vergangenheit wurde dies besonders deutlich, wenn man bedenkt, daß der Wald im Streben nach Wohlstand und der damit im Zusammenhang stehenden Industrialisierung nur als Rohstofflieferant gesehen wurde.

Schlagworte wie „Saurer Regen“ und „Waldsterben“ führten zu einer Sensibilisierung der Öffentlichkeit, da die ökologischen Folgen der rasanten Industrialisierung deutlich sichtbar wurden. Großflächige Waldschäden bis hin zum Absterben ganzer Bestände öffneten die Augen dafür, daß neben dem Versiegen der Rohstoffquelle eine Reihe weiterer negativer Folgen eintraten. Die Aktualität und Brisanz dieser Problematik wurde mit den dramatischen Waldschäden des vergangenen Winters im mittleren - und Osterzgebirge deutlich und zeigt, daß die allgemeine Stagnation der Waldschäden keinesfalls dazu führen darf, die Hände in den Schoß zu legen.

Der Freistaat Sachsen stellt sich daher der Aufgabe, die Funktionen des Waldes in ihrer Gesamtheit zu erhalten, zu schützen bzw. wiederherzustellen. Die Forstleute prägten dafür den Begriff der „nachhaltigen Waldbewirtschaftung“. Das begonnene ehrgeizige Waldumbauprogramm hat zum Ziel, durch standortgerechte, stabile Mischbestände die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes gleichermaßen zu sichern. Diese Aufgabe liegt im gesamtgesellschaftlichen Interesse und wird deshalb durch den Freistaat auf den verschiedensten Ebenen unterstützt.

Ein wichtiges Kontrollinstrument zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes des Waldes ist die jährliche Zustandsanalyse im Rahmen des Waldschadensberichtes, der die Situation in Sachsen - durch ein dichteres Stichprobenetz als gefordert - erheblich detaillierter analysiert, als es die Forderungen zur bundesweiten Waldschadenserhebung (WSE) vorschreiben. Die Ergebnisse der jährlichen Analyse sind eine unverzichtbare Voraussetzung, um notwendige Entscheidungen treffen zu können und bilden die Grundlage dafür, daß den kommenden Generationen ein gesunder, stabiler und leistungsfähiger Wald hinterlassen werden kann.



Dr. Rolf Jähnichen

Staatsminister für Landwirtschaft,

Ernährung und Forsten

2 Der Wald im Freistaat Sachsen

Der Freistaat Sachsen verfügt über eine Waldfläche von rund 495 000 Hektar. Das entspricht 27 % der Landesfläche bzw. 0,10 ha Wald pro Einwohner. Damit liegt der Waldanteil unter dem Durchschnitt der Bundesrepublik Deutschland (30 %).

2.1 Standortverhältnisse

Das Waldwachstum wird durch die Standortfaktoren Lage, Klima und Boden entscheidend beeinflusst. Die forstliche Standortserkundung untergliedert die Waldstandorte nach Höhe über NN und Klimakennwerten in 5 Höhenstufen mit nachgenannten relativen Waldflächenanteilen:

Kammlagen (> 800 m ü. NN)	1 %
Höhere Berglagen (- 800 m ü. NN)	10 %
Mittlere Berglagen (- 700 m ü. NN)	23 %
Untere Berglagen und Hügelland (- 450 m ü. NN)	41 %
Tiefland (< 200 m ü. NN)	25 %.

Für Sachsen ist ein deutliches Gefälle der Höhenlage von Süden nach Norden charakteristisch. Das **Klima**, hauptsächlich bestimmt durch die Jahresdurchschnittstemperatur und die jährliche Niederschlagsmenge, findet durch die Bildung von Klimastufen Berücksichtigung. Die Waldanteile (%) Sachsens nach Klimastufen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

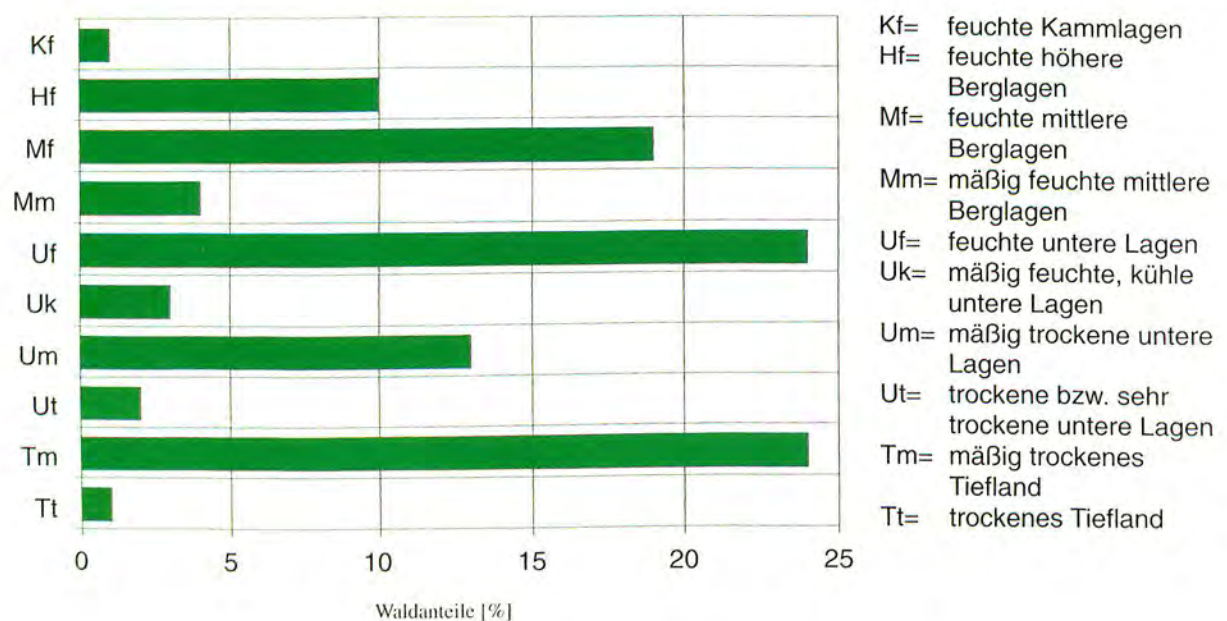


Abb. 2-1: Relative Waldflächenanteile nach Klimastufen in Sachsen

Innerhalb der Klimastufen erfolgt eine weitere Differenzierung nach der **Bodenfeuchte**. In Abbildung 2-2 ist diese Gliederung mit den entsprechenden Waldflächenanteilen vereinfacht dargestellt. Während der Anteil der terrestrischen (unvernäbten) Standorte dem Durchschnitt der ostdeutschen Bundesländer entspricht, ist der Anteil der Standorte mit wechselfeuchtem Bodenwasserhaushalt dreimal so hoch. Sie dominieren im Hügellandsbereich, sind häufig mit labilen Fichtenbeständen bestockt und schwierig zu bewirtschaften.

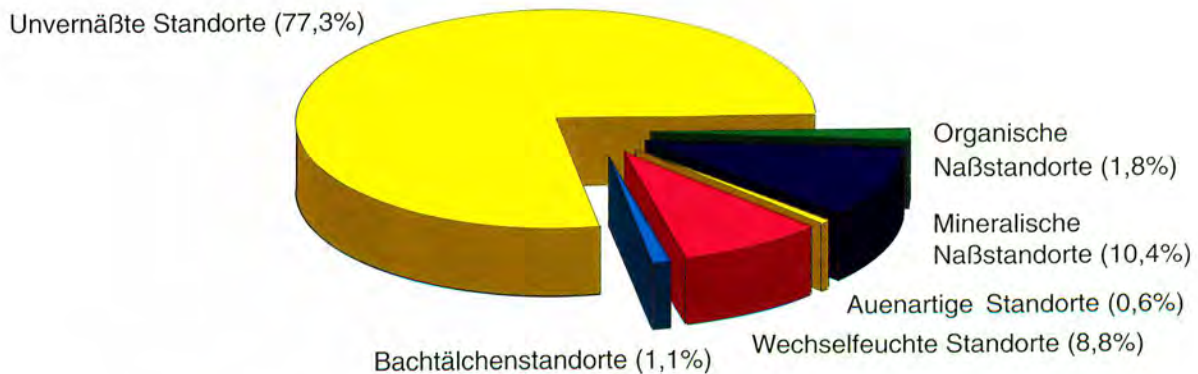


Abb. 2-2: Differenzierung der Waldfläche Sachsens nach der Bodenfeuchte

Die **Nährkraft des Bodens** (Trophie) wird durch die Einordnung der Standorte in Nährkraftstufen charakterisiert. Der sehr geringe Flächenanteil kräftiger und reicher Waldstandorte in Sachsen (Abb. 2-3) wirkt sich nachteilig auf das Baumartenspektrum und den Ertrag aus.

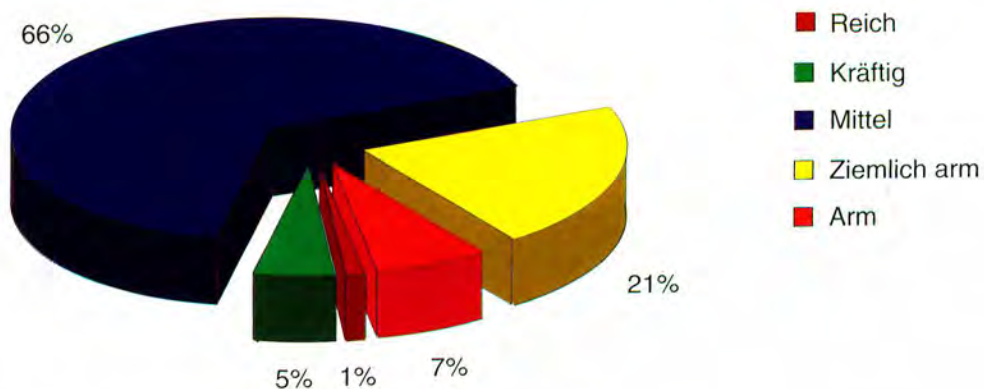


Abb. 2-3: Die Waldstandorte Sachsens nach Nährkraftstufen (relativ)

2.2 Baumarten- und Altersverteilung

Die **Baumartenverteilung** in den sächsischen Wäldern ist in Abbildung 2-4 dargestellt. Die sächsischen Wälder bestehen zu ca 80 % aus Nadelbäumen. Hierbei überwiegen vor allem die Fichte und die Kiefer. Laubbäume sind nur mit 20 % an der Gesamtwaldfläche vertreten. Den höchsten Anteil unter den Laubbäumen nimmt die Birke mit 6,9 % ein, gefolgt von Eiche und den Weichlaubhölzern. Die Buche, die natürlicherweise zwei Drittel der Waldfläche einnehmen würde, ist nur mit 2,8 % am Waldaufbau beteiligt.

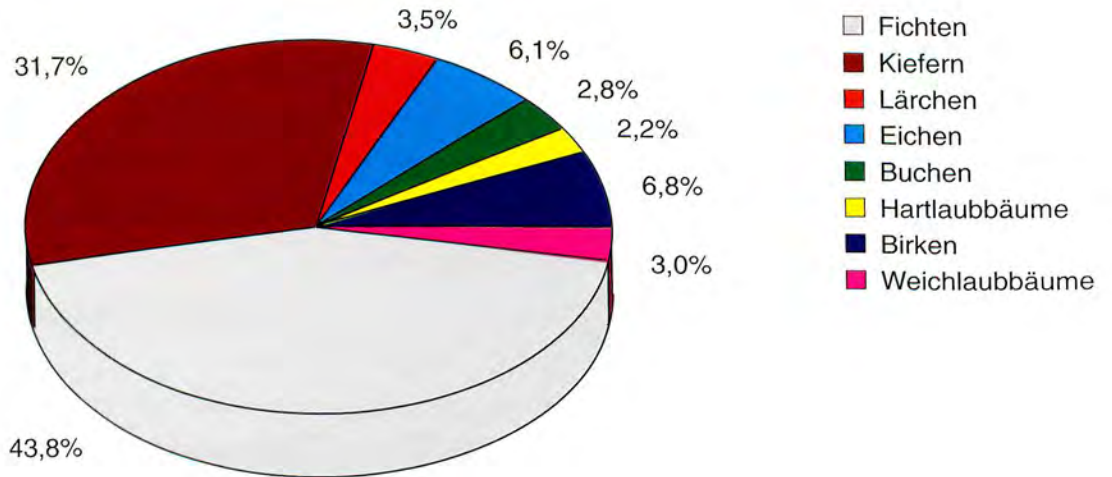


Abb. 2-4: Baumartenverteilung im Freistaat Sachsen

Diese aktuelle Baumartenverteilung weicht stark von der potentiell natürlichen Baumartenzusammensetzung ab, die den oben dargestellten Standortverhältnissen in Sachsen entsprechen würde (Abb. 2-5). Die nicht standortgerechten, oft gleichalten, einschichtigen Nadelbaumbestände sind labiler als naturnahe Mischbestockungen und anfälliger gegenüber abiotischen und biotischen Stressoren. Langfristig, d.h. in einem Zeitraum von 100 - 150 Jahren, wird sich durch den zwischenzeitlich eingeleiteten Umbau solcher Wälder das Verhältnis der Nadel- zu den Laubbaumarten zugunsten der Laubbaumarten verändern und so die Stabilität der Waldbestockungen erhöhen.

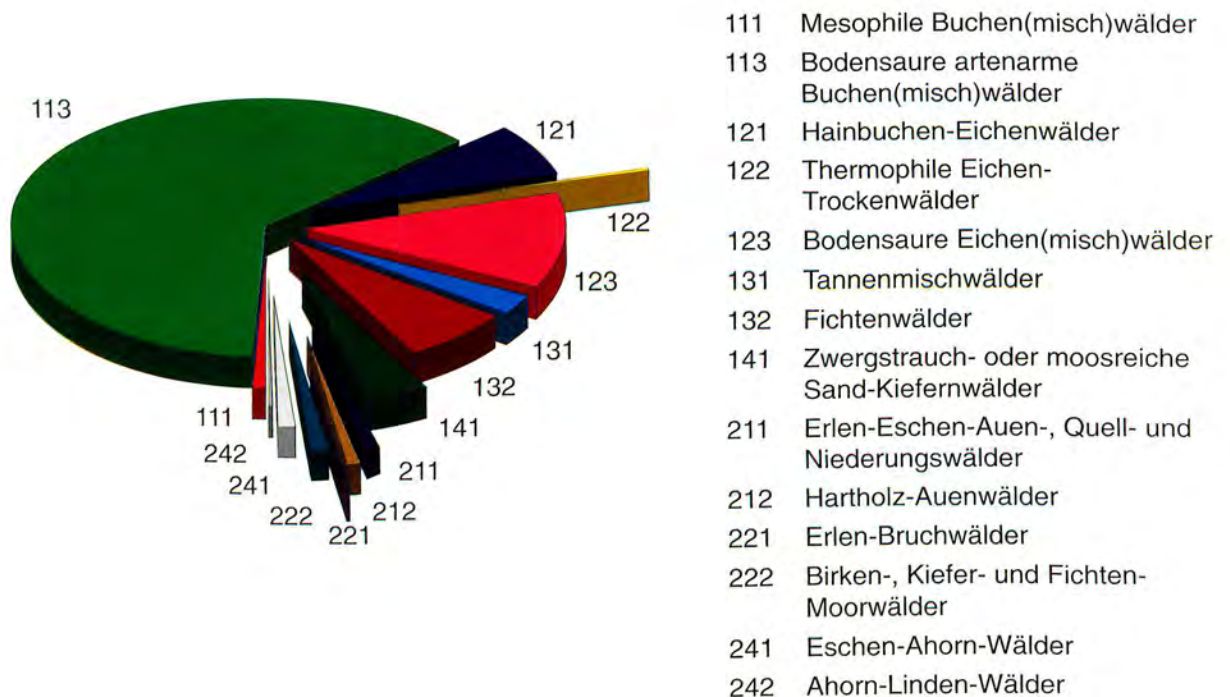


Abb. 2-5: Potentielle natürliche Waldgesellschaften

Die Altersverteilung in den Wäldern Sachsens zeigt die Abbildung 2-6. Junge Bestände überwiegen, alte sind kaum vorhanden. In den jungen Altersstufen herrschen Fichten und Kiefern vor, während in den über 140jährigen Beständen die Buche dominiert. Die 21- bis 60jährigen Bestände nehmen über 40 % der Waldfläche ein.

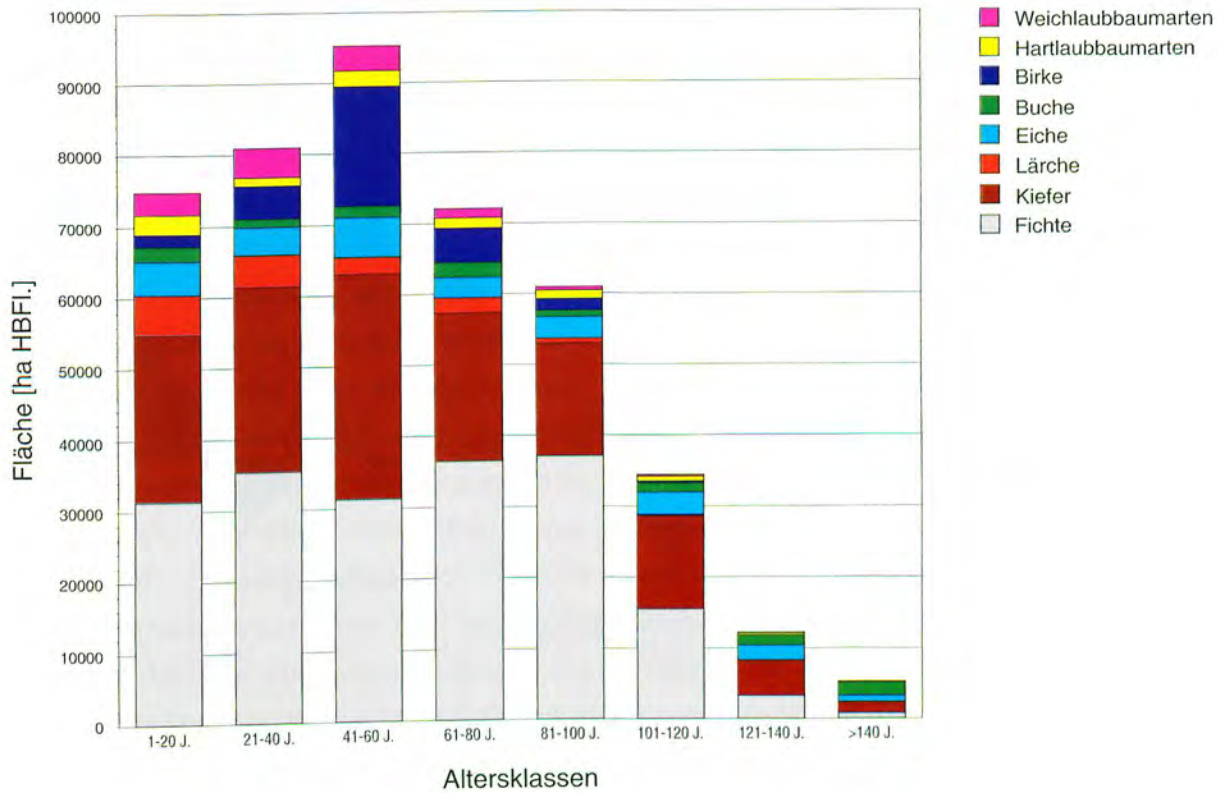


Abb. 2-6: Baumarten- und Altersklassenverteilung

3 Äußere Bedingungen für den Waldzustand

3.1 Witterung

Die physiologische Aktivität (Assimilation und Dissimilation) von Waldbäumen wird im wesentlichen von der Witterung gesteuert. Von entscheidender Bedeutung sind dabei unter anderem die Temperatur, der Niederschlag und die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR). So leiten zum Beispiel die Temperatur und die Tageslänge im Frühjahr den Beginn der Vegetationsperiode ein (Laubaustrieb und Dickenwachstum), die Tageslänge und Frühfröste im Herbst beenden sie. Sowohl die Luft- und Bodenfeuchtigkeit, als auch die Temperatur regulieren die Transpiration und damit die Wasser- und Nährstoffaufnahme. Die PAR-Strahlung liefert die nötige Energie für die Photosynthese. Neben den angesprochenen direkten Wirkungen nimmt die Witterung auch indirekt Einfluß auf das Pflanzenwachstum (z.B. Steuerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre, Entwicklungsbedingungen für Schadinsekten usw.). Bäume besitzen wie alle anderen Pflanzen einen mehr oder weniger großen Toleranzbereich, d.h. sie ertragen Schwankungen der Umweltfaktoren in einem bestimmten Rahmen. Wachsen sie am natürlichen Standort, so werden diese Schwankungen in der Regel überstanden, ohne daß es zum Absterben der Bäume führt. Waldbestände, die in der Baumartenzusammensetzung nicht den natürlichen Bedingungen entsprechen (z.B. Fichtenreinbestände auf grundwasserbeeinflußten Standorten) oder die extremen Umweltveränderungen unterworfen sind (z.B. Immissionen), reagieren besonders stark auf Witterungsextreme.

Die in der Abbildung 3.1-1 dargestellten Daten der Wetterstationen Oschatz und Marienberg charakterisieren den Witterungsverlauf der Jahre 1994 bis 1996. Sie befinden sich in den Wuchsgebieten Sächsisch-Thüringisches Löß-Hügelland (Oschatz, 150 m über NN) und Erzgebirge (Marienberg, 639 m über NN). Damit repräsentieren sie zwei wichtige Waldregionen Sachsens. Die langjährige Jahresmitteltemperatur beträgt in Oschatz 8,7°C und die langjährige Niederschlagssumme 575 mm, für Marienberg sind es 6,2°C und 896 mm.

Da der Wald auch die Witterung in seiner Umgebung beeinflußt und sich in seinem Innern ein spezifisches Klima ausbildet, werden die Wetterdaten von Marienberg und Oschatz durch die Messungen der Waldklimastationen, die von der LAF Graupa betrieben werden, ergänzt. Zwei der Waldklimastationen befinden sich unweit der meteorologischen Meßstellen im Forstamt Doberschütz (vergleichbar mit Oschatz) und im Forstamt Heinzebank (vergleichbar mit Marienberg).

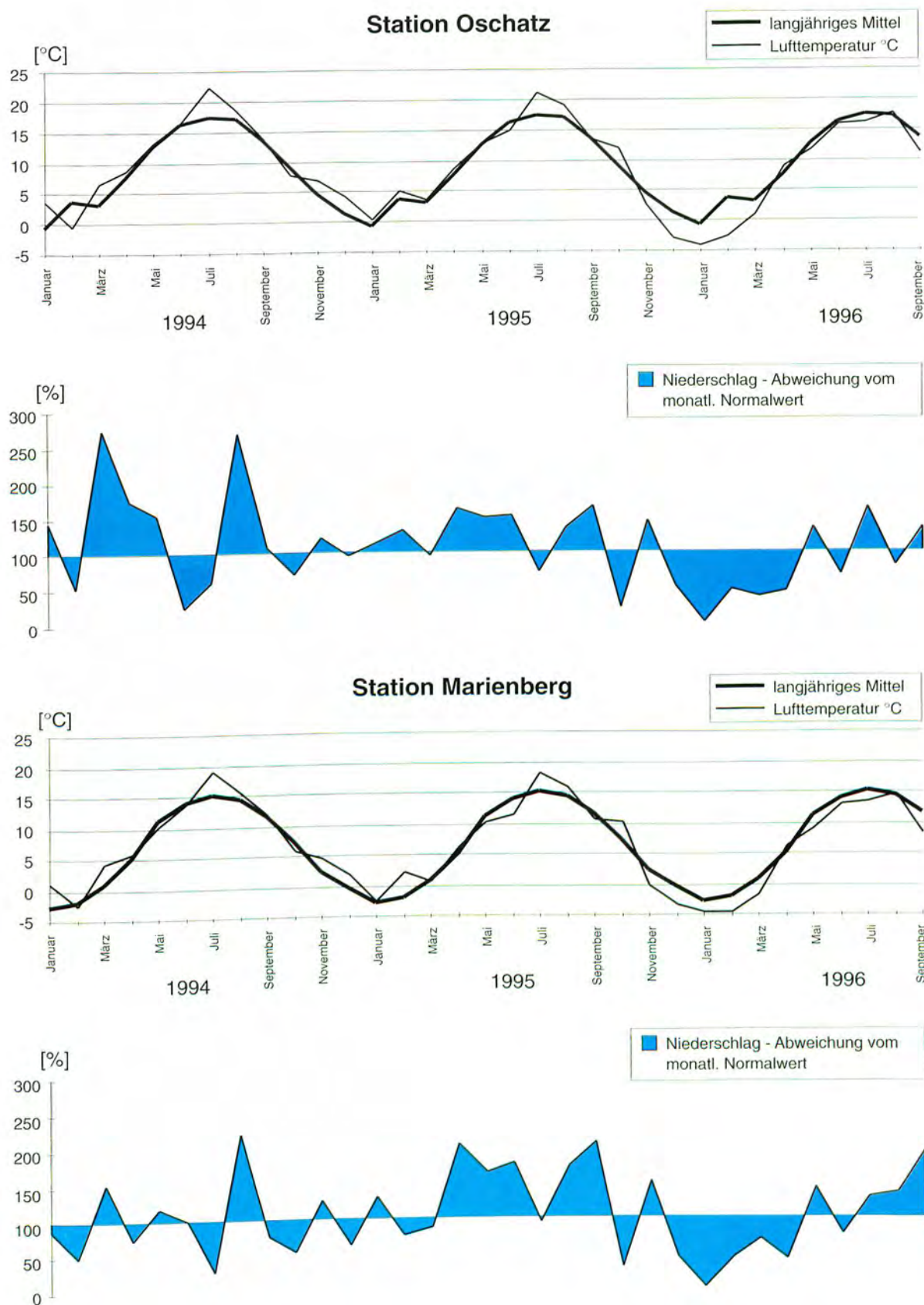


Abb. 3.1-1: Temperaturverlauf und Abweichung der monatlichen Niederschlagsmengen von den langjährigen Mittelwerten für die Meßstationen Oschatz und Marienberg (1994 bis 1996)

Der Winter 1995/96 fiel - im Gegensatz zu den vorhergehenden - sehr kalt und zu trocken aus. Eingeleitet von einem Temperatursturz ab dem 28. Oktober mit einer Tagesminimaltemperatur von $10,9^{\circ}\text{C}$ in Marienberg und $11,9^{\circ}\text{C}$ in Oschatz bis zum 04. November mit einer Tagesminimaltemperatur von $-4,8^{\circ}\text{C}$ in Marienberg und $-1,3^{\circ}\text{C}$ in Oschatz folgte ab Dezember nahezu eine Dauerfrostperiode, die bis Anfang März anhielt.

In den Abbildungen 3.1-2 und 3.1-3 sind die durchschnittlichen Tagestemperaturen zusammen mit den Schneehöhen für Marienberg und Oschatz dargestellt.

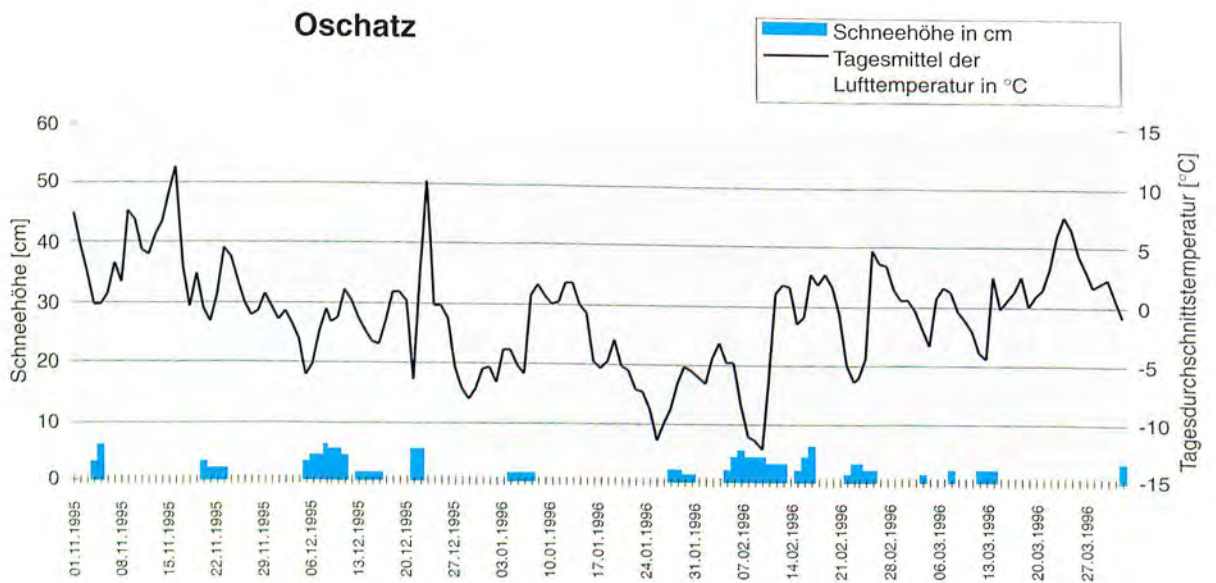


Abb. 3.1-2: Tagesdurchschnittstemperatur und Schneehöhe in Oschatz

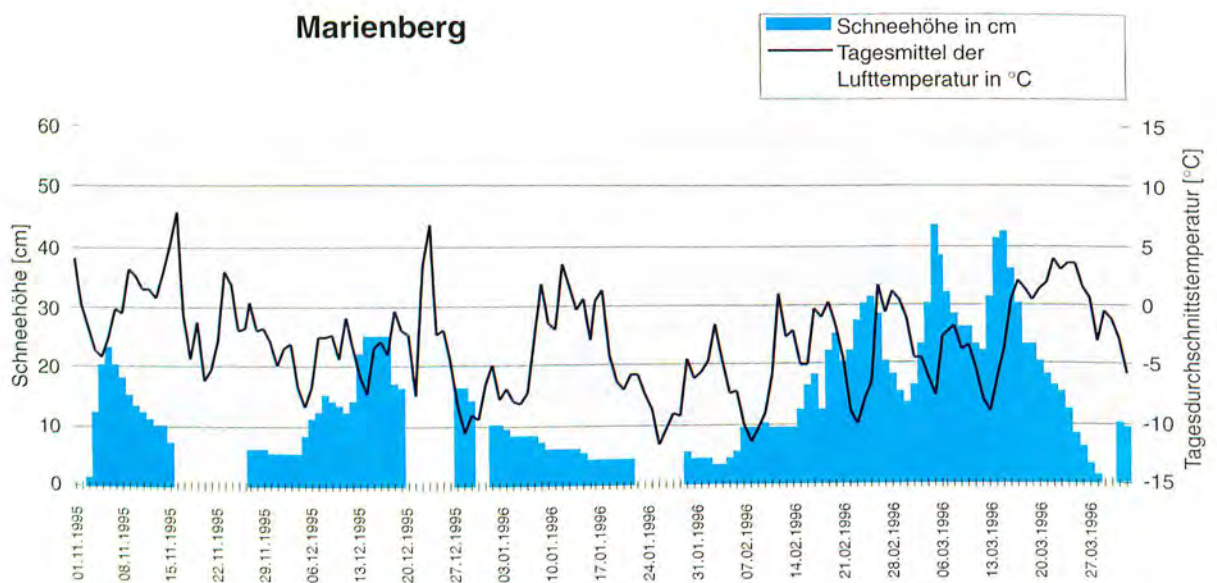


Abb. 3.1-3: Tagesdurchschnittstemperatur und Schneehöhe in Marienberg

Aus den Abbildungen 3.1-2 und 3.1-3 geht hervor, daß die Böden im Bereich des Sächsischen Hügellandes (Station Oschatz) im Winter 1995/96 von einer schützenden Schneedecke unbedeckt dem tiefen Eindringen des Frostes ausgeliefert waren. Im Erzgebirge (Station Marienberg) war die Schneedecke wesentlich stärker. Allerdings traten auch dort, vor allem Mitte November, in der 2. Dezemberhälfte und Ende Januar, ausgesprochen schneearme Frostperioden auf. Die Abbildungen 3.1-4 und 3.1-5 zeigen die Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe im Vergleich zu den Tagesmaximaltemperaturen und der täglichen Sonnenscheindauer.

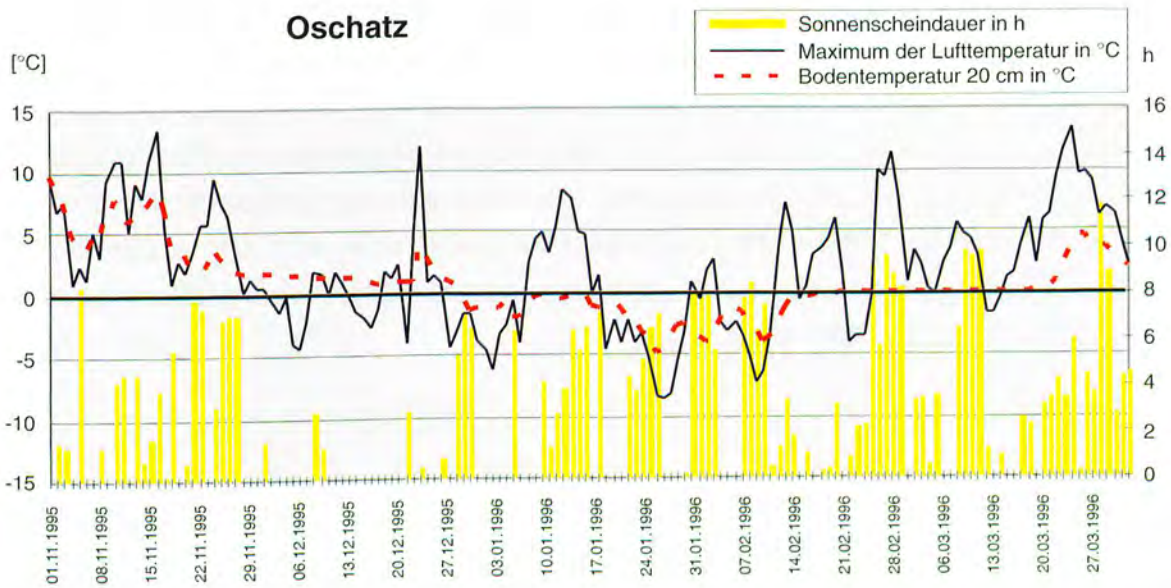


Abb. 3.1-4: Luft- und Bodentemperatur und Sonnenscheindauer Oschatz

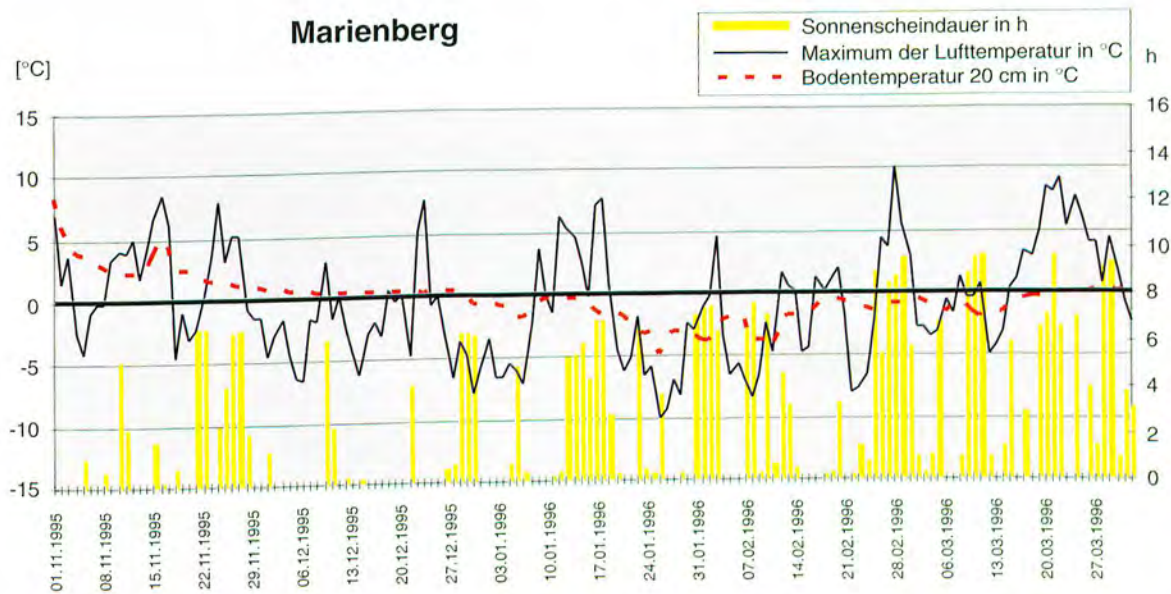


Abb. 3.1-5: Luft- und Bodentemperatur und Sonnenscheindauer Marienberg

Bodenfrost in 20 cm Tiefe setzte sowohl im sächsischen Hügelland als auch im Erzgebirge etwa ab dem 29.12.1995 ein. Die Temperaturen erreichten in dieser Tiefe im Verlauf des Winters Werte bis zu -5°C . Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß der Bodenfrost auch noch tiefer als 20 cm reichte. Ab Mitte März (18.03.96) wurden in Oschatz und ab Anfang April (06.04.96) in Marienberg wieder positive Bodentemperaturen in 20 cm Tiefe gemessen. An 43 Tagen (Marienberg) bzw. 41 Tagen (Oschatz) wurden im Verlauf des Winters Tagesmaximaltemperaturen $>0^{\circ}\text{C}$ bei gefrorenem Boden in 20 cm Tiefe registriert. Derartige Konstellationen traten besonders Mitte Januar, Mitte bis Ende Februar, außerdem in Oschatz Anfang bis Mitte März und in Marienberg Mitte bis Ende März auf. Diese Perioden waren zudem ausgesprochen sonnenscheinreich (vgl. Abb. 3.1-4, 3.1-5). Besonders flachwurzelnende Baumarten wie die Fichte hatten demnach im Winter 1995/96 unter Frostrocknis zu leiden.

Die Monate November und Dezember waren im Bereich der Kammlagen der Mittelgebirge bei Temperaturen um den Gefrierpunkt sehr neblig. Die vom Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) betriebene Wetterstation Zinnwald registrierte im November an 100 % und im Dezember an 93 % der Tage Nebel. Die mächtigen Nebelfrostablagerungen sowie der Schnee führten zu Eisbrüchen in den Kronen vieler Bäume.



Abb. 3.1-6: Eisanhang an Fichten im Winter 1995/96

In der Abbildung 3.1-7 sind die an den Waldmeßstationen Klingenthal, Olbernhau, Doberschütz und Laußnitz der LAF Graupa registrierten Bodensaugspannungen in 30 cm Tiefe grafisch dargestellt. Die Saugspannung gibt an, wie fest das Bodenwasser im Boden gebunden ist. Bei Bodensaugspannungen über 500 hPa kann es zu temporärem Wasserstreß für die Bäume kommen, da Bodenwasser nicht schnell genug pflanzenverfügbar ist. Die Lößauflagen der Mittelgebirgsböden weisen im Gegensatz zu Sandböden eine hohe Wasserspeicherkapazität auf und können trotz hoher Saugspannung noch einen ausreichenden Bodenwassergehalt besitzen.

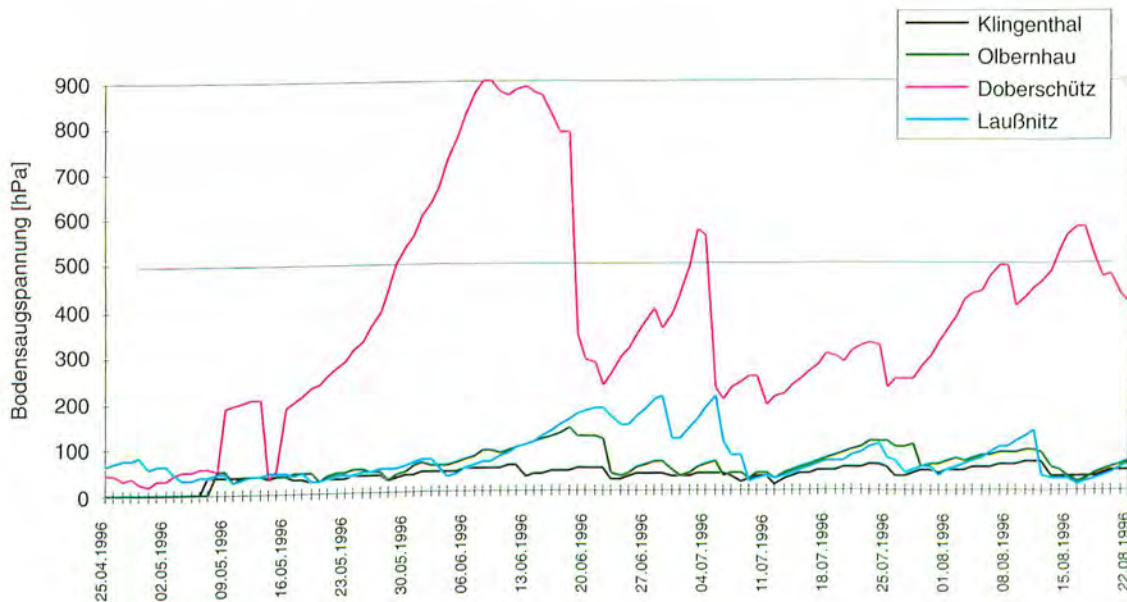


Abb. 3.1-7: Maximale Tageswerte der Bodensaugspannungen (30 cm Tiefe) der Waldmeßstationen Klingenthal und Olbernhau (Mittelgebirge) sowie Doberschütz und Laußnitz (Tiefland)

Im Bereich der sächsischen Mittelgebirgslagen (Stationen Klingenthal und Olbernhau) war die Wasserversorgung auch 1996 ausreichend bis optimal (vgl. Abbildung 3.1-7). Im Tiefland war sie im allgemeinen deutlich günstiger als in den Vorjahren (Station Laußnitz). Jedoch herrschte in Nordwestsachsen (Station Doberschütz) vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode Trockenstreß.

Im Vergleich zu den Vorjahren war die Vegetationsperiode zu kalt. Die Abbildung 3.1-8 zeigt die Temperatur- und Strahlungsverhältnisse von April bis Juni (Waldmeßstation Doberschütz). Charakteristisch für die Witterungsverhältnisse im Frühjahr war die ab dem 13.04.1996 einsetzende schnelle Erwärmung mit einem Anstieg der Tagesmaximaltemperatur um ca. 25°C in 9 Tagen bei gleichzeitig hohen Temperaturunterschieden von bis zu ca. 20°C und Nachtfrösten. In dieser Zeit waren die Pflanzen einem erheblichen Transpirationsstreß ausgesetzt. Dadurch ergaben sich schlechte Anwuchsbedingungen für Pflanzungen. Von Mitte Mai bis Mitte Juni traten an insgesamt 5 zum Teil strahlungsreichen Tagen Spätfröste auf.

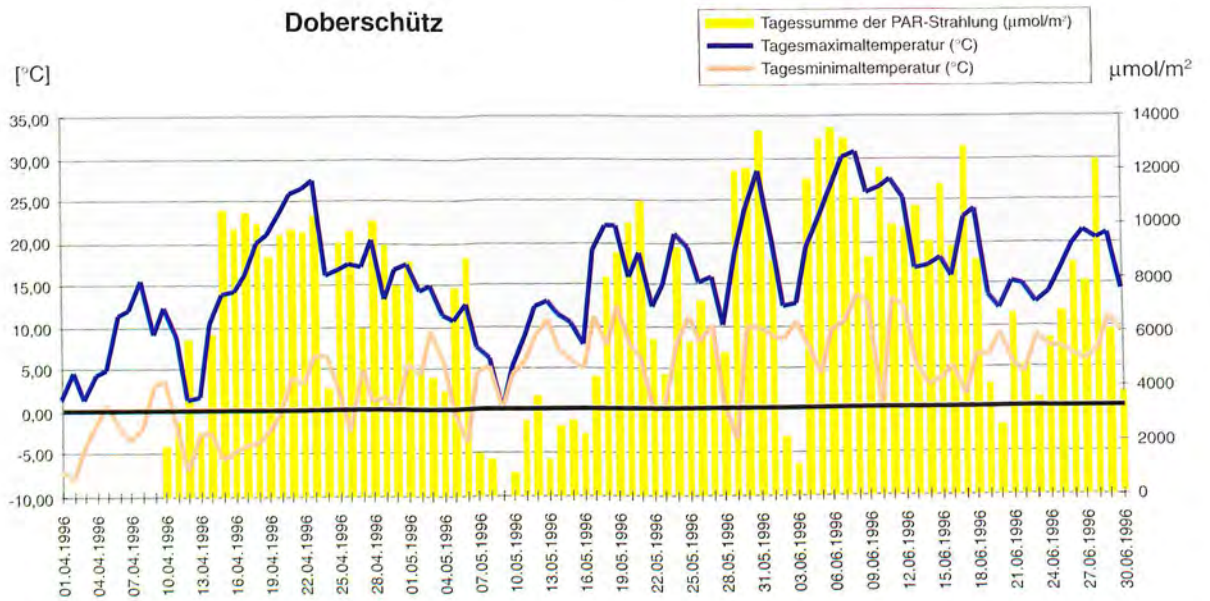


Abb. 3.1-8: Temperaturverlauf und Tagessummen der PAR-Strahlung (Stundenwerte), Waldmeßstation Doberschütz (April bis Juni 1996)

Die kühl-feuchte Witterung während der Vegetationsperiode sorgte 1996 für günstige Wachstumsbedingungen im Mittelgebirge wie auch im Tiefland. Die Ausnahme bildet Nordwestsachsen mit temporären Defiziten in der Wasserversorgung. Forstliche Schadinsekten fanden überwiegend schlechte Entwicklungsbedingungen vor. Ausschlaggebend hierfür waren vor allem die niedrigen Temperaturen und die geringe Strahlungsintensität im Sommer.

3.2 Immissionen

Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Energieträger. So enthält z.B. Braunkohle bis zu 3 % Schwefel, gegenüber der Steinkohle mit ca. 1 % und Heizöl mit ca. 0,2 %. Weltweit werden derzeit etwa 200 Millionen Tonnen SO₂ pro Jahr emittiert. Schwefeldioxid hat eine Verweildauer in der Atmosphäre von 0,2 bis 2 Tagen und kann über Entfernungen bis zu 500 km transportiert werden. Die auf die Vegetation einwirkende Dosis wird einerseits durch die Immissionskonzentration und andererseits durch die Immissionsdauer bestimmt. Beide Faktoren hängen wiederum im wesentlichen von der Höhe der Emission, der Windgeschwindigkeit und Windrichtung, der Turbulenz und dem Abstand vom Emittenden ab. SO₂-Immissionen unterliegen einer jahreszeitlichen Dynamik, da die Kohleverbrennung hauptsächlich im Winter stattfindet. Aus diesem Grund wird der charakteristische "Wintersmog" durch erhöhte SO₂-Konzentrationen hervorgerufen.

Die direkte Schadwirkung von SO₂ auf Pflanzen ist bereits seit 1850 bekannt, die Symptome werden "Klassische Rauchschäden" genannt. Schwefeldioxid schädigt vor allem die Funktion des Spaltöffnungsapparates, die Feinwurzeln und wirkt als Stoffwechselgift.

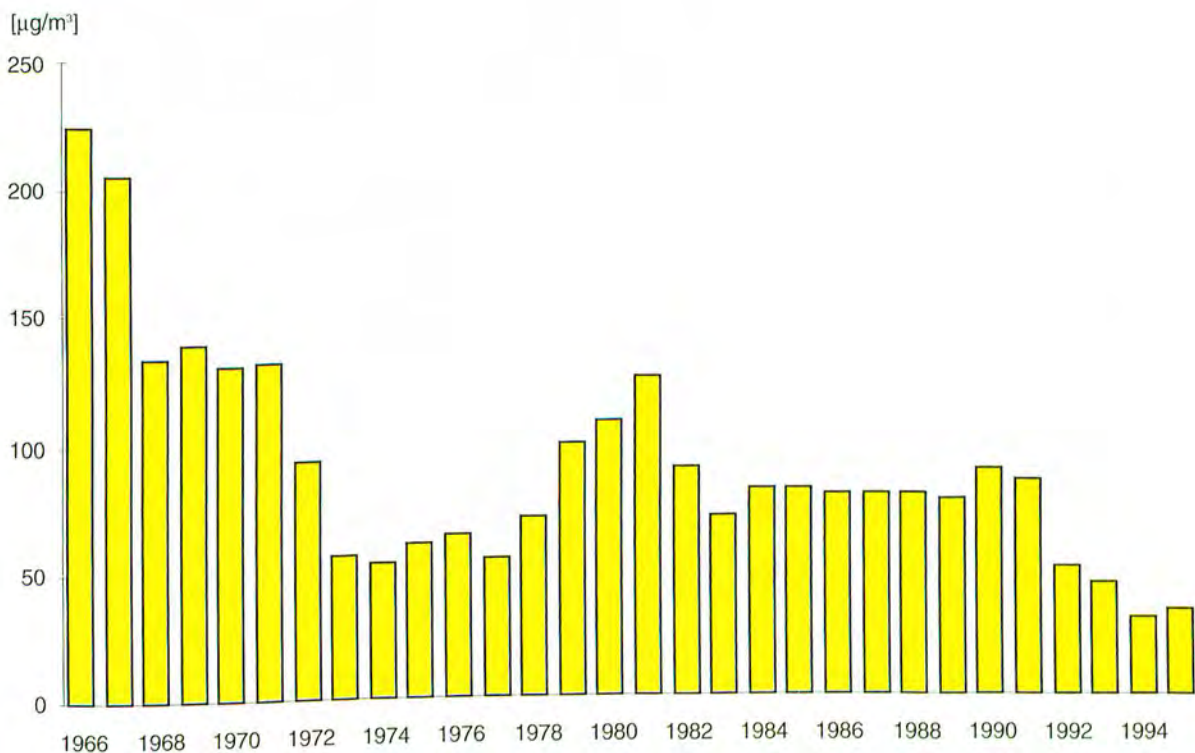


Abb. 3.2-1: Jahresmittelwerte SO₂ [µg/m³] aller Meßstationen der TU Dresden im Erzgebirge

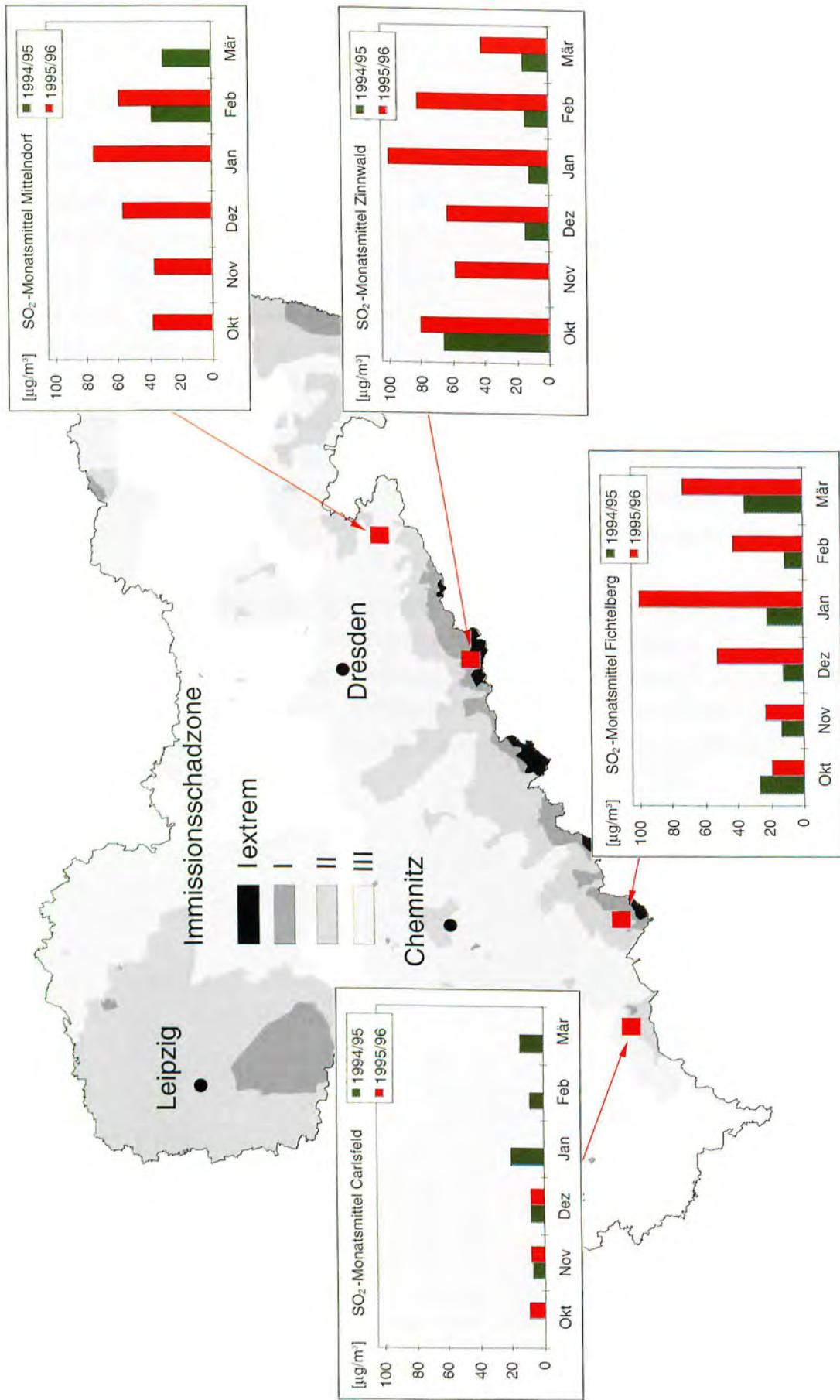


Abb. 3.2-2: Vergleich der Monatsmittel der SO₂-Konzentrationen an ausgewählten Luftmeßstationen des LfUG

In der Folge kommt es zu einem gestörten Wasser- und Nährstoffhaushalt der Pflanzen und zu Nebenwirkungen, wie verminderter Frosthärte, erhöhter Anfälligkeit gegenüber Schadinsekten (z.B. Borkenkäfer) usw.

Die Schadgebiete mit Symptomen "Klassischer Rauchschäden" sind in Sachsen hauptsächlich die Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges. Seit der Mitte des 20. Jh. führen dort SO_2 -Immissionen zum Absterben ganzer Waldbestände. In der Abbildung 3.2-1 sind die SO_2 -Jahresmittelkonzentrationen aller vom Institut für Pflanzenchemie Tharandt der TU Dresden im Erzgebirge betriebenen Meßstationen dargestellt. Die 1966 begonnenen Erhebungen wiesen Schwefeldioxid-Konzentrationen von über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresdurchschnitt auf. In den 80er Jahren lag die SO_2 -Jahresmittelkonzentration relativ konstant im Bereich von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit noch erheblich über dem von der UN/ECE zum Schutz empfindlicher Ökosysteme vorgeschriebenen kritischen Konzentrationswert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Seit 1992 zeichnet sich ein kontinuierlicher Rückgang der SO_2 -Konzentration ab. Im Winter 1995/96 wurden jedoch an Meßstationen im Osterzgebirge wiederum außerordentlich hohe Schwefeldioxid-Konzentrationen gemessen. In der Abbildung 3.2-2 sind die SO_2 -Monatsmittel der Winterhalbjahre 1994/95 und 1995/96 von ausgewählten Meßstationen im Erzgebirge dargestellt. Besonders auffällig sind die hohen SO_2 -Konzentrationen 1995/96 in Zinnwald und auf dem Fichtelberg mit bis zu etwa 10fach höheren Werten als im Vorjahr.

Die Immissionsbelastung im Erzgebirge hängt in starkem Maße von der Windrichtung ab (siehe Abbildungen 3.2-3 und 3.2-4).

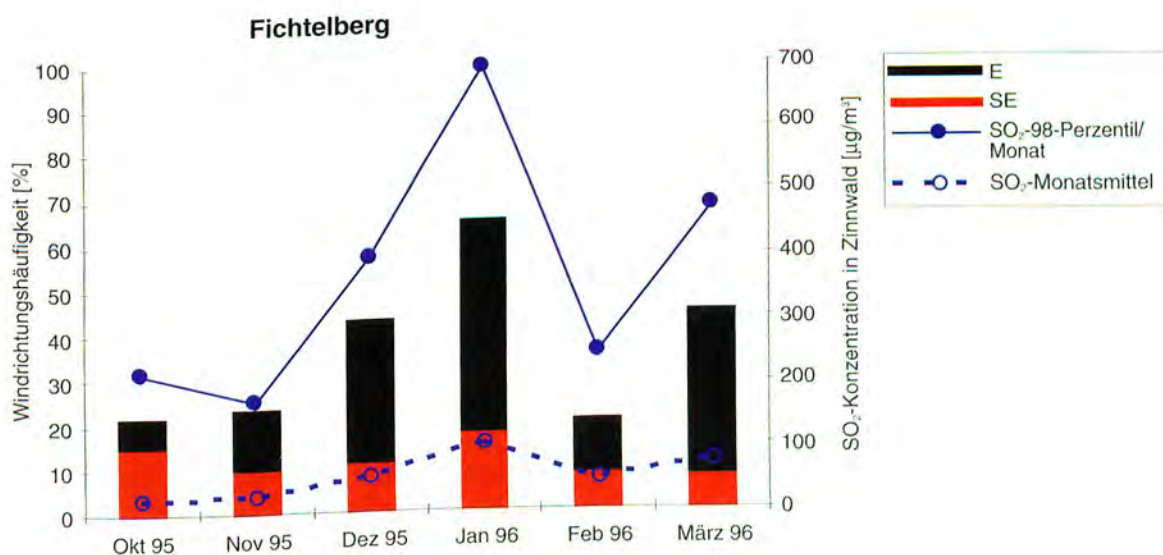


Abb. 3.2-3: Windrichtungshäufigkeit und SO_2 -Konzentration auf dem Fichtelberg

Während in Zinnwald die höchsten SO_2 -Konzentrationen im Januar bei überwiegend süd- bis südwestlicher Windrichtung registriert wurden, waren es auf dem Fichtelberg vorwiegend Ostwinde, welche hohe SO_2 -Konzentrationen verursachten. Die Windrichtungsverteilung auf dem Fichtelberg weicht besonders im Januar deutlich vom langjährigen Mittel ab (Abbildung 3.2-5).

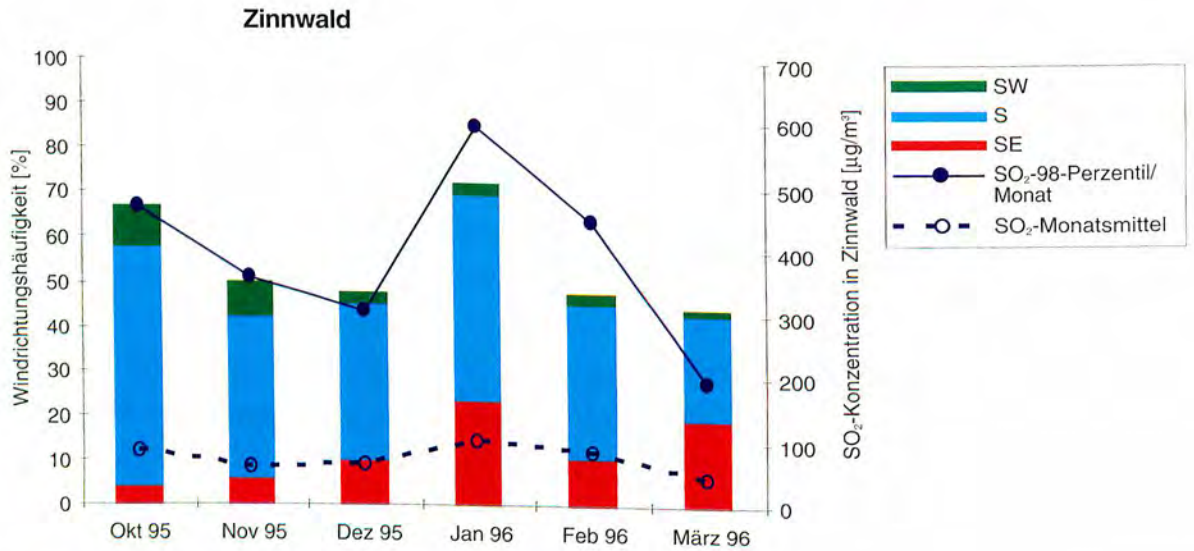


Abb. 3.2-4: Windrichtungshäufigkeit und SO_2 -Konzentration in Zinnwald

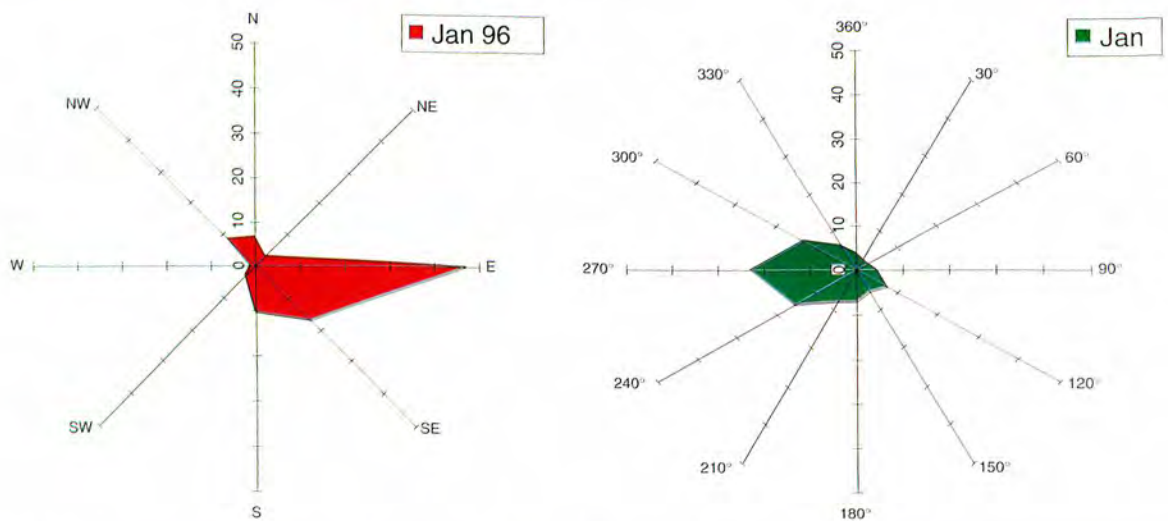


Abb. 3.2-5: Relative Windhäufigkeiten (%) auf dem Fichtelberg - rot: Januar 1996 - grün: langjähriges Mittel 1956-1970 (LfUG, 1996 und Klimadaten der DDR)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß im Bereich des mittleren und östlichen Erzgebirges Süd- bzw. Südost- und Ostwinde die höchsten Schwefeldioxid-Konzentrationen aufweisen. Da im Winter 1995/96 diese Windrichtungen dominierten, kam es zu einer im Vergleich zu den Vorjahren höheren Schwefeldioxid-Belastung in dieser Region. Hinzu kommt, daß im strengen

Winter 1995/96 überdurchschnittlich viel Braunkohle verbrannt und dadurch verstärkt SO_2 emittiert wurde. Als für die Vegetation besonders ungünstig erwiesen sich in diesem Zusammenhang die umfangreichen Nebelfrostablagerungen, welche die Assimilationsorgane für einen längeren Zeitraum schwefelhaltig "einpanzerten". Zu beachten ist, daß ein wesentlicher Anteil des tatsächlich in der Luft vorhandenen Schwefels in wässriger Lösung in Form von schwefliger Säure bzw. Schwefelsäure vorlag und demzufolge bei der Messung der Konzentration des gasförmigen SO_2 nicht erfaßt wurde.

Ozon (O_3)

Bodennahes Ozon besitzt eine Schlüsselrolle im Ursachenkomplex der „Neuartigen Waldschäden“. O_3 ist ein starker Oxidator. Der sekundäre Luftschadstoff O_3 entsteht photochemisch aus den Vorläufersubstanzen NO_x und VOC (flüchtige organische Kohlenwasserstoffe) nach der Abspaltung von atomarem Sauerstoff und ist eine chemische Leitsubstanz für unterschiedliche Photooxidantien. Sowohl das Ozon selbst als auch die Vorläufersubstanzen können über größere Entfernungen transportiert werden. Wettersituationen mit intensiver Sonneneinstrahlung, hohen Temperaturen und geringen Windgeschwindigkeiten fördern die Bildung von atomarem Sauerstoff und in der Folge von Ozon. Die O_3 -Konzentration hängt demnach von meteorologischen Verhältnissen und dem Vorhandensein der Vorläufersubstanzen ab. Anthropogene Vorläufersubstanzen entstehen vorwiegend bei Hochtemperaturverbrennungen. Eine Studie des SANA-Projektes („Sanierung der Atmosphäre über den neuen Bundesländern“) schlüsselt die Emittenten von NO_x und VOC für das Jahr 1992 wie folgt auf (Quelle: Sächsisches Umweltseminar Ozon vom Mai 1995):

Tab. 3.2-1: Anteil (%) an der Emission von NO_x und NMVOC (flüchtige organische Kohlenwasserstoffe außer Methan)

	NO_x	NMVOC
Verkehr	40,7	75,2
Bergbau/Energie	45,5	0,2
Industrie	9,9	12,3
Haushalte	1,4	12,0
Kleinverbraucher	2,5	0,2

Ozon unterliegt einem typischen Jahresgang mit den Maximalwerten in den Sommermonaten. Es ist ein wesentlicher Bestandteil des sogenannten "Sommermogs". Der Straßenverkehr stellt eine vorrangige Emissionsquelle für anthropogene Vorläufersubstanzen des Ozons dar. Jedoch ist nach Untersuchungen des Umweltbundesamtes (1996) trotz weiter steigenden Verkehrsauf-

kommens infolge von Verbesserungen an Kraftfahrzeugen und Kraftstoffen mit einer Reduzierung der Schadstoffemissionen bei VOC um ca. 2/3 und bei NO_x um ca. 15 % bis 2005 zu rechnen.

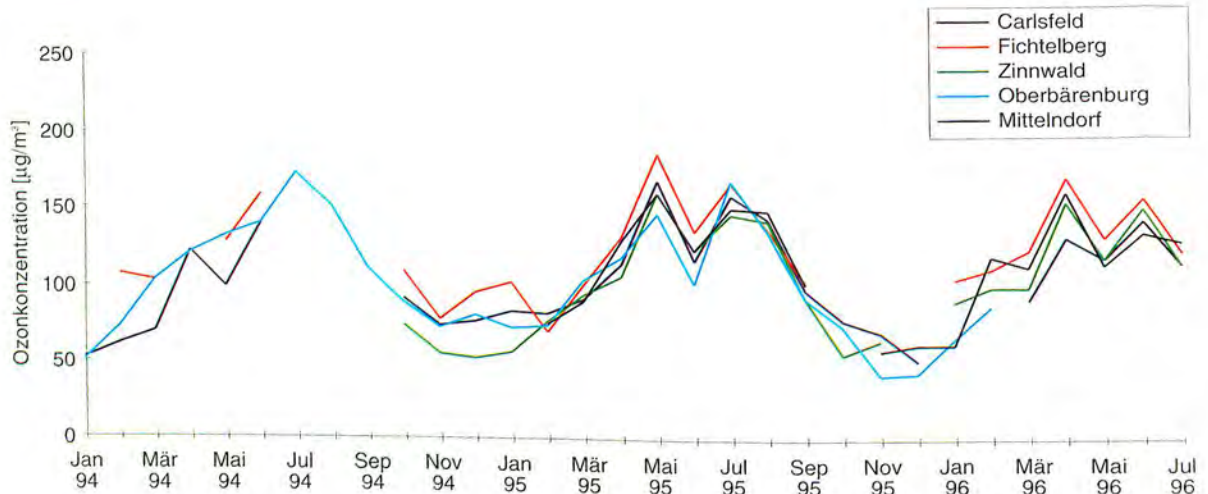


Abb. 3.2-6: 98-Perzentile der Ozonkonzentration/Monat [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 1994 bis Juli 1996, Meßstationen Carlsfeld, Fichtelberg, Zinnwald und Mitteldorf (LfUG), sowie Oberbärenburg (TU Dresden)

Die O_3 -Konzentrationen erreichten 1996 trotz der für die Ozonbildung ungünstigen Witterungsverhältnisse (vgl. Kapitel 3.1) in etwa das Niveau von 1995 (Abbildung 3.2-6). Die höchsten Werte wurden 1996 überwiegend im verhältnismäßig warmen Monat April gemessen. In Oberbärenburg (Meßstation der TU Dresden) wurde der zum Schutz der Vegetation vorgegebene Schwellenwert (22.BImSchV) von $>65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 h-Wert) 1994 an 203 und 1995 an 168 Tagen überschritten. Für die Meßstation Radebeul-Wahnsdorf konnte anhand der ab 1971 geführten Zeitreihe eine Zunahme der mittleren Jahres-Ozonkonzentration nachgewiesen werden. Der vom LfUG ermittelte jährliche Zuwachs beträgt $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stickstoff (N)

Stickstoff kann in der oxydierten Form von Stickoxiden (NO_x) aber auch in reduzierter Form von Ammoniumverbindungen (NH_y) als Schadstoff relevant werden. Das durch N-Verbindungen induzierte Pflanzenwachstum kann Mangelercheinungen 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. Bei den anthropogenen Emittenten spielt der Kraftverkehr eine wichtige Rolle (siehe Tab. 3.2-1). Eine Maßnahme zur Senkung der Emission von Stickoxiden im Straßenverkehr stellt der umfassende Einsatz von Fahrzeugen mit geregelter Katalysator dar. In Sachsen emittieren die

PKW mit geregelter Katalysator mit einem Anteil von ca. 43 % aller PKW (gemessen an der Anzahl bzw. am Kraftstoffverbrauch) nur 15,7 % des NO_x (LfUG, 1996). Die Monatsmittelwerte der NO_x -Konzentration ausgewählter Meßstationen sind in Abbildung 3.2-7 dargestellt.

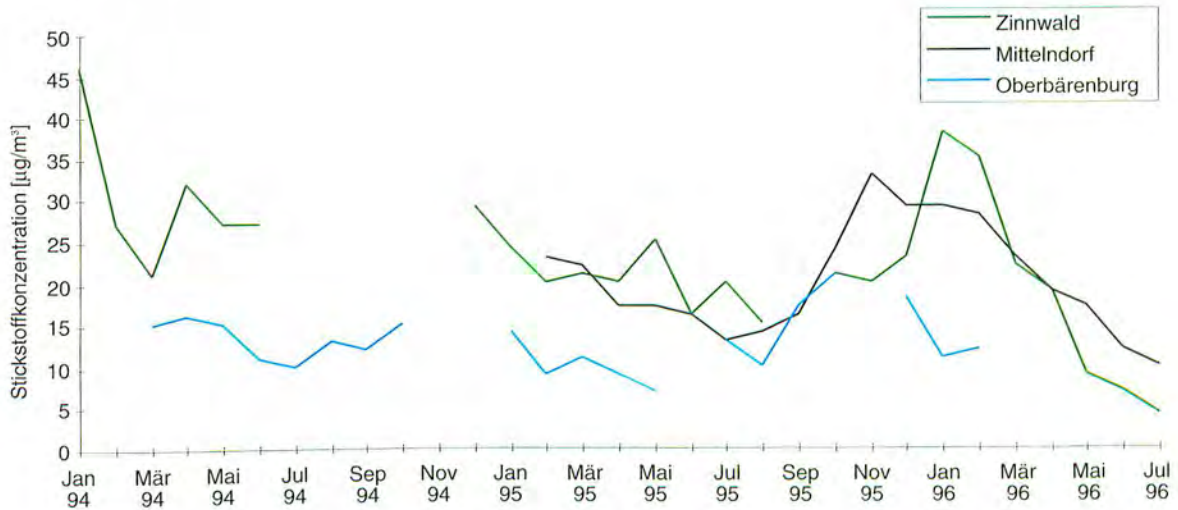


Abb. 3.2-7: NO_x -Monatsmittelwerte [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 1994 bis Juni 1996 für die Meßstationen Zinnwald, Mitteldorf (LfUG) und Oberbärenburg (TU Dresden)

NH_y -Emissionen werden zu etwa 80 % bei der landwirtschaftlichen Produktion frei (LfUG, 1996). Seit 1989 zeichnet sich ein kontinuierlicher Rückgang der Emission von Ammoniumverbindungen ab, der vor allem auf den Abbau der Tierbestände in der Landwirtschaft und auf einen geringeren Düngemiteleinsetz zurückzuführen ist. 1989 betrug die flächenbezogene Emission von Ammoniumverbindungen (bei angenommener gleichmäßiger Verteilung) 35 $\text{kg}/\text{ha}^*\text{a}$, 1994 dagegen etwa 14 $\text{kg}/\text{ha}^*\text{a}$ (LfUG, 1996).

3.3 Stoffeinträge in sächsische Waldökosysteme

Nach 1989 hat eine drastische Veränderung der Immissions- und Emissionsverhältnisse in den neuen Bundesländern stattgefunden. Wie die Ergebnisse des Verbundprojektes SANA (Sanierung der Atmosphäre in den neuen Bundesländern) zeigen, sind bis 1992 die Einträge von SO_2 auf rund 50 %, die von Staub auf nur noch 20 % zurückgegangen und stagnieren seitdem auf diesem Niveau. Als besonders auffällig wurde der starke Abfall der Ca^{2+} -Gehalte im Niederschlag auf <25 % des Vorwendewertes, des Sulfatgehaltes auf etwa 50 % und der Cl-Konzentration auf <50 % festgestellt. Demgegenüber ergab sich ein Anstieg des NO_x -Gehaltes um knapp 30 % sowie eine drastische Erhöhung der Protonen im Niederschlag um etwa 250 %.

Die momentane Reaktion der Waldökosysteme auf diese veränderten Stoffeinträge ist vielfältig und muß für die Stabilität der meisten Waldökosysteme Sachsens auch auf lange Sicht als ungünstig eingeschätzt werden. Dies zeigen die Ergebnisse auf den 6 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF) der LAF (Tabelle 3.3-1). In diesen Meßflächen werden insbesondere die Stoffflüsse im Freiland- und Bestandesniederschlag (Kronentraufe) sowie die chemischen Parameter in der Bodenlösung und die Elementausträge mit dem Sickerwasser kontinuierlich und weitgehend repräsentativ für die bedeutendsten Waldökosysteme Sachsens erfaßt.

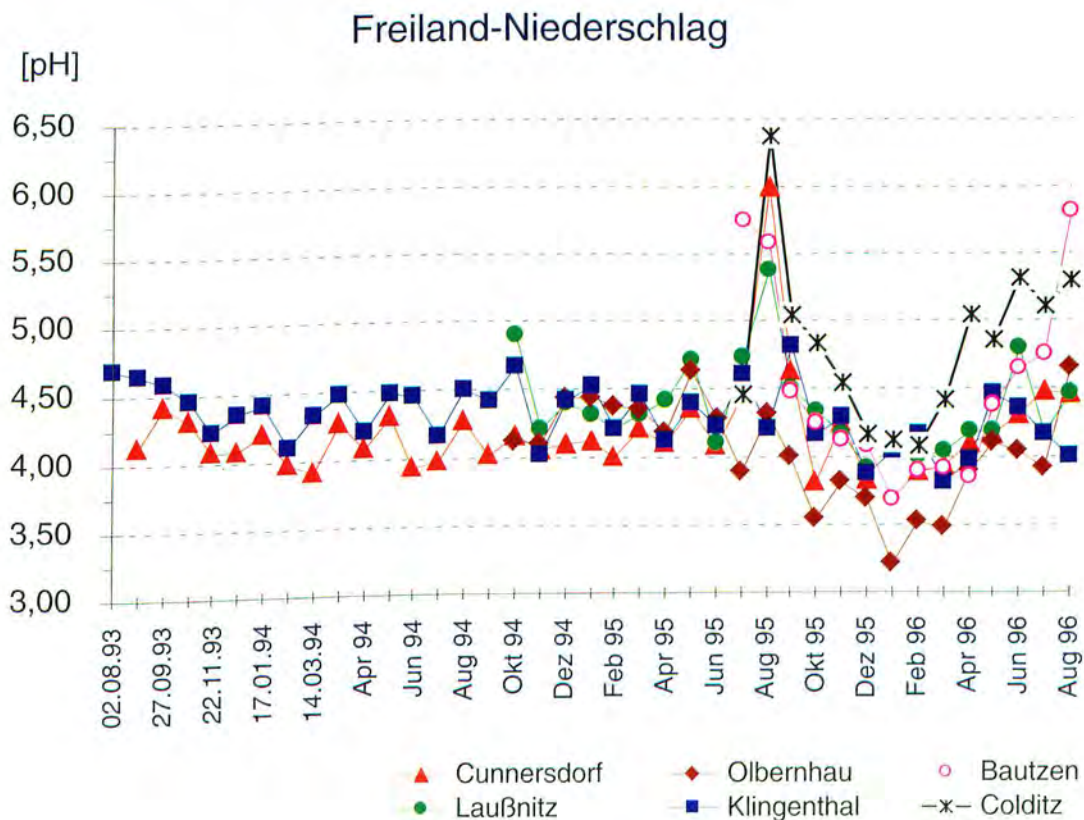
Tab. 3.3-1: Kurzbeschreibung zu den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II) in Sachsen

lfd. Nr. EU-No.	Wuchsgebiet Wuchsbezirk-Nr.	Sächsisches Forstamt	Hochwert	Rechtswert	Geologie	Höhe (m)	Bestand Alter (1995)	Betrieb seit/ab
1 041401	82 Erzgebirge 8201	Klingenthal	558765	453802	Eibenstocker Granit	840	Fichte 76	07.1993
2 041402	82 Erzgebirge 8202	Olbernhau	561130	459260	Grauer Gneis	720	Fichte 104	10.1994
3 041403	83 Elbsandstein- gebirge 8302	Cunnersdorf	563540	544035	Quadersand- stein mit Lößlehm	440	Fichte 91	07.1993
4 041404	84 Oberlausitzer Bergland	Bautzen	566530	547050	Lausitzer Granodiorit	440	Fichte 80	07.1995
5 041405	68 Dübener-Nieder- lausitzer Altmoränenland 6808	Laußnitz	567925	541760	diluvialer Decksand	170	Kiefer 87	10.1994
6	72 Sächs.-Thüring. Löß-Hügelland 7202	Colditz	567235	455775	Lößlehm	185	Eiche 42	07.1995

Sämtliche Stationen sind seit 1994 in das Dauerbeobachtungsflächenprogramm der Europäischen Union (EU) zur Erfassung der Ursache-Wirkungs-Beziehungen von Waldschäden (= Level II) integriert. Die Untersuchungen werden seitens der EU finanziell unterstützt und bilden zusammen mit der z.Zt. landesweit auf ein 4x4 km-Netz erweiterten periodischen Bodenzustanderhebung (BZE = Level I) ein Programm zur kontinuierlichen Überwachung der sächsischen Waldökosysteme.

3.3.1 Entwicklung der pH-Werte und der Elementkonzentrationen von $\text{SO}_4\text{-S}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ im Niederschlag

Der Säuregrad nicht belasteter Niederschläge im Gleichgewicht mit dem CO_2 -Partialdruck der Luft beträgt pH 5,6. Die pH-Werte im Niederschlag der Meßstandorte liegen meist erheblich tiefer (Abbildung 3.3-1). Sie weisen damit auf Fremdstoffeinträge hin, die sich regional unterschiedlich ausprägen. So zeigt der Vergleich der zwei bereits seit Juli 1993 betriebenen Stationen, daß sowohl der Freiland- als auch der Bestandesniederschlag in einem Fichtenaltbestand des Elbsandsteingebirges (SäFoA Cunnersdorf) meist deutlich saurer sind als in dem Vergleichsbestand des oberen Westerzgebirges (SäFoA Klingenthal). Ursache sind die dominierenden Gehalte von SO_2 und NO_x in der Atmosphäre, die über die Säurebildung zu hohen Konzentrationen von SO_4^{2-} und NO_3^- im Niederschlag führen.



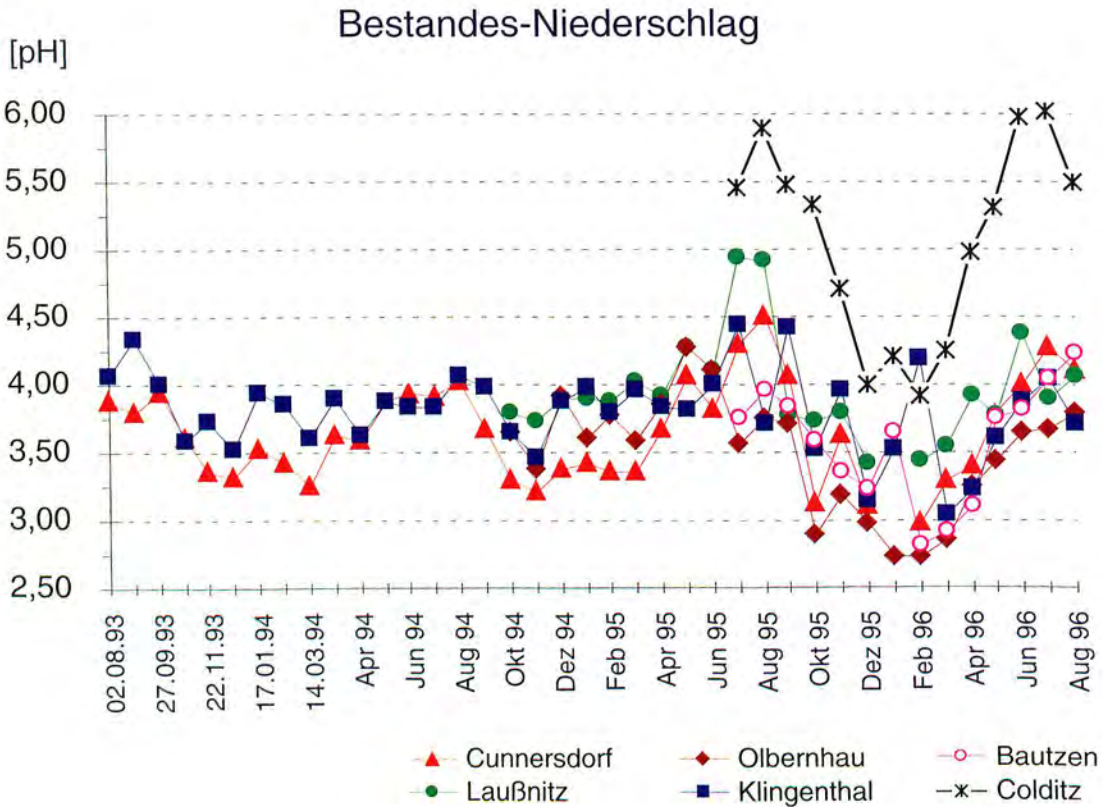


Abb. 3.3-1: Entwicklung der pH-Werte im Freiland- und Bestandes-Niederschlag der 6 Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II)

Sulfat-Schwefel weist dabei eine deutliche Jahresrhythmik auf. So steigen die Werte im Niederschlag unterhalb der Baumkrone im Herbst und in den Wintermonaten auf das 3 bis 10fache der übrigen Jahreszeit (Abbildung 3.3-2). Das führte im Winter 1995/96 zu drastischen, langfristigen Einbrüchen auf pH-Werte bis zu 2,5. Damit kam es gegenüber dem Vorwinter zu einer etwa 10fachen Erhöhung der Säurekonzentration vor allem im Bestandesniederschlag des Fichtenaltbestandes in Olbernhau. Auffällig höhere pH-Werte traten in Verbindung mit niederschlagsarmen Perioden besonders im Sommer 1995 auf. Dies ist vorwiegend auf das Abwaschen basischer Stäube von den Nadeloberflächen zurückzuführen.

Da auch die anderen Meßflächen im Winterhalbjahr 1995/96 einen deutlichen pH-Einbruch zu verzeichnen haben, kann von einer erhöhten Schadstoffbelastung der Waldökosysteme auch außerhalb der Erzgebirgsregion ausgegangen werden.

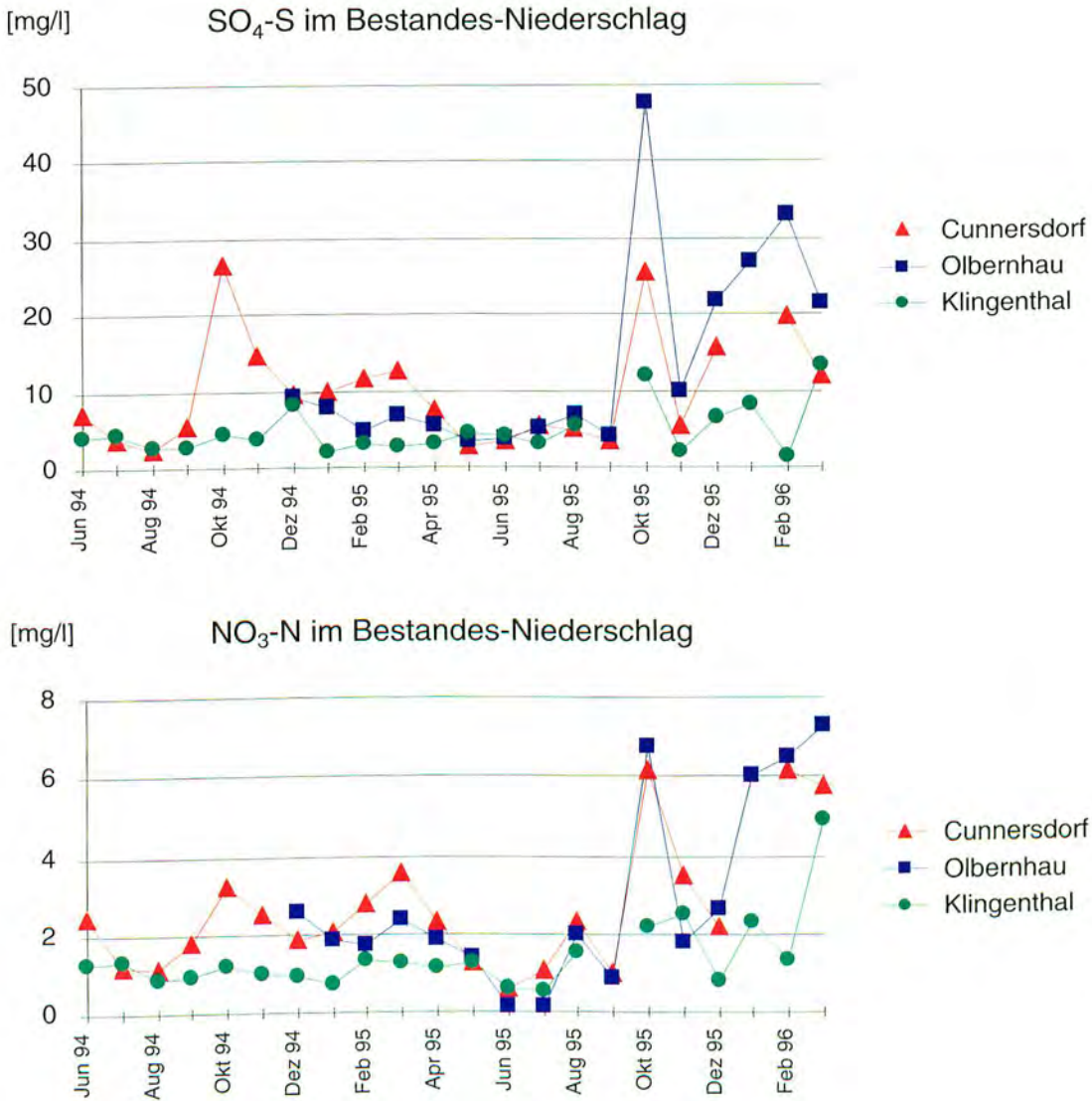


Abb. 3.3-2: Entwicklung der Konzentrationen von $\text{SO}_4\text{-S}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ in der Kronentraufe der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF) Cunnersdorf (Elbsandsteingebirge), Olbernhau (mittleres Erzgebirge) und Klingenthal (westliches Erzgebirge)

3.3.2 Monatliche und jährliche Elementeinträge

Zwischen der Niederschlagsdeposition auf freier Fläche (Freiland) und der Deposition unter dem Kronendach am Waldboden (Kronentraufe) bestehen erhebliche Unterschiede. Das Kronendach wirkt wie ein Filter. Trockene gas- und staubförmige Luftinhaltsstoffe sowie im Regen gelöste Elemente werden an den Blattorganen zeitweilig angelagert, teilweise aufgenommen (besonders Stickstoff und Schwefeldioxid) bzw. chemisch umgewandelt und mit dem Regen wieder abgewaschen. Zudem werden besonders Kalium, Calcium, Stickstoff und Magnesium unterschiedlich stark aus den Nadeln ausgewaschen.

Der Schwefeleintrag des Fichtenaltbestandes in Olbernhau hatte nach den 5 Wintermonaten November 1995 bis März 1996 mit 45 kg $\text{SO}_4\text{-S/ha}$ bereits über 70 % des letzten Jahreseintrages von 64 kg/ha erreicht. Beim Säureeintrag stellt sich das Verhältnis noch weit krasser dar: 2,6 kg Protoneneintrag (H^+) pro Hektar von November 1995 bis März 1996 gegenüber 2,0 kg/ha von November 1994 bis Oktober 1995. Dies ist einerseits Ausdruck einer nur noch geringen Neutralisierung der Säuren in der Atmosphäre, aber andererseits auch Hinweis auf die stark eingeschränkte Fähigkeit und Überforderung der Blattoorgane zur Pufferung der eingetragenen Säure durch Austauschreaktionen an den Blattoberflächen (Abb. 3.3-3).

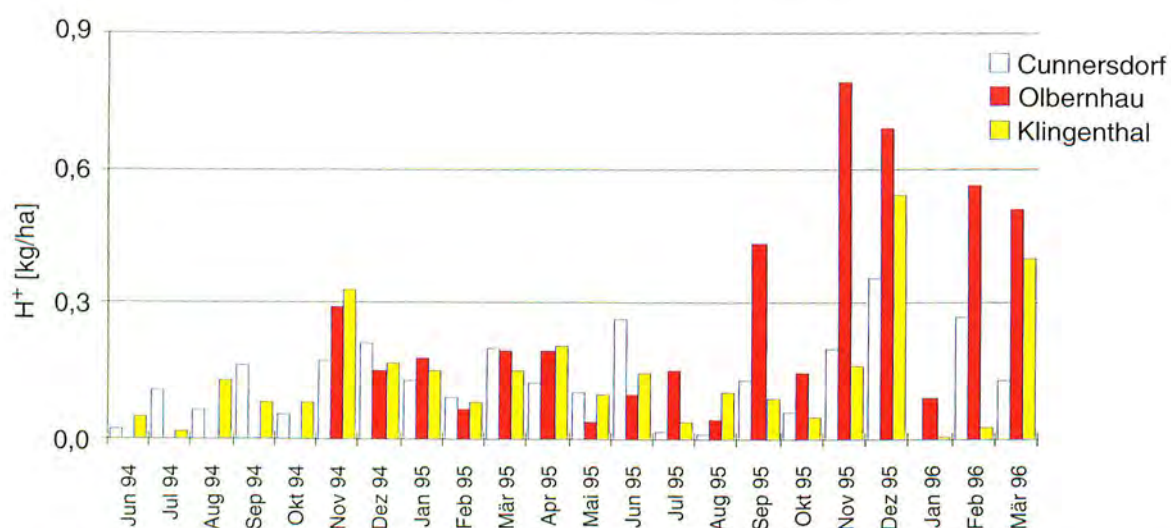


Abb. 3.3-3: Entwicklung der monatlichen Protoneneinträge (H^+) in den Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Cunnersdorf, Olbernhau und Klingenthal.



Abb. 3.3-4: Blick in die Forstliche Dauerbeobachtungsfläche Klingenthal

Auf der Grundlage des hydrologischen Jahres 11/94-10/95 wurden die jährlichen Stoffflüsse der wichtigen Kationen (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , H^+ , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} und NH_4^+) und Anionen (SO_4^{2-} , Cl^- und NO_3^-) der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen Olbernhau, Cunnersdorf, Klingenthal und Laußnitz kalkuliert. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 3.3-5 für die Elemente Gesamt-N (= $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$), $\text{SO}_4\text{-S}$, K, Ca und Mg dargestellt.

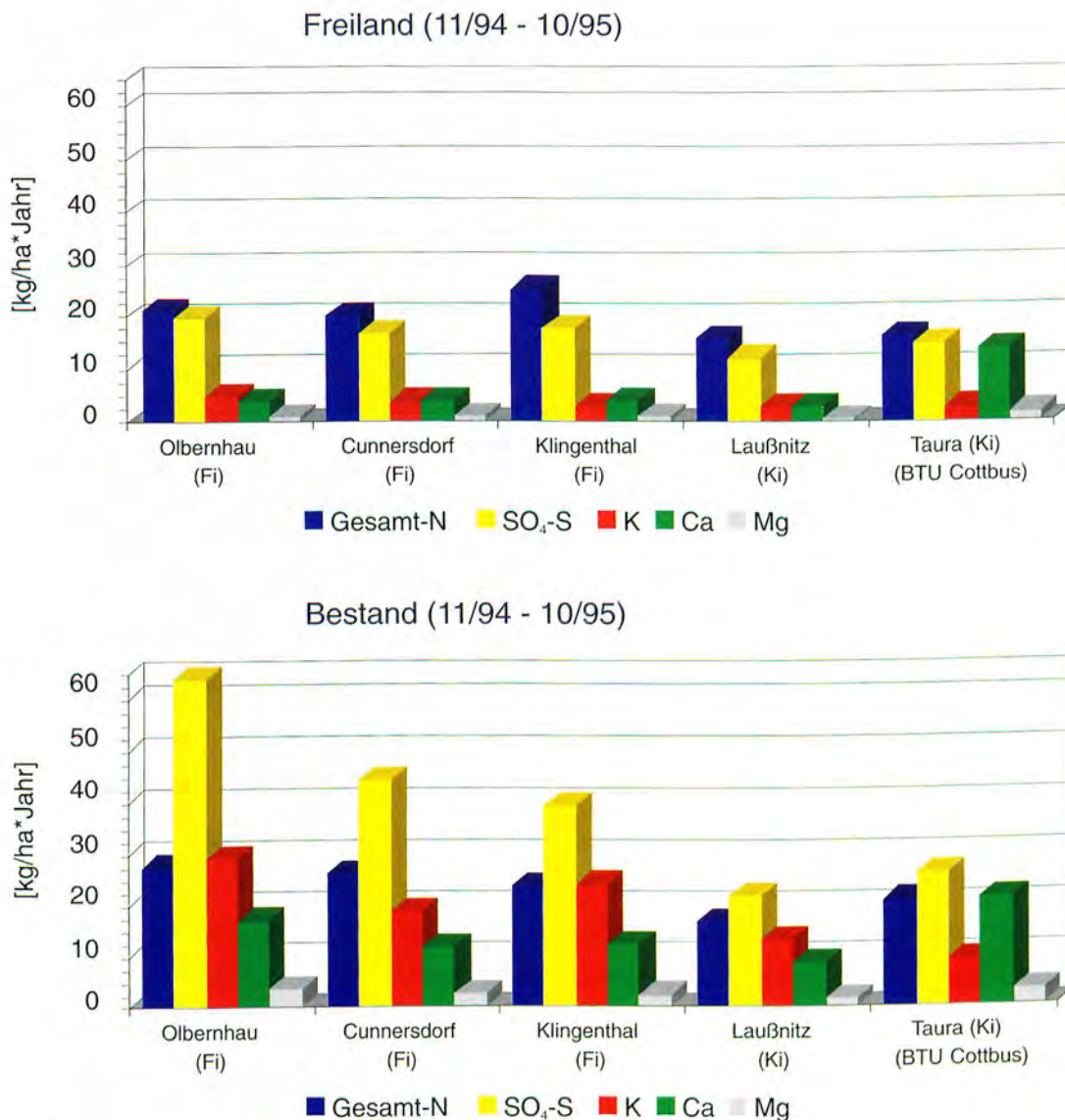


Abb. 3.3-5: Jährliche Elementeinträge mit den Niederschlägen im Freiland und im Bestand (Kronentraufe) für das hydrologische Jahr 11/94 - 10/95 (zum Vergleich die Werte für 11/93 - 10/94 im Meißfeld der TU Cottbus in Taura: pleistozänes sächsisches Tiefland)

Abgesehen von Jahren mit extremen meteorologischen Verhältnissen ist die jährliche Belastung durch **Schwefeleinträge** danach im mittleren Erzgebirge (Olbernhau) mit ca. 64 kg pro Hektar und Jahr am höchsten und mit etwa 46 kg im Elbsandsteingebirge (Cunnersdorf) erheblich. Das

westliche Erzgebirge (36 kg in Klingenthal) und die Station Laußnitz (22 kg) sind geringeren Schwefel-Belastungen ausgesetzt. Generell ist der S-Eintrag im Waldbestand etwa 2,5mal höher als im Freiland. Das verdeutlicht die starke Filterwirkung von Baumkronen.

Der jährliche **Stickstoffeintrag** ist auf sämtlichen Stationen relativ hoch und liegt im Meßfeld Laußnitz bei 18 kg/ha bzw. zwischen 27 und 29 kg/ha in den anderen Meßflächen. Er setzt sich etwa hälftig aus $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ zusammen. Kronenraumbilanzen verweisen für die Fläche Klingenthal zudem auf bedeutende N-Aufnahmeraten im Kronenraum, so daß der tatsächliche N-Eintrag in zahlreichen Waldbeständen noch beträchtlich höher anzusetzen ist.

Damit befinden sich die Schwefel- und Stickstoffeinträge, trotz einer annähernden Halbierung beim Schwefel seit 1988, weiterhin auf einem für Waldökosysteme zu hohen Niveau.

Die gegenüber dem Freiland 5 bis 6fach erhöhten **Kalium-Flüsse** in der Kronentraufe verweisen auf hohe K-Auswaschungsraten der Nadeln. Damit muß der weit überwiegende Teil des Kaliums im Bestandesniederschlag dem engeren internen Elementkreislauf von Elementaufnahme durch die Wurzeln und Elementtransport in die Blattzellen zur Abpufferung der sauren Niederschläge an den Blattoberflächen zugerechnet werden. Ähnlich sind die Verhältnisse beim Calcium zu bewerten.

3.4 Ökochemische Konsequenzen der langfristigen Schadstoffeinträge in sächsische Waldökosysteme

Der zunehmende Säureeintrag in Waldökosysteme in Verbindung mit der Industrialisierung seit dem letzten Jahrhundert („Saurer Regen“) hat großflächig den Prozeß einer natürlichen Bodenversauerung durch die andauernde Überforderung der Pufferfähigkeit der Böden bei gleichzeitigem, unwiederbringlichen Verlust von „basischen“ Kationen mit dem Sickerwasser um Größenordnungen beschleunigt. Die Protonen (H^+) der abgepufferten Säuren (Kohlensäure, organische Säuren, Salpetersäure und Schwefelsäure) bleiben im Boden zurück, während die Basen vorwiegend als Calciumnitrat oder Calciumsulfat mit dem Sickerwasser abgeführt werden. Fällt der pH-Wert des Bodens unter 5,0, steigt die Gefahr von Säuretoxizität für die Bodenorganismen. Da die Leistungsfähigkeit des Puffersystems im pH-Bereich zwischen 5,0 - 4,2 (Austauscher-Pufferbereich) im Verhältnis zur Höhe der Belastung jedoch begrenzt ist, liegt in den meisten europäischen Waldböden bereits vorherrschend der Aluminium-Pufferbereich vor (pH 3,8 - 4,2). Damit wird der Lebensraum Boden zunehmend von lebensfeindlichen Ionen ohne Nährstoffbedeutung beherrscht, mit der Folge seiner biologischen Verödung. Die Verdrängung der Kationbasen (K, Ca und Mg) durch Kationsäuren (H, Al, Mn, Fe) von der Austauscher-

oberfläche der Bodenkolloide ist weit fortgeschritten und somit die Pufferfähigkeit der Böden gegenüber dem Säureeintrag vielfach erschöpft. Die Böden sind an den Elementen Calcium und Magnesium stark verarmt. Sinkt die Basensättigung unter 15 %, so kommt es vor allem zur Reaktion mit den an den Ionenaustauscher (Bodenkolloide) gebundenen Aluminiumionen und deren Übertritt in die Bodenlösung. Dies kann bei den relativ säuretoleranten einheimischen Baumarten wie Buche, Eichen, Tanne, Fichte und Kiefer zu Säurestreß und zu einer Einschränkung der Nährstoffaufnahme führen. Die Bäume reagieren mit Wurzelschäden aufgrund von Calciummangel oder zeigen Blattverfärbungen, die durch Magnesium-, Kalium- und Spurennährstoffmangel bedingt sein können. Wegen des sauren Sickerwassers sind auch die Untergrund- und Oberflächengewässer im Wald versauert und die Qualität des Trinkwassers ist entsprechend gefährdet.

3.4.1 Säuregrad der Waldböden

Die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte kennzeichnen den aktuellen Säurezustand des Bodens. Die entsprechenden Meßwerte verdeutlichen, daß die Böden in den Dauerbeobachtungsflächen Bautzen und Cunnersdorf stark und tiefreichend versauert sind. Es dominieren der Aluminium (Al)- und der Aluminium/Eisen (Al/Fe)-Pufferbereich (pH : 3,8 - 4,2 bzw. 3,0 - 3,8). Gleiches trifft für die Oberböden in den Meßflächen Klingenthal, Laußnitz und Colditz zu, während sich deren Unterböden noch selten bis häufig (Colditz) im Austauscher-Pufferbereich (pH : 4,2 - 5,0) befinden (Abbildung 3.3-6).

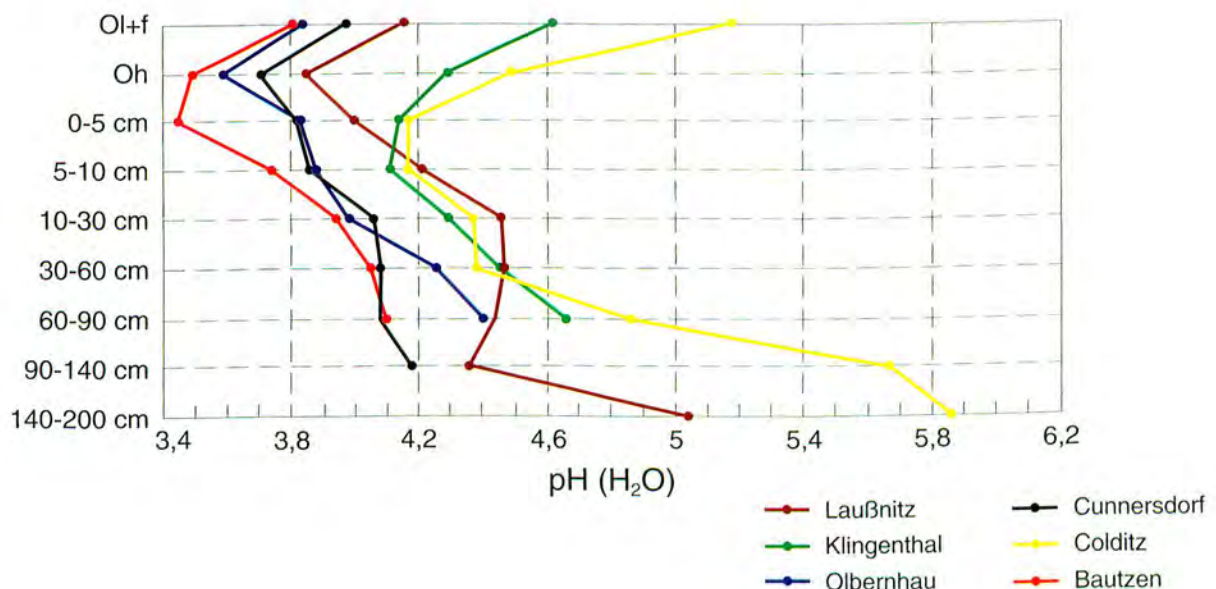


Abb. 3.3-6: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ in der Humusaufgabe (Ol+f und Oh) und nach Tiefenstufen im Mineralboden der Forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (DBF = Level II; Mittelwerte aus je 3 Profilen)

Die Bodenversauerung in den sächsischen Wäldern hat darüberhinaus großflächig Bedeutung. Das zeigen die $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte aus der Bodenzustandserhebung (BZE) unter Wald (68 Probe-
punkte im 8x8 km-Netz), die im Freistaat Sachsen 1992/93 nach einem bundesweit abgestimm-
ten Verfahren erfolgte (Abbildung 3.3-7).

Die linksschiefe, zu den Minimal-Werten hin orientierte Verteilung der mittleren pH -Werte ver-
deutlicht, daß sich die überwiegende Anzahl der untersuchten Standorte im Aluminium- bzw.
Aluminium/Eisen-Pufferbereich befindet. Der Vergleich mit den pH -Werten der Dauer-
beobachtungsflächen (Abbildung 3.3-6) zeigt ferner, daß der Anspruch, mit ihnen das stand-
örtliche Spektrum bodenchemischer Verhältnisse in Sachsen im Rahmen einer kontinuierlichen
Beobachtung möglichst repräsentativ zu erfassen, relativ gut erfüllt wird.

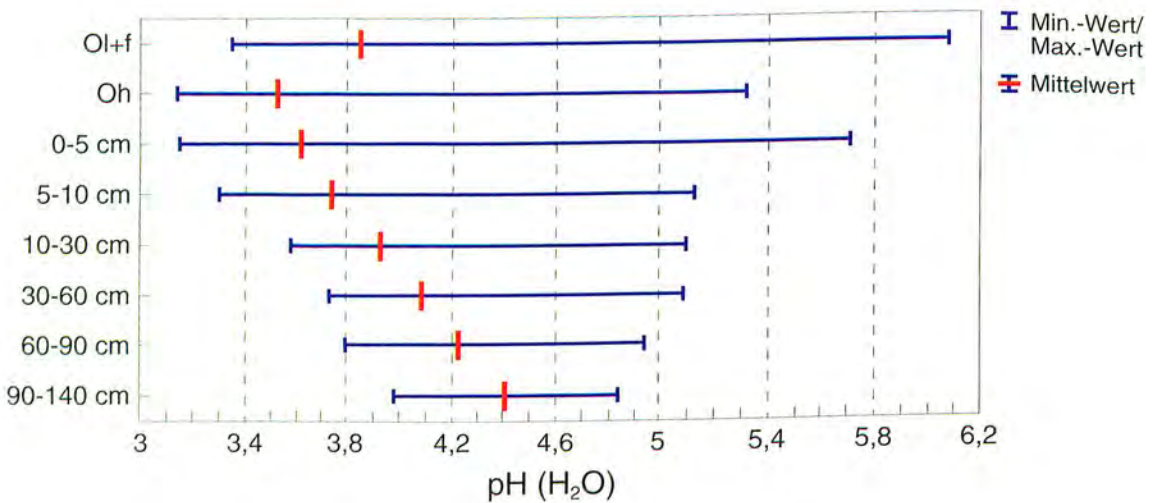


Abb. 3.3-7: Min.- Werte, Max.- Werte und Mittel-Werte von $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ in den Tiefenstufen der BZE-Profile
Sachsens (67 Punkte, ohne Bodenprofil auf Basalt)

Bei den vorgefundenen pH -Werten kann angenommen werden, daß die effektive Kationenaus-
tauschkapazität (AKe), die den Gesamtpool der an die Bodenkolloide austauschbar gebundenen
und für die Pflanzenaufnahme sowie für die Pufferprozesse zur Verfügung stehenden Kationen
umfaßt, eine anhaltend abnehmende Tendenz zeigt. Dies geschieht einerseits durch den Vorgang
des Kationenverlustes im Verlauf des Versauerungsprozesses, andererseits aufgrund der Blok-
kierung von Austauschplätzen über die Anlagerung von Aluminium-hydroxo-Komplexen im
Zwischenschichtraum der Tonminerale bei pH -Werten zwischen 4,2 und 5,0. Auf Sand-
standorten ist die Austauschkapazität bereits infolge geringer Ton- und Humusanteile niedrig.

Im Aluminium-Pufferbereich werden die auf der Oberfläche der Bodenkolloide angelagerten Al-Hydroxide (der Austauscher kann bis zu 95 % mit Al belegt sein) verstärkt in die Pufferprozesse einbezogen und Al^{3+} -Ionen in die Bodenlösung abgegeben. Sie erreichen dort Konzentrationen, die auch für säuretolerante Vegetationsformen (u.a. Nadelholzbestockungen) ökophysiologisch wirksam bis toxisch sind.

Im Eisen-Pufferbereich werden Säuren über die Auflösung von Eisenoxiden gepuffert, wobei es zur Verlagerung von Eisen mit den markanten Farbänderungen im Oberboden kommt, die als Podsolierung bekannt sind.

3.4.2 Basensättigung und Nährstoffvorräte der Böden

Von den 6 Dauerbeobachtungsflächen besitzen nur die Böden in Colditz eine Basensättigung von über 15 %, dies aber erst ab einer Bodentiefe von 30 cm. Die typischen Verhältnisse der Kationenbelegung des Austauschkomplexes der übrigen Untersuchungsflächen werden durch den Standort Klingenthal (Abbildung 3.3-8) wiedergegeben. Er weist in sämtlichen Tiefenstufen

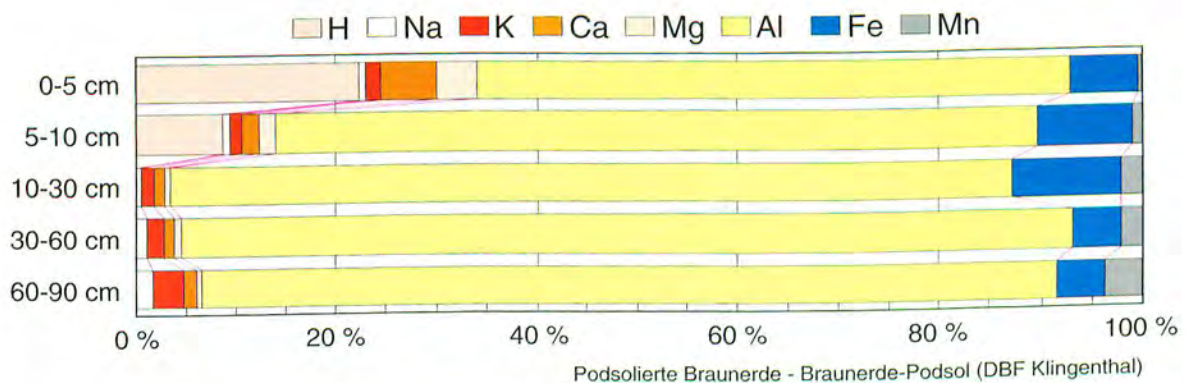
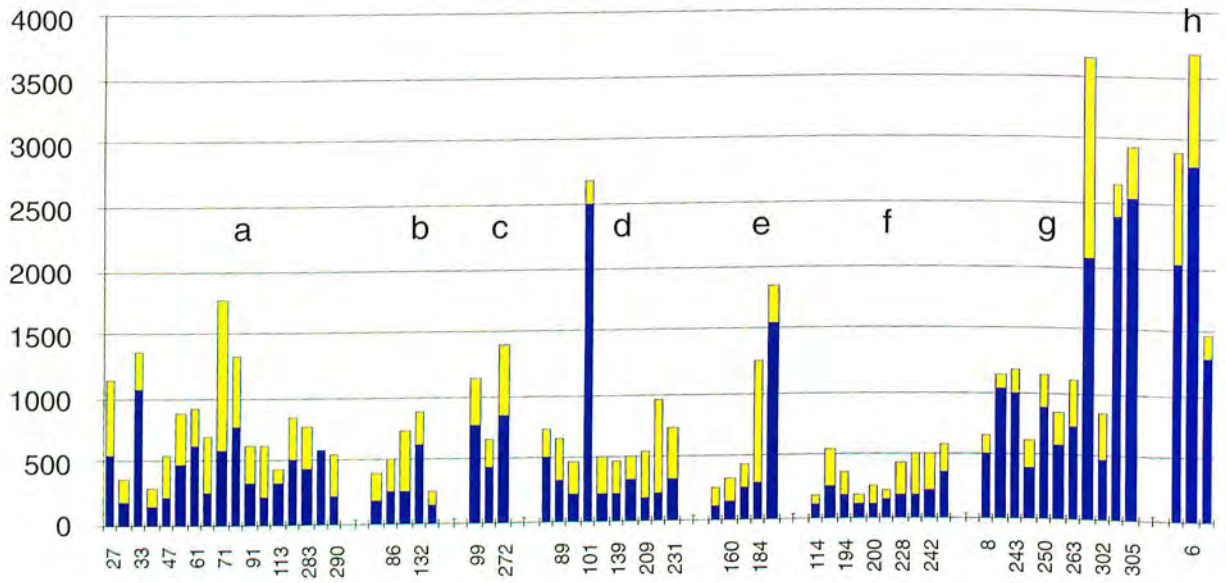


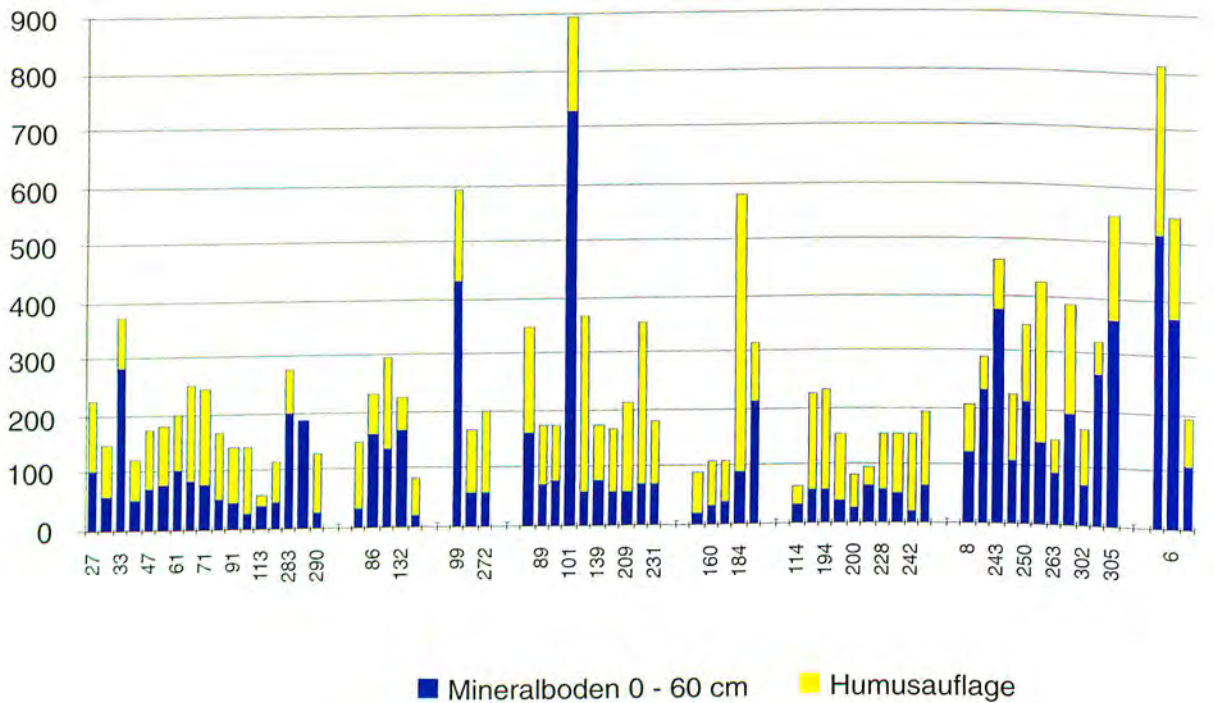
Abb. 3.3-8: Anteile (%) der Kationen an der effektiven Kationenaustauschkapazität (AKE) im Mineralboden der DBF Klingenthal

Basensättigungsgrade von zumeist weit unter 10 % auf. Es kann davon ausgegangen werden, daß dies der normale Fall in den sächsischen Waldböden über Gneis, Phyllit, Schiefer, Granit und Sandstein ist. Entsprechend gering sind die in den Böden austauschbar gespeicherten Vorräte an den Nährelementen Calcium, Kalium und Magnesium. Für die Fichtenbestände in Klingenthal und Olbernhau zeigt sich z.B., daß deren Nährstoffversorgung bzw. der Aufbau einer neuen Bestandesgeneration aus den im Boden derzeit austauschbar gebundenen Nährelementvorräten gefährdet ist, wenn diese nicht aus der Silikatverwitterung und Humusmineralisierung bzw. durch Stoffeinträge (Deposition, Kalkung) aufgefüllt werden.

Calcium-Vorräte (kg/ha)



Magnesium-Vorräte (kg/ha)



■ Mineralboden 0 - 60 cm ■ Humusauflage

Abb. 3.3-9: Übersicht zur Verteilung der Ca- und Mg-Vorräte auf den Mineralboden (0 - 60 cm) und die Humusauflage in den BZE-Profilen Sachsens (68 Punkte)
 a: Sande (10), lehm. Sande (5) u. Lehme (2) des Pleistozän; b: Sandsteine (4), Phonolit (1);
 c: Sande ü. Granit (2), Porphy (1); d: Granite (9), Syenit (1); e: Gneise (5); f: Schiefer (4), Phyllite (6); g: Volllöss (6), Decklöss (5); h: Moor, Basalt, Naßstandort auf Porphy

Nur in etwa 30 % der im Rahmen der Bodenzustandserhebung von 1992 beprobten Waldböden sind Nährstoffvorräte von weit über den für den Aufbau eines Altholzes als notwendig anzusehenden 400 kg/ha Ca bzw. 60 kg/ha Mg anzutreffen (Abbildung 3.3-9). Wegen der offenbar vielfach nicht tiefreichenden Durchwurzelung können die Bestände auch nur eingeschränkt auf das im Unterboden vorhandene Nährstoffkapital zugreifen. Die bei den überwiegend ungünstigen Humusformen (siehe dazu Waldschadensbericht 1995) in teilweise mächtigen Humusauf-lagen eingebundenen und damit dem Stoffkreislauf langfristig entzogenen Erdalkalivorräte überschreiten vielfach diejenigen der Mineralböden. Von dieser Umverteilung der Nährstoffvorräte ist Magnesium offensichtlich bevorzugt betroffen, was entsprechend ungünstige Auswirkungen auf die Mg-Ernährung der Bestände hat und häufig durch die bekannten Mangelsymptome dokumentiert wird.

3.4.3 Raumzeitliche Drift chemischer Parameter in der Bodenlösung und in Waldquellen

Die raumzeitliche Entwicklung chemischer Parameter in der Bodenlösung und im Quellwasser wird im folgenden anhand der Ergebnisse aus den Meßflächen Klingenthal (westliches Erzgebirge) und Cunnersdorf (Elbsandsteingebirge) näher erläutert.

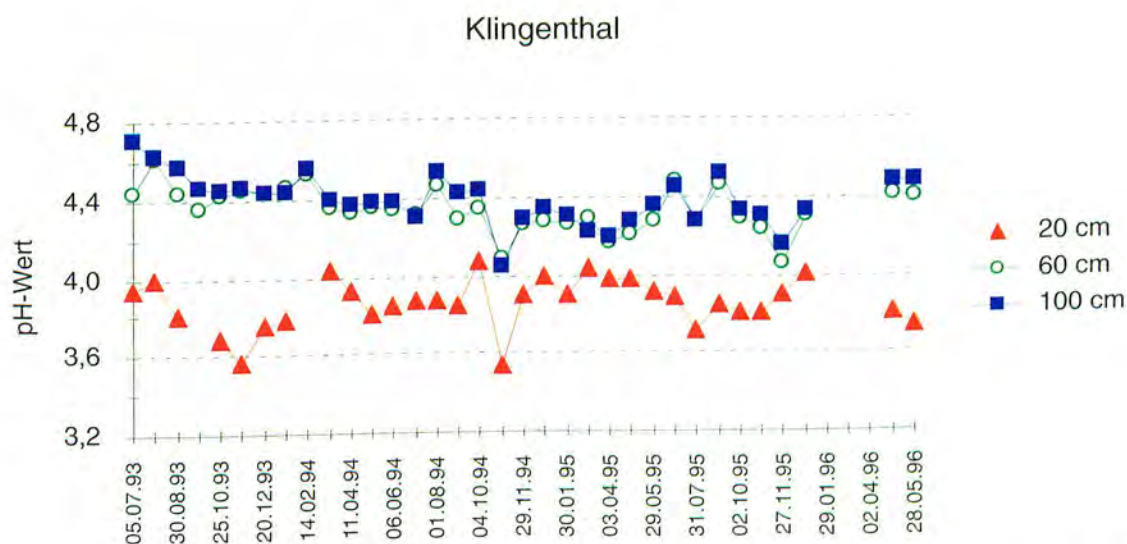


Abb. 3.3-10: Entwicklung der pH-Werte in der Bodenlösung der Meßstation Klingenthal (Tiefenstufen 20, 60 und 100 cm)

Besonders die chemischen Parameter in 20 cm Bodentiefe sind stark durch das im Jahresverlauf wechselnde Depositionsgeschehen geprägt. PH-Werte überwiegend zwischen 3,4 und 4,0 spiegeln das pH-Niveau im Bestandesniederschlag wider. Sie können insbesondere in Verbindung mit starken Säureeinträgen in den Herbstmonaten ausgeprägte pH-Einbrüche bis in den Unterboden zeigen (Abbildung 3.3-10).

Im Meßfeld Klingenthal ist seit Beginn der Untersuchungen im Juli 1993 eine kontinuierliche Abnahme besonders der Ca- und K-Konzentrationen in der Bodenlösung festzustellen (Abbildung 3.3-11). Die Heterogenität und chemische Qualität der Bodenlösung geht kontinuierlich zurück. Die ökochemischen Streßparameter aus Ca/H-Verhältnis in der Bodenlösung des Oberbodens bzw. Ca/Al- und Mg/Al-Verhältnis im Unterboden nehmen trotz Rückgangs der Al-Konzentrationen zunehmend kritische Werte an. Ca/H- und Ca/Al-Verhältnisse unter 0.1 führen zu einem eingeschränkten Wurzelwachstum bei Fichtenbeständen, während bei $Mg/Al < 0.2$ eine verminderte Mg-Aufnahme durch die Feinwurzeln anzunehmen ist (Abbildung 3.3-12 und 3.3-13).

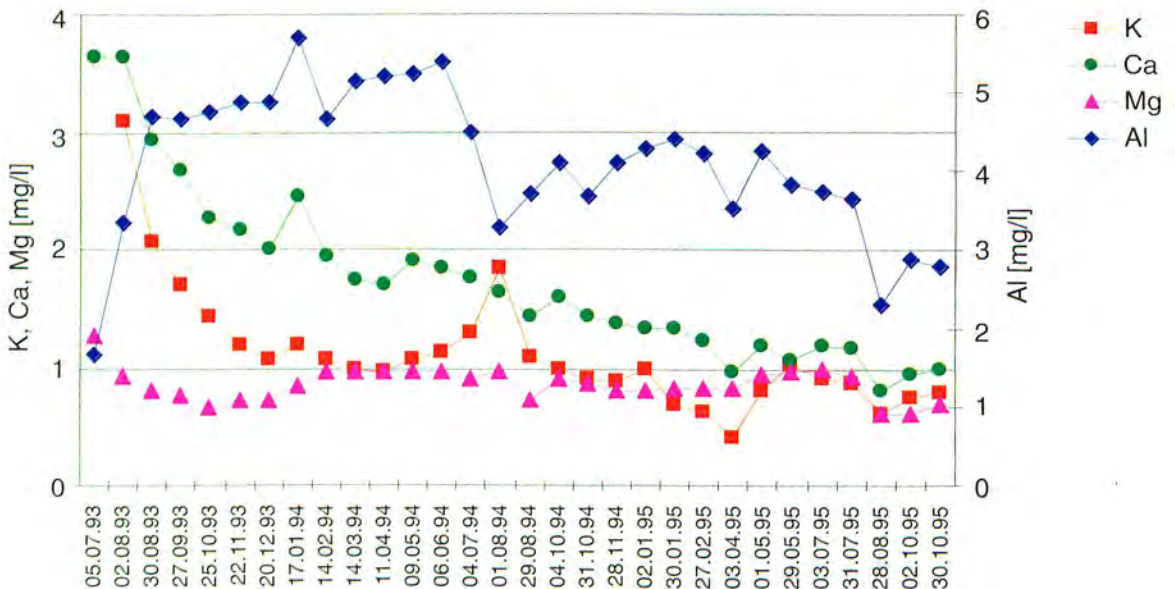


Abb. 3.3-11: Entwicklung ausgewählter Elementkonzentrationen der Meßfläche Klingenthal (in Tiefenstufe 100 cm)

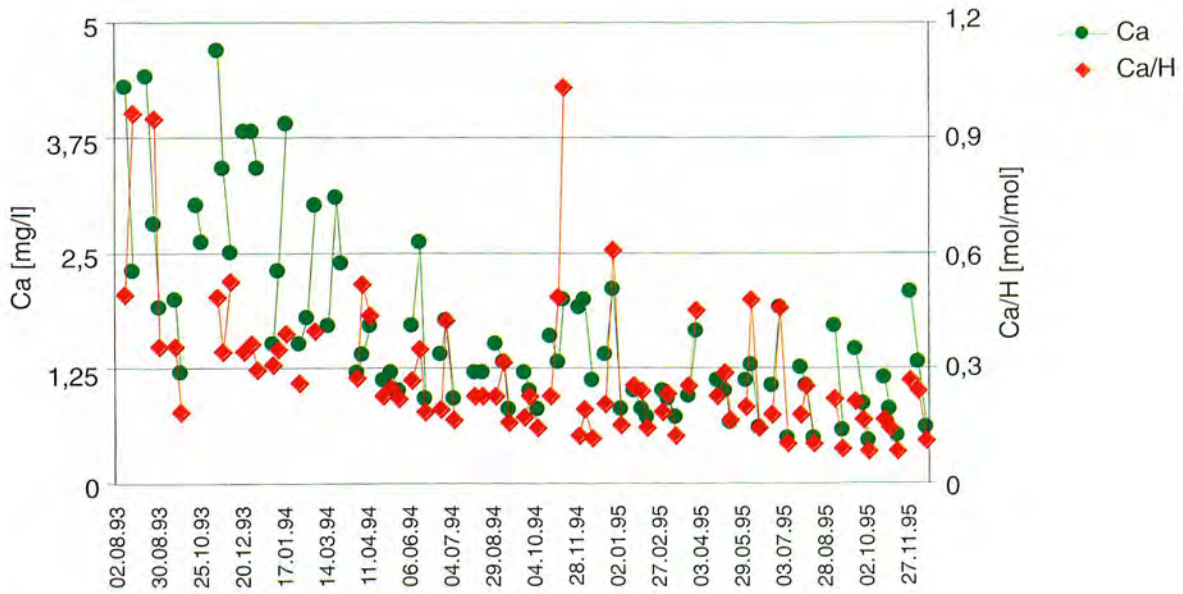


Abb. 3.3-12: Entwicklung der Ca-Konzentration (mg/l) und des Ca/H-Molverhältnisses in der Bodenlösung in 20 cm Tiefe in der Meßfläche Klingenthal

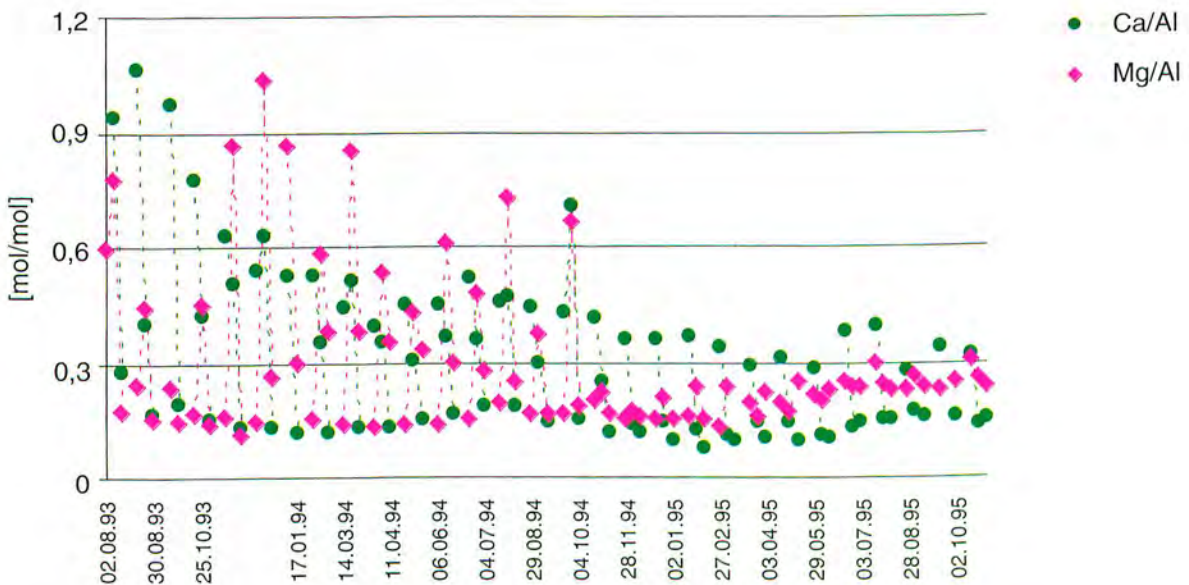


Abb. 3.3-13: Entwicklung chemischer Parameter in der Bodenlösung in 60 cm Tiefe in der Meßfläche Klingenthal

Die Gründe für diese Entwicklung, die vergleichbar und mit ähnlichen Konsequenzen ebenfalls auf anderen Meßflächen zu verzeichnen ist, müssen hauptsächlich in der relativ drastischen Veränderung der chemischen Zusammensetzung und Zunahme der Versauerung in den Niederschlägen seit etwa 1989 gesehen werden. Dies hat auf großer Fläche einen langanhaltenden Versauerungsschub in den Waldböden induziert, der gekennzeichnet ist durch die Versickerung eines sauren, nur unzureichend gepufferten und zunehmend calciumarmen Niederschlags in

Humusaufgabe und Mineralboden. Aufgrund der vormals in den Böden aufgespeicherten hohen Schwefelvorräte in Form spezifischer und unspezifischer Aluminium-Hydroxid-Verbindungen kommt es im Zuge der Versickerung der sauren Lösung zu Pufferreaktionen, die vielfach mit einer Mobilisierung dieser Säurevorräte einhergehen. Es werden größere Mengen von SO_4 und Al freigesetzt. Die Protonenbildung im Boden steigt an. Zur Wahrung der Elektroneutralität in der Bodenlösung werden zunehmend auch austauschbare Nährelementvorräte mobilisiert und verlagert, oder sie werden über die Mineralisierung organischer Bindungsformen in die Lösungsphase transferiert. Die Entwicklung zu kritischen Werten bei den genannten Gefährdungsparametern (Ca/H-, Ca/Al- und Mg/Al-Verhältnis) kann nicht abgewendet werden. Es verbleiben zunehmend Protonen in der Bodenlösung, was anhand des pH-Wert-Abfalls in den tieferen Bodenhorizonten (Abbildung 3.3-10) und der ansteigenden Protonenkonzentration (Abbildung 3.3-14) deutlich wird.

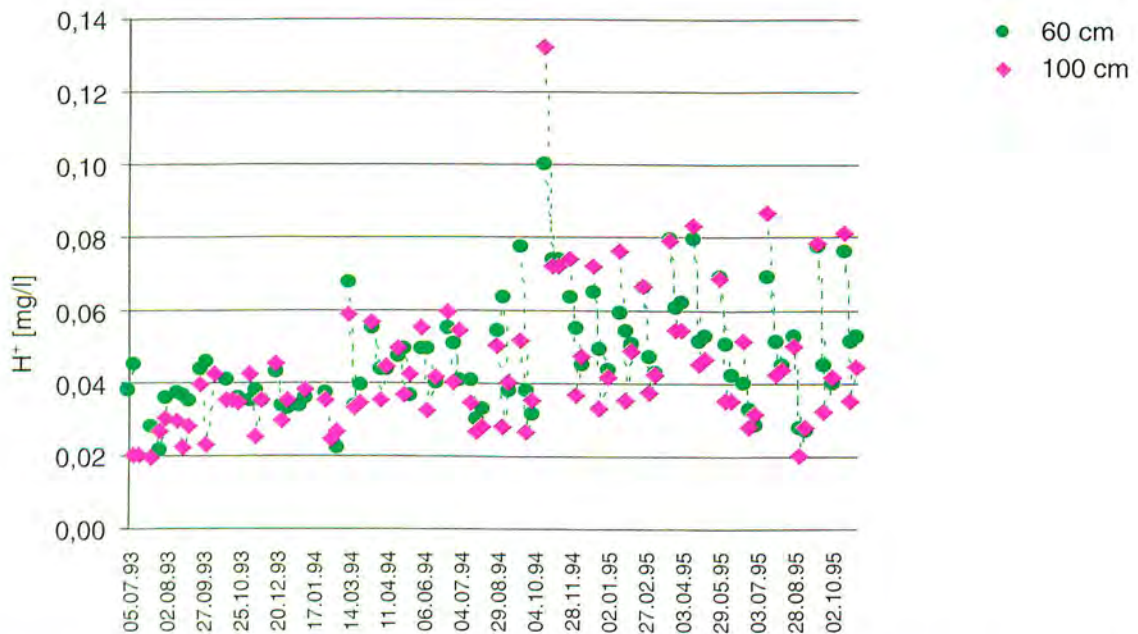


Abb. 3.3-14: Entwicklung der H-Ionen-Konzentration in der Bodenlösung der Meßfläche Klingenthal in den Tiefenstufen 60 und 100 cm

Insgesamt ist die Pufferfähigkeit der Böden im Bereich des Meßfeldes Klingenthal derart eingeschränkt und die Versauerungsfront so weit in den Sicker- und Grundwasserleiter verlagert, daß Versauerungsschübe aus dem Herbst und nach der Schneeschmelze mit einer zeitlichen Verschiebung von etwa einem Monat bis in die Quellwässer durchschlagen und dabei pH-Werte unterhalb von 4,0 auftreten (Abbildung 3.3-15).

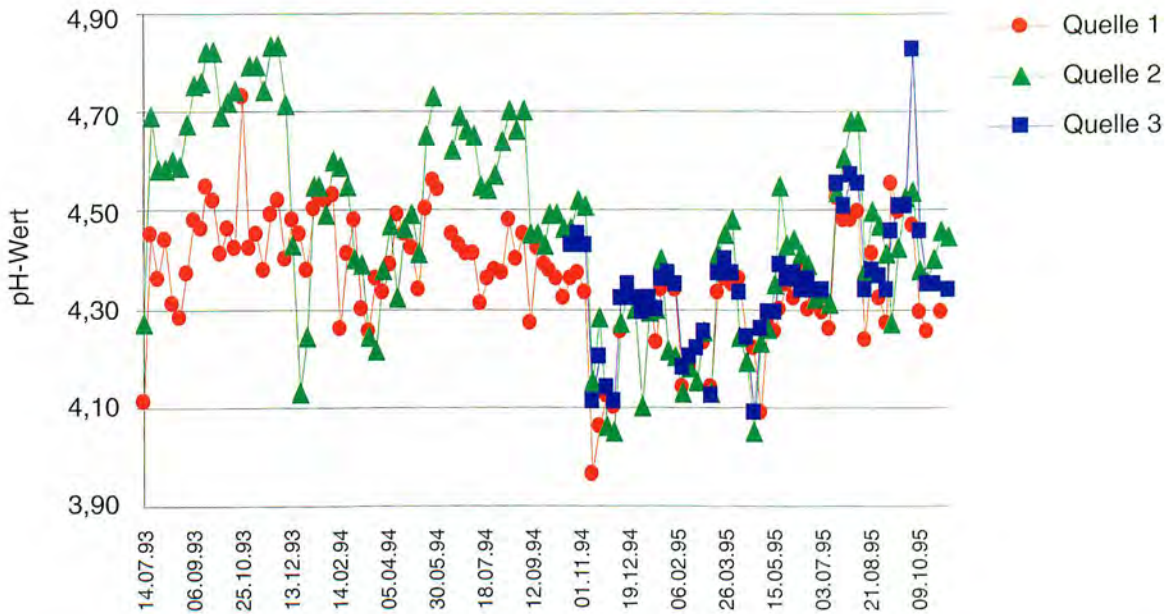


Abb. 3.3-15: Entwicklung der pH-Werte in 3 Waldquellen im Bereich des Meßfeldes Klingenthal (wöchentliche Beprobung)

Die pH-Werte und Al-Gehalte der Quellwässer unter- bzw. überschreiten die Trinkwasser-Grenzwerte bei weitem (pH: 6,5 - 9,5; 0,2 mg/l Al), was die Dringlichkeit von Maßnahmen verdeutlicht, die im weitesten Sinne für die Sicherstellung der Trinkwasserqualität getroffen werden müssen (Abbildung 3.3-16). Verhältnismäßig hohe Ca-Konzentration im Quellwasser lassen auf in tieferen Bodenschichten noch vorhandene Calciumvorräte schließen, während die Mg-Gehalte wie in der Bodenlösung mit 1,0 bis 1,5 mg/l sehr gering sind.

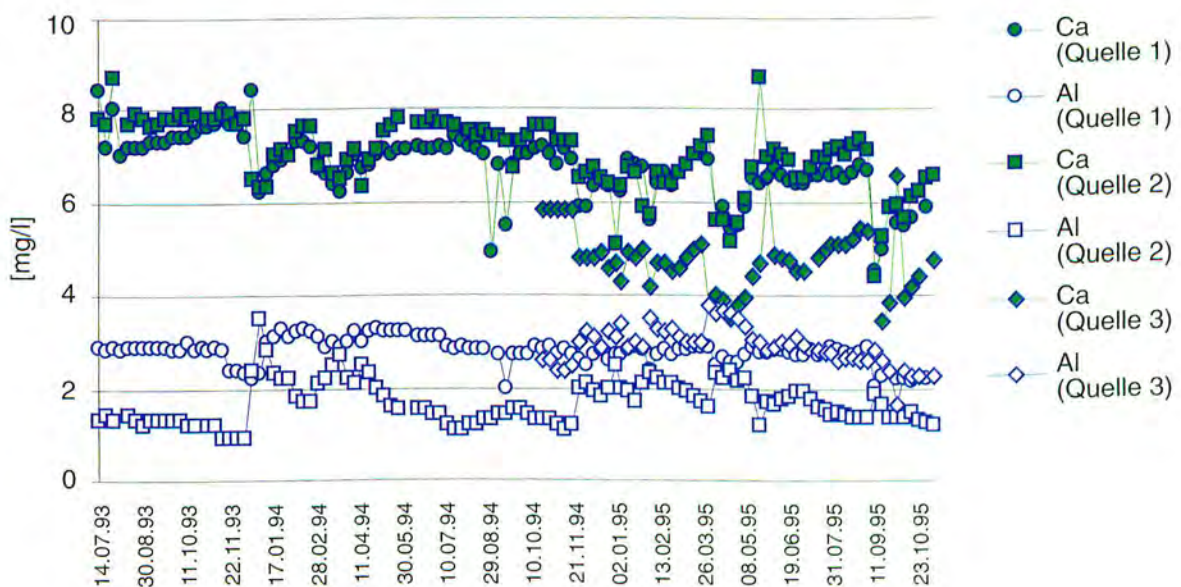


Abb. 3.3-16: Entwicklung der Ca- und Al-Gehalte in 3 Waldquellen im Bereich des Meßfeldes Klingenthal

Vor dem Hintergrund erheblich höherer Elementvorräte und einer größeren Säurespeicherkapazität in den lehmigen Substraten des Standorts Cunnersdorf verlaufen die beschriebenen bodenchemischen Reaktionen auf einem deutlich höheren Konzentrationsniveau ab (Abbildung 3.3-17).

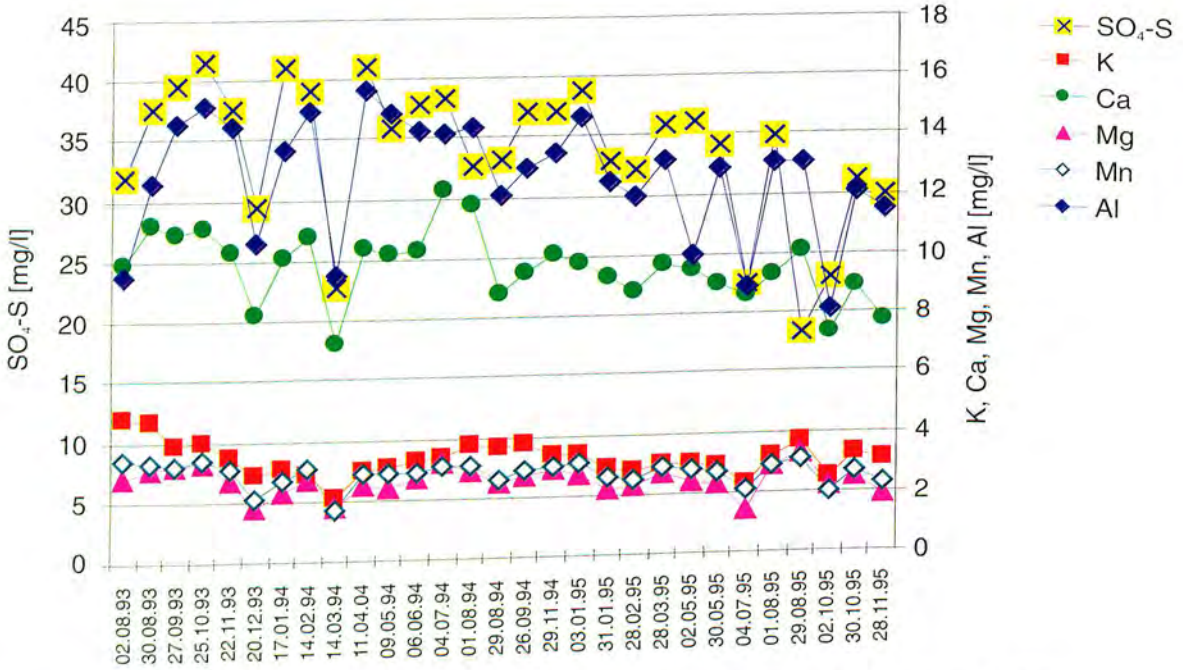


Abb. 3.3-17: Entwicklung ausgewählter Elementkonzentrationen in Tiefenstufe 100 cm der Meßfläche Cunnersdorf

Die Elementfrachten mit dem Sickerwasser übertreffen daher auch erheblich die für die Fläche Klingenthal kalkulierten Werte (siehe Kapitel 3.4.4). Aber auch hier zeigt sich, daß SO₄-S (Sulfat-Schwefel) mehr oder weniger stark die Konzentrationsverläufe der Kationen bestimmt, mit einem den Ergebnissen in Klingenthal vergleichbaren abnehmenden Trend für die Tiefenstufe 60 cm, während in 100 cm Tiefe weiterhin sehr hohe Elementverlagerungen stattfinden. Damit ist anzunehmen, daß sich in den beprobten Bodenhorizonten die letztlich infolge des chemisch veränderten Depositionsgeschehens ausgelösten Mobilisierungsvorgänge vielfach in einem Endstadium befinden bzw. in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Dadurch haben sich auch die ökochemischen Rahmenbedingungen der Böden bzw. des gesamten Waldökosystems in einer relativ kurzen Zeitspanne verändert und sind auf ein Niveau geringerer Elastizität abgesunken. Die Schadensdisposition der Waldbestände hat sich erhöht.

3.4.4 Elementbilanzen

Unter Verwendung empirischer Modelle wurden die Elementausträge mit dem Sickerwasser in 100 cm Tiefe der Meßflächen Klingenthal und Cunnersdorf für die Meßjahre 07/93 - 06/94 und 07/94 - 06/95 berechnet. Danach werden besonders in Cunnersdorf sehr hohe Sulfat-Schwefelausträge erzielt, die mit durchschnittlich etwa 200 kg/ha im Jahr die S-Einträge mit dem Bestandesniederschlag um ein Vielfaches übertreffen (Abbildung 3.2-18). Ähnliche Verhältnisse zeigen die Elemente Ca und Mg. Auch die jährlichen Aluminiumausträge liegen mit etwa 70 kg/ha sehr hoch. Die Elementausträge in 100 cm Tiefe zeigen im zweiten Meßjahr sogar noch eine Zunahme. Mit Ausnahme des Magnesiums gehen in Klingenthal die Werte trotz deutlich erhöhter Sickerwasserraten aufgrund erhöhter Niederschläge zurück.

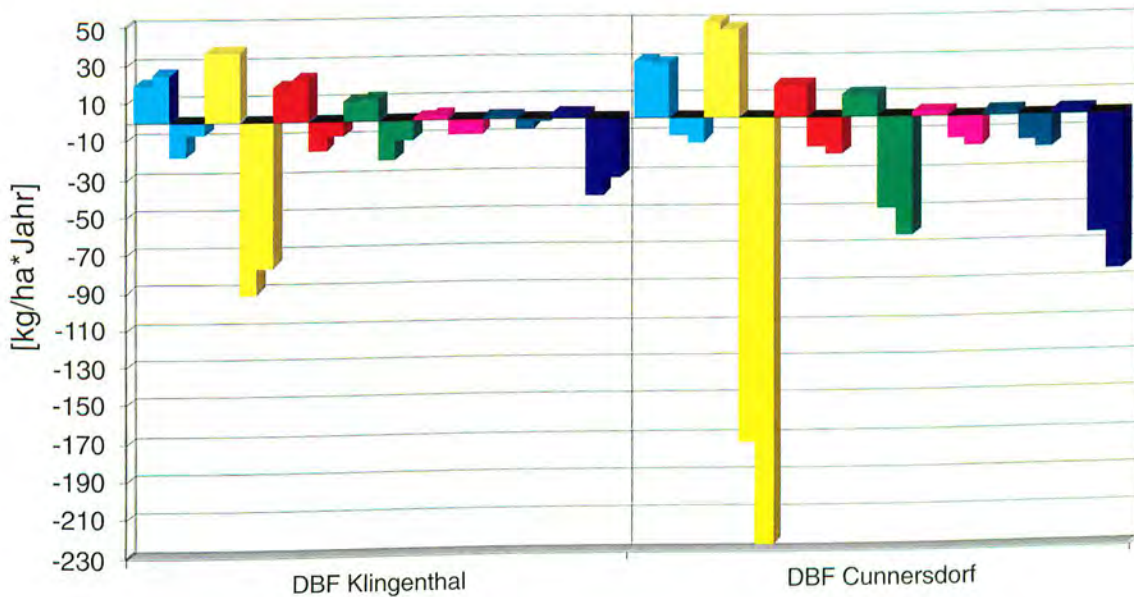


Abb. 3.3-18: Jährliche Elementeinträge mit dem Bestandesniederschlag (positive Werte) und jährliche Elementausträge mit dem Sickerwasser (negative Werte) in 100 cm Bodentiefe für die Zeiträume 07/93 - 06/94 (linke Säule) und 07/94 - 06/95 (rechte umrandete Säule) in den Meßflächen Klingenthal und Cunnersdorf hellblau = N-Gesamt ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$); gelb = Sulfat-S; rot = Kalium; grün = Calcium; pink = Magnesium; grau = Mangan; dunkelblau = Aluminium

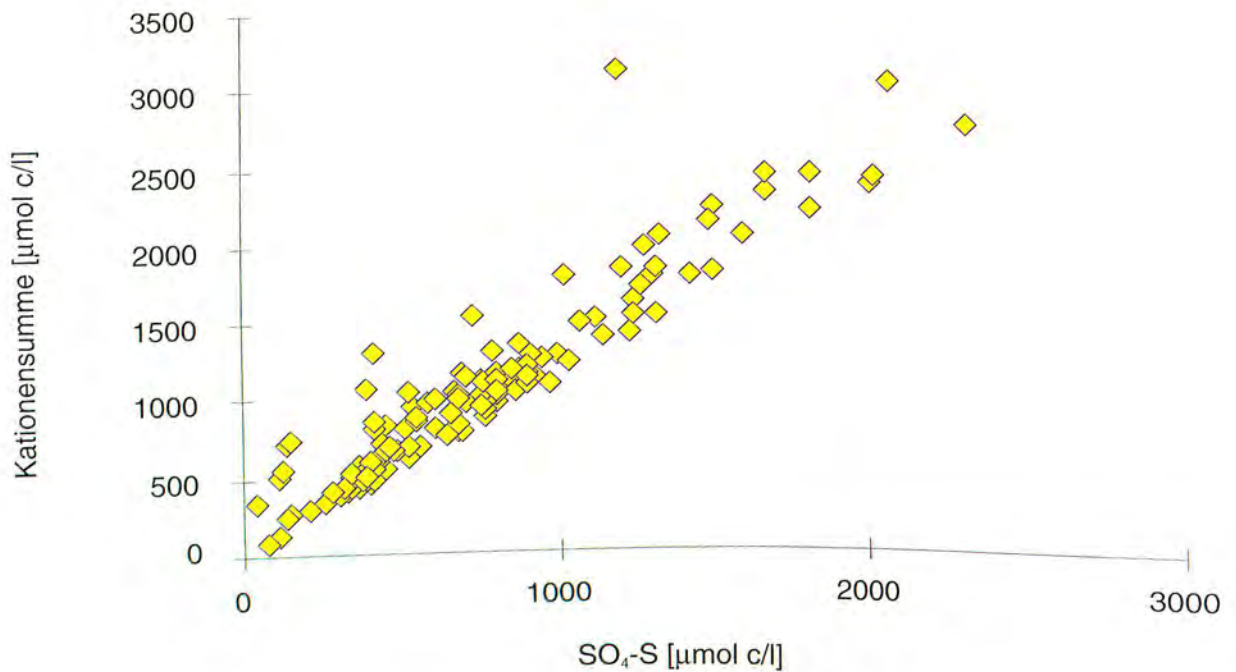


Abb. 3.3-19: Beziehung zwischen Sulfat-Schwefel- und Kationengehalten in den Bodenlösungen (1:2 Boden-Wasser-Extrakt) der Bodenzustandserhebung (BZE) in 30 bis 90 cm Bodentiefe ($n = 126$)

Die Perkolatation unterschiedlich hoher Konzentrationen des Sulfat-Anions bis in den Sickerwasserleiter bestimmt landesweit die Kationen-Anionen-Verhältnisse in der Bodenlösung. Das vermitteln sehr anschaulich die etwa 1:1-Mengenverhältnisse von Kationen und Sulfat-Ionen in den Bodenlösungen (1:2 Boden-Wasser-Extrakt) der BZE-Punkte aus 30 bis 90 cm Bodentiefe (Abbildung 3.3-19). Die Hauptursache und treibende Kraft der weiteren Bodenversauerung und -verarmung in Waldökosystemen war und ist die anhaltend hohe Deposition von Schwefelverbindungen.

3.5 Zusammenfassung

Die forstlich genutzten Böden Sachsens lassen infolge der seit Jahrzehnten anhaltenden Säureeinträge einen hohen Versauerungsgrad erkennen, der zu einem erheblichen Verlust an Nährstoffkationen im Zuge des Versauerungsprozesses geführt hat.

Seit 1988 haben großflächig die durch den Ferntransport bedingten Sulfatschwefeleinträge in die sächsischen Waldökosysteme deutlich abgenommen. Sie liegen aber dennoch weiterhin auf hohem Level, wobei die Belastung im mittleren und östlichen Erzgebirge sowie im Bereich des Elbtals und der Sächsischen Schweiz höher als in Westsachsen ist.

Die Stickstoffeinträge befinden sich weiterhin auf einem für Waldökosysteme zu hohem Niveau.

Vor allem die starke Reduzierung der Flugstäube aus Kraftwerken und Kohlefabriken hat zu einem drastischen Rückgang der neutralisierend wirkenden Calciumgehalte in den Niederschlägen geführt und regional eine deutliche Zunahme des Säuregrades in den Niederschlägen hervorgerufen.

Die gegenwärtig stärker versauerten Niederschläge haben in den Waldböden langanhaltende Versauerungsschübe bzw. Versauerungstendenzen ausgelöst, die durch bodeninterne Mobilisierungsprozesse vormals gespeicherter Säurevorräte und durch extreme winterliche Säureinträge besonders im Erzgebirge noch verstärkt werden.

In zahlreichen Waldökosystemen Sachsens zeichnen sich neben einem verstärkten Nähr-elementverlust der Böden erhöhte Austragsraten von Sulfatschwefel, Stickstoff und Aluminium mit dem Sickerwasser ab. Daraus ergeben sich für die Wasserwirtschaft erhöhte Aufwendungen für die Sicherung der Trinkwasserqualität aus bewaldeten Wassereinzugsgebieten.

4 Waldzustand

4.1 Waldschadenserhebung (WSE) 1996

4.1.1 Methodik

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 dem 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. Diese wird mindestens alle drei Jahre erhoben. In den dazwischenliegenden Jahren sind Unterstichproben möglich. Von einer Vollstichprobe werden gesicherte Aussagen über den Gesundheitszustand des Gesamtwaldes, der Hauptbaumarten Fichte und Kiefer, einzelner Altersbereiche sowie zu größeren Wuchsgebieten erwartet.

In Sachsen wurde 1991 erstmalig der Waldzustand nach WSE-Methodik im 4 x 4 km-Raster erhoben. 1992 erfolgte eine nochmalige Vollstichprobe mit Netzverdichtung auf 4 x 2 km, 1993 eine Unterstichprobe im 4 x 8 km-Raster. Gemäß dem Turnus wurde 1994 die Vollstichprobe (4 x 4 km) und sowohl 1995 als auch 1996 wieder eine Unterstichprobe im 4 x 8 km-Raster aufgenommen. In Anbetracht der starken Schädigung der Fichte in einigen Gebirgsregionen wurde 1996 das Aufnahmeraster dort auf 4 x 2 km verdichtet. Die jeweils integrierten Aufnahmen im 16 x 16 km-Raster bilden die Grundlage für die Auswertung auf EG-Ebene. An den Stichprobenpunkten des 8 x 8 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 und Blätter (in 4 Stufen).

Aus beiden Schadsymptomen wird entsprechend Tabelle 4.1-1 eine kombinierte Schadstufe ermittelt. Die Vergilbung nimmt ab einem Anteil von 26 % der vorhandenen Nadel-/Blattmasse

Einfluß auf die kombinierte Schadstufe. Bei einem Nadel-/Blattverlust von mehr als 25 % (ohne Vergilbung) bzw. darunter mit entsprechendem Vergilbungsanteil wird von „deutlicher Schädigung“ (Schadstufen 2 - 4) gesprochen.

Tab. 4.1-1: 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
 2 = mittelstark geschädigt
 3 = stark geschädigt
 4 = abgestorben

} deutlich geschädigt

Das Erscheinungsbild eines Einzelbaumes ist stets von einer Vielzahl von Einflußfaktoren geprägt, deren Wirkung oft nur mit Hilfe 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.

Da die Bestände, in denen sich die Stichprobenpunkte befinden, sowohl der 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 ein Ersatzbaum gesucht.

Die Außenaufnahmen erfolgen im Zeitraum von Mitte Juli bis Ende August durch Trupps mit je 2 Mitarbeitern der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Um eine einheitliche Bewertung und dadurch ein Höchstmaß an Objektivität zu gewährleisten, wird das Aufnahmepersonal in einem mehrtägigen Kurs geschult. Von den Aufnahmen werden ca. 15 % kontrolliert.

4.1.2 Analyse des Datenmaterials

Das 4 x 8 km-Raster, welches die Grundlage für die Gesamtauswertung 1996 bildet, umfaßt in Sachsen 149 Stichprobenpunkte. An 147 Punkten wurden in diesem Jahr 3528 Bäume nach den vorgenannten Kriterien angesprochen. Davon waren 1632 Bäume älter als 60 Jahre. Zwei Stichprobenpunkte lagen auf Blößen bzw. in Kulturen unter 60 cm Höhe.

Durch die regionale Netzverdichtung auf 4 x 2 km wurden zusätzlich 147 Punkte erfaßt. Für eine spezielle Auswertung zur Baumart Fichte in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland bilden insgesamt 221 Stichprobenpunkte mit 4595 Fichten die Datenbasis. Die drei Wuchsgebiete Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland wurden dazu zusammengefaßt (siehe Kapitel 4.2).

Weiterhin wurden 8 Punkte des 4 x 4 km-Rasters in die Aufnahmen einbezogen, an denen die Fraßintensität an Eichen untersucht wurde. Die Verteilung der Stichprobenpunkte in Sachsen ist aus Abbildung 4.1-1 zu ersehen.



Abb. 4.1-1: Lage der WSE-Stichprobenpunkte im 4 x 8 bzw. 4 x 2 km-Raster

Vom Unterstichprobenkollektiv der vorjährigen Erhebung mußten 1996 82 Bäume (entspricht 2,3 %) ersetzt werden;

- 36 Bäume wurden bei forstlichen Eingriffen entnommen
- 13 waren geworfen
- 4 hatten einen Kronenbruch (über 50 % der Krone)
- 26 gehörten nicht mehr zur herrschenden Bestandesschicht
- 3 zählten zum Totholz.

Für die Auswertung ist diese geringfügige Veränderung des Stichprobenkollektives unbedeutend.

Die Tabellen 4.1-2 und 4.1-3 charakterisieren die Altersklassen- und Baumartenverteilung der Stichprobenbäume. Ein Vergleich zur aktuellen Verteilung im Gesamtwald (siehe Abb. 4 im Kapitel 2.2) macht die gute Repräsentanz der Stichprobe deutlich.

Tab. 4.1-2: Baumarten- und Altersklassenverteilung der Stichprobenbäume (Angaben in %)

Baumart/ Baumartengruppe	gesamt	Altersklasse				
		20	21–40	41–60	61–80	>80
Fichte	44	19	16	25	20	20
Kiefer	30	15	16	27	21	21
Sonstige Nadelbäume	6	63	27	2	3	5
Buche	3	14	5	15	18	48
Eiche	5	5	19	12	9	55
Sonstige Laubbäume	12	17	23	30	15	15
alle Baumarten	100	19	16	19	19	27

Tab. 4.1-3: Baumartenverteilung der Stichprobe in den Forstdirektionen

Forstdirektion	Anteil an der Stichprobe [%]								
	ges.	60	>60	Fichte	Kiefer	Sonstige Nadelbäume	Buche	Eiche	Sonstige Laubbäume
Bautzen	54	61	39	27	43	5	5	5	15
Chemnitz	46	47	53	65	15	6	2	4	8
Sachsen	100	54	46	44	30	6	3	5	12

4.1.3 Ergebnisse

4.1.3.1 Allgemeine Schadsituation

Die Waldschadenserhebung 1996 weist in Sachsen

18 % aller Bäume als deutlich geschädigt (Schadstufen 2 - 4)

30 % als leicht geschädigt (Schadstufe 1) und

52 % ohne erkennbare Schadmerkmale (Schadstufe 0) aus (Abb. 4.1-2).

In der Gruppe deutlich geschädigter Bäume sind mit 14 % die mittelstark geschädigten (Schadstufe 2) und mit 4 % die stark geschädigten bzw. abgestorbenen Bäumen (Schadstufen 3+4) vertreten.

Wie die Abbildung 4.1-2 verdeutlicht, ist der Kronenzustand älterer Bäume im Vergleich zu jüngeren erheblich stärker durch negative Umwelteinflüsse geprägt. Der Anteil deutlich geschädigter, über 60jähriger Bäume ist mit 30 % ca. 4mal höher als bei den jüngeren. Während die Häufigkeitsverteilung der über 60jährigen Bäume ihr Maximum bei einem Nadel-/Blattverlust von 10 - 20 % ausbildet, liegt es bei den jüngeren bei 0 %.

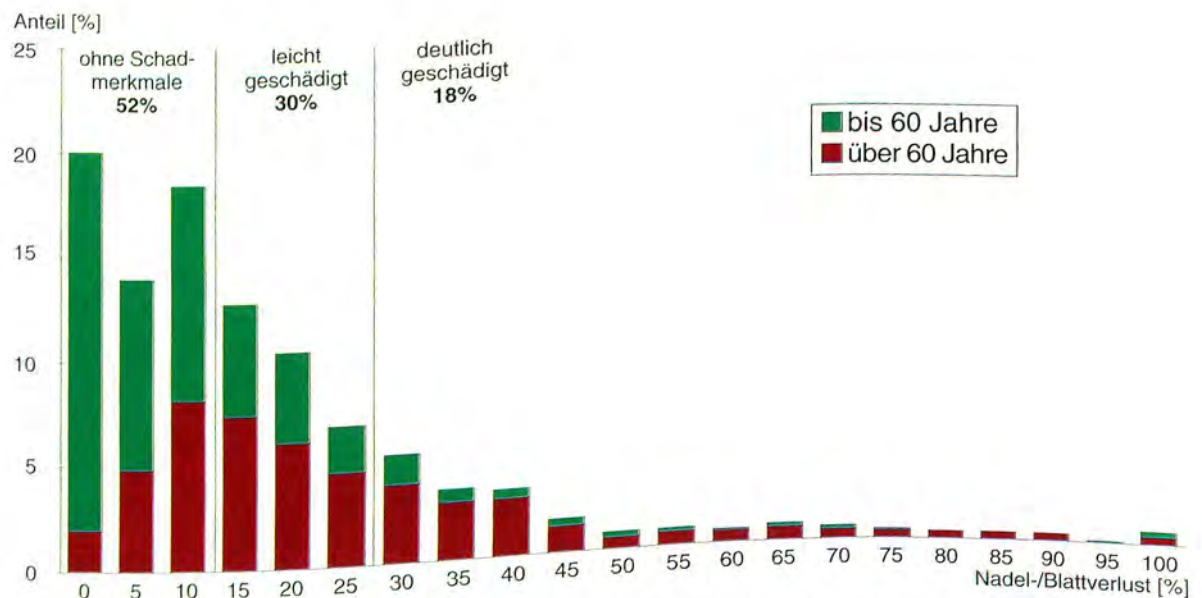


Abb. 4.1-2: Häufigkeitsverteilung des Nadel-/Blattverlustes in den Altersbereichen

Das Gesamtergebnis der diesjährigen WSE-Aufnahme zeigt in der Tendenz der Schadentwicklung gegenüber dem Vorjahr eine Zunahme der Bäume vor allem in den Extrembereichen. So hat sich zum einen der Anteil deutlich geschädigter Bäume um 1 Prozentpunkt erhöht, wobei innerhalb der Schadstufen 2 bis 4 nochmals eine Verschiebung zu den stark ge-

schädigten bzw. abgestorbenen Bäumen zu verzeichnen ist. Gleichzeitig hat der Anteil von Bäumen ohne Schadmerkmale um 6 Prozentpunkte zugenommen. Der Anteil leicht geschädigter Bäume sank um 7 Prozentpunkte.

Zwischen den Schadstufen gab es Verschiebungen in beide Richtungen. Das sind im einzelnen:

von den Schadstufen 2 - 4 zu 1: 5 % der Bäume, umgekehrt: 5 %

von der Schadstufen 2 - 4 zu 0: 2 % der Bäume, umgekehrt: 2 %.

von der Schadstufe 1 zu 0: 14 % der Bäume, umgekehrt: 7 %.

Bei den bis 60jährigen Bäumen sind die Verschiebungen in beide Richtungen gleich stark ausgeprägt, um je 2 Prozentpunkte von den leicht geschädigten Bäume sowohl zugunsten der deutlich geschädigten als auch der gesunden Bäume. Bei den älteren Bäumen dominiert die Zunahme der gesunden Bäume.

Auch wenn sich damit der durchschnittliche Nadel-/Blattverlust aller Bäume von 1995 (15,9 %) zu 1996 (16,5 %) nur wenig erhöht, setzt eine baumartenspezifische und regionale Bewertung der Ergebnisse deutliche Akzente.

4.1.3.2 Schäden an den Hauptbaumarten

Fichte und Kiefer sind die dominierenden Baumarten in den sächsischen Wäldern. Sie prägen somit auch das Gesamtergebnis der Waldschadenserhebung entscheidend. Andererseits finden sich bereits wesentliche Trends, die für diese Baumarten im einzelnen gelten, im Gesamtergebnis wieder. Im Gegensatz zur Fichte und Kiefer sind Buche und Eiche selten, so daß das Stichprobenverfahren zu diesen Baumarten sowie für die Baumartengruppe sonstige Nadelbäume keine gesicherten Aussagen zuläßt.

Die Bewertung der einzelnen Baumarten zeigt erneut die Komplexität des Wirkungsgefüges verschiedener Einflußfaktoren auf den Kronenzustand. Die Wirkung von Luftschadstoffen auf die Kronenverlichtung werden stets durch Witterung, Fruktifikation, Insektenfraß, Baumalter u.a. modifiziert. Die Abbildungen 4.1-3 und 4.1-7 sowie die Tabelle 4.1-4 enthalten die zusammengefaßten Ergebnisse für die Baumarten.

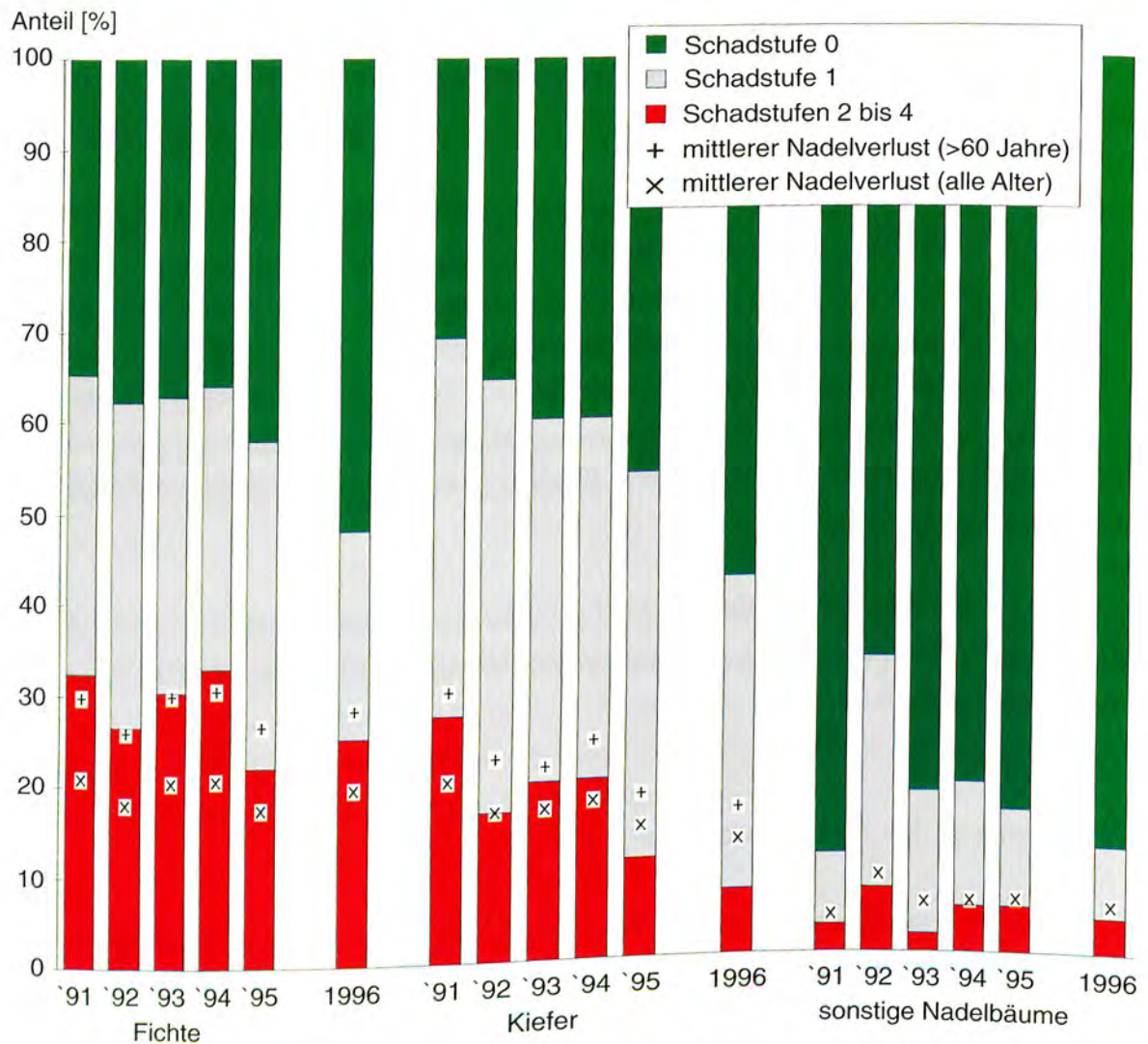


Abb. 4.1-3: Veränderung der Schadstufenverteilung und des mittleren Verlustprozentes der Nadelbäume von 1991 bis 1996

Die Tendenzen des diesjährigen Gesamtergebnisses charakterisieren insbesondere die Schadentwicklung der Baumart **Fichte**. Der Anteil deutlich geschädigter Fichten nahm gegenüber 1995 um 3 Prozentpunkte zu und liegt jetzt bei 25 %, der Anteil Fichten ohne Schadmerkmale stieg um 10 Prozentpunkte auf 52 %. Als leicht geschädigt wurden 23 % aller Fichten eingestuft. Innerhalb der Gruppierung deutlich geschädigter Fichten verschieben sich die Anteile zugunsten der stark geschädigten und abgestorbenen. Mit 8 % sind stark geschädigte und abgestorbene Fichten doppelt so häufig vertreten wie im Vorjahr (Abb. 4.1-4).

Die Kronenverlichtung erhöht sich i.d.R. auch mit zunehmendem Alter (Abb. 4.1-5). Der Anteil in deutlich geschädigter Fichten ist z.B. in der Altersklasse 81-100 Jahre ca. 4mal so hoch wie in der Altersklasse 41 - 60 Jahre. Von 1995 zu 1996 nahmen die deutlichen Schäden jedoch hauptsächlich in den unteren Altersklassen zu.

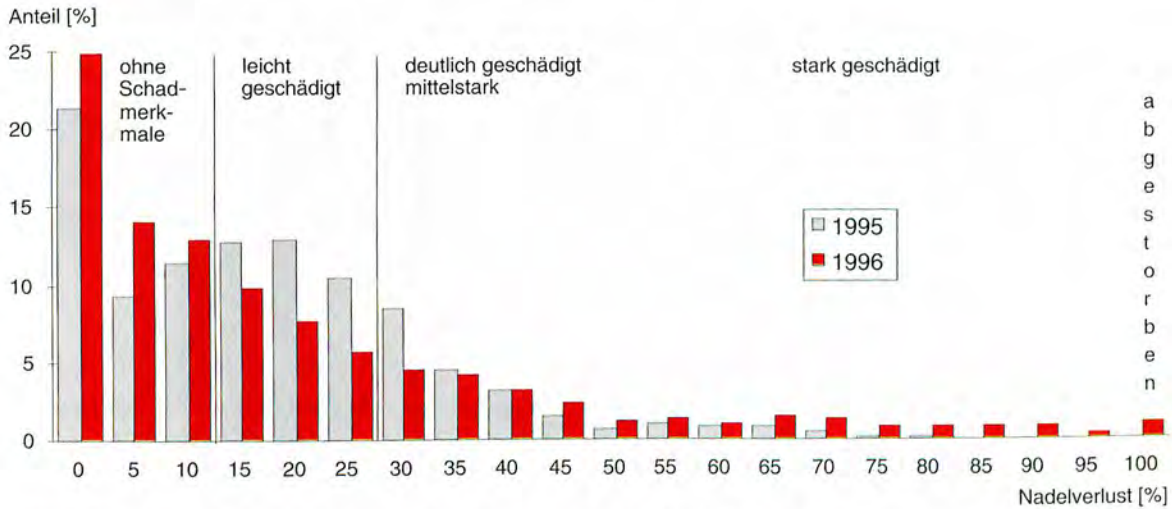


Abb. 4.1-4: Häufigkeitsverteilung des Nadelverlustes der Fichte 1995 und 1996

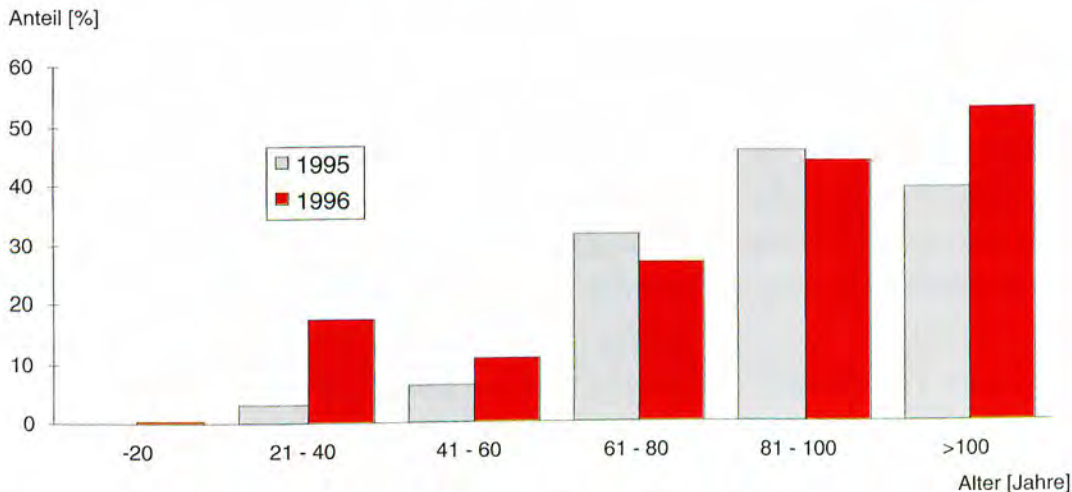


Abb. 4.1-5: Anteil deutlicher Schäden in den Altersklassen 1995 und 1996

In eine Analyse des Schadverlaufs der Fichte müssen 1996 insbesondere regionale Aspekte einbezogen werden. Im Gebirge ist das Erscheinungsbild der Fichte vor allem durch die Symptome akuter Schädigung infolge extrem hoher SO_2 -Einträge gekennzeichnet: Rotfärbung der Nadeln und deren späterer Verlust. Außerhalb des Extremschadgebietes konnten die Fichten weitgehend von der ausgewogenen Wasserhaushaltsituation profitieren. Weitere Ausführungen dazu enthalten die Abschnitte 4.1.3.3 und 4.3.

Nadelvergilbungen wurden in geringer Ausprägung an 2 % aller Fichten festgestellt (Tab. 4.1-5). Die Umgruppierung in eine höhere Schadstufe auf Grund von Vergilbungen war nur selten erforderlich. Dieses Schadsymptom hatte damit 1996 eine geringere Bedeutung als im Vorjahr. Ähnlich ist die Bedeutung der Fruktifikation der Fichte 1996 einzuschätzen. Neuer Zapfenbehang wurde kaum registriert.

Das Schadniveau der **Kiefer** ist im Vergleich zur Fichte wesentlich niedriger. Die Kiefer besitzt einen Anteil deutlicher Schäden von 7 %. 35 % aller Kiefern gelten 1996 als leicht geschädigt und 58 % als gesund. Sowohl die deutlich als auch die leicht geschädigten Kiefern nahmen zugunsten der gesunden ab. Der 1994 eingetretene Verbesserungstrend der Kiefer setzte sich 1996 weiter fort. Die Kiefer reagierte offensichtlich positiv auf das reichliche Wasserangebot ab dem Beginn der Vegetationsperiode 1996.

Der Einfluß des Alters auf die Kronenverlichtung kommt bei der Kiefer weniger stark zum Tragen. Das Verhältnis der deutlich geschädigten Bäume bis 60 Jahre zu über 60 Jahre beträgt bei der Kiefer 1:2 (Fichte 1:4). Die in Abbildung 4.1-3 dargestellten Mittelwerte für alle Alter bzw. für bis zu 60 Jahre alte Bäume liegen bei der Kiefer vergleichsweise dicht beisammen. Der überwiegende Teil der älteren Kiefern (70 %) fruktifizierte 1996 erneut, jedoch vorrangig mit geringer Intensität.

Zur Baumartengruppe der **sonstigen Nadelbäume** zählen z.B. die Lärchenarten. Diese Baumarten sind in Sachsen zumeist nicht autochthon und oft erst im Zuge spezieller waldbaulicher Konzeptionen, wie z.B. der Aufforstung des Erzgebirgskammes mit sogenannten Ersatzbaumarten in größerem Umfang in die sächsischen Wälder gekommen. Über die Hälfte (63 %) der begutachteten sonstigen Nadelbäume war demzufolge jünger als 20 Jahre, was neben vermutterter „Rauchhärte“ der ausschlaggebende Grund für das niedrige Schadniveau dieser Baumartengruppe ist. Es liegt mit 4 % deutlichen Schäden und 8 % leichten Schäden im Schwankungsbereich der Vorjahre. Die sonstigen Nadelbäume blieben - obwohl sie oft ähnlich hohen oder sogar höheren SO_2 -Konzentrationen ausgesetzt waren wie die Fichte - von diesen Schadsymptomen weitgehend verschont (Abb. 4.1-6).



Abb. 4.1-6: Vitaler Lärchenjungwuchs im SO_2 -Schadgebiet

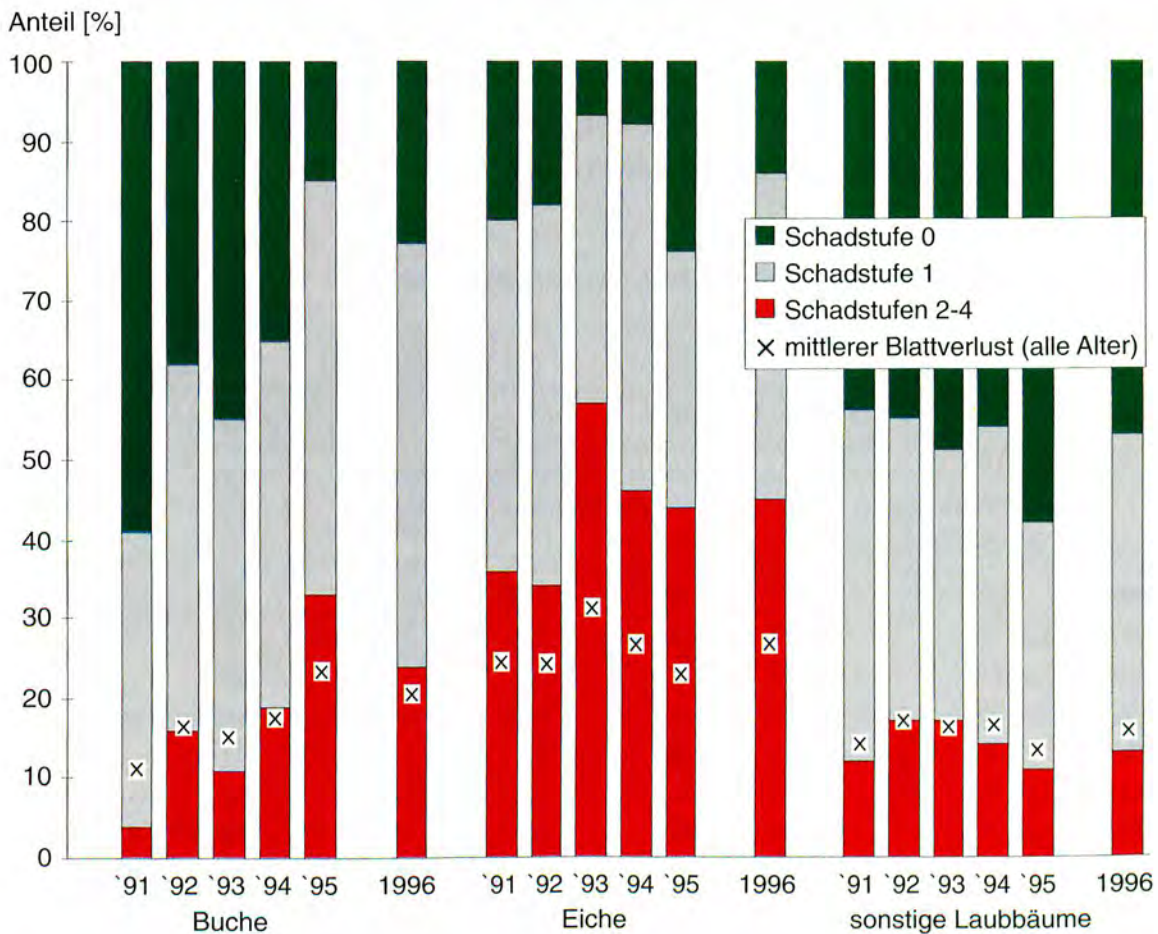


Abb. 4.1-7: Veränderung der Schadstufenverteilung der Laubbäume von 1991 bis 1996

Von den **Buchen** ist 1996 nahezu jede 4. deutlich geschädigt. Obwohl damit gegenüber dem Vorjahr ein Rückgang des Anteils deutlicher Schäden zu verzeichnen ist, liegt das Schadniveau der Buche noch eindeutig über dem der Jahre 1991 bis 1994. Es ist allenfalls als kurzzeitige Stabilisierung infolge der günstigen Wasserhaushaltssituation zu werten. Die Abnahme deutlich geschädigter Buchen resultiert aus einem gestiegenen Anteil gesunder Buchen. Im Gegensatz zum Vorjahr spielte die Fruktifikation bei der Buche 1996 keine Rolle.

Der Kronenzustand der **Eichen** ist nach wie vor äußerst kritisch zu bewerten. Der anhaltende Fraß in Eichenbeständen - ca. 70 % der Eichen waren in diesem Jahr befallen - hat entscheidend das Erscheinungsbild der Eichen geprägt. Fast jede zweite Eiche zeigt deutliche Schäden, nur jede 7. ist gesund. Der Anteil deutlich geschädigter Eichen ist damit im Vergleich zu 1995 nahezu gleich hoch geblieben. Die leicht geschädigten Eichen haben zu Lasten der gesunden zugenommen, so daß sich insgesamt der mittlere Laubverlust merklich erhöht hat (1995: 22,8 %, 1996: 26,1 %). Die Eiche bleibt auch 1996 die am stärksten geschädigte Baumart in Sachsen. Fruktifikation wurde bei nur 1 % aller über 60jährigen Eichen registriert.

Die **sonstigen Laubbäume** (Ahorn, Esche, Birke,...) besitzen das niedrigste Schadniveau von den Laubbaumarten/-gruppen. Die deutlichen und leichten Schäden haben 1996 wieder etwas zugenommen und betragen jetzt 13 % (deutliche Schäden) bzw. 40 % (leichte Schäden). Der mittlere Laubverlust liegt damit etwa auf dem Niveau der Jahre 1992 bis 1994.

Tab. 4.1-4: Schadstufenverteilung nach Baumarten/Baumartengruppen (Angaben in %)

Baumart / Baumartengruppe	Fläche in ha	Schadstufe				
		0	1	2	3 und 4	2 – 4
		ohne Schad- merkmale	schwach geschädigt	mittelstark geschädigt abgestorben	stark geschädigt /	deutlich geschädigt
Fichte	208 623	52	23	17	8	25
bis 60 Jahre	96 718	78	13	5	4	9
über 60 Jahre	111 905	29	31	29	11	40
Kiefer	144 810	58	35	7	0	7
bis 60 Jahre	85 128	68	27	5	0	5
über 60 Jahre	59 682	43	47	9	1	10
Sonstige Nadelbäume*	25 711	88	8	4	0	4
Nadelbäume	379 144	56	27	12	5	17
Buche*	15 986	23	53	24	0	24
Eiche*	21 449	14	41	43	2	45
Sonstige Laubbäume	53 421	47	40	11	2	13
Laubbäume	90 856	35	43	21	1	22
alle Baumarten	470 000	52	30	14	4	18
bis 60 Jahre	252 585	70	22	6	2	8
über 60 Jahre	217 415	32	38	24	6	30

* keine gesicherte Aussage

In den Tabellen 4.1-5 und 4.1-6 ist zusammengefaßt, mit welchen Anteilen die Merkmale Vergilbung, Insekten-/Pilzbefall und Blüte/Fruktifikation bei den jeweiligen Baumarten vertreten sind. Die Ergebnisse der Waldschadenserhebung zu Insekten- und Pilzschäden werden im Abschnitt 4.3 durch Flächenerhebungen aus dem Forstschutzmeldedienst ergänzt.

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

Tab. 4.1-5: Häufigkeit (%) und Intensität des Auftretens von Nadel-/Blattvergilbungen

Tab. 4.1-6: Häufigkeit (%) und Intensität des Auftretens von Insekten- und Pilzbefall sowie Blüte/Fruktifikation

	Insekten- und Pilzbefall			Blüte/Fruktifikation alle Alter/über 60 Jahre		
	gering	mittel	stark	gering	mittel	stark
Fichte	2	0	0	0/0	0/0	0/0
Kiefer	3	1	0	45/64	4/5	0/1
Sonst. Nadelbäume	7	1	0	13/44	3/0	0/0
Buche	16	1	0	0/0	0/0	0/0
Eiche	46	20	6	1/1	0/0	0/0
Sonst. Laubbäume	16	5	0	2/2	3/2	1/2
alle Baumarten	7	2	0	15/18	2/1	0/0

4.1.3.3 Regionale Ausprägung der Schäden

Die Unterstichprobe 1996 ist nicht geeignet, Aussagen für alle Wuchsgebiete Sachsens zu treffen. Ergebnisse der Zusatzerhebung in den Wuchsgebieten Erzgebirge und Elbsandsteingebirge-Zittauer Gebirge-Oberlausitzer Bergland werden im Abschnitt 4.2 dargelegt.

Schwerpunktregionen

Die Punktdarstellung des mittleren Nadel-/Blattverlustes setzt in Sachsen eindeutige Schwerpunkte im Schadensgeschehen. Eine Konzentration stark geschädigter Bäume an den Probepunkten tritt vor allem in Süd- bzw. Südostsachsen (mittleres und östliches Erzgebirge), entlang der Grenze zu Tschechien auf, während im Nordwest- und Nordostsachsen sich Punkte mit leichter Schädigung konzentrieren. Die Bäume an den Probepunkten des südwestlichen Landes teils besitzen überwiegend eine bessere Vitalität.

Anhand der Abbildung 4.1-9 wird deutlich, daß sich die zwei Haupttendenzen in der Schadentwicklung räumlich gut abgrenzen. Die 1996 stark geschädigten Fichtenwälder haben vor allem gegenüber dem letzten Jahr nochmals eine z.T. drastische Verschlechterung des Ge-

sundheitszustandes erfahren. In Südwestsachsen verbesserte sich der Zustand der dort überwiegend stockenden Fichte. Der Verbesserungstrend der Baumart Kiefer ist vor allem in Nordwestsachsen lokalisiert.

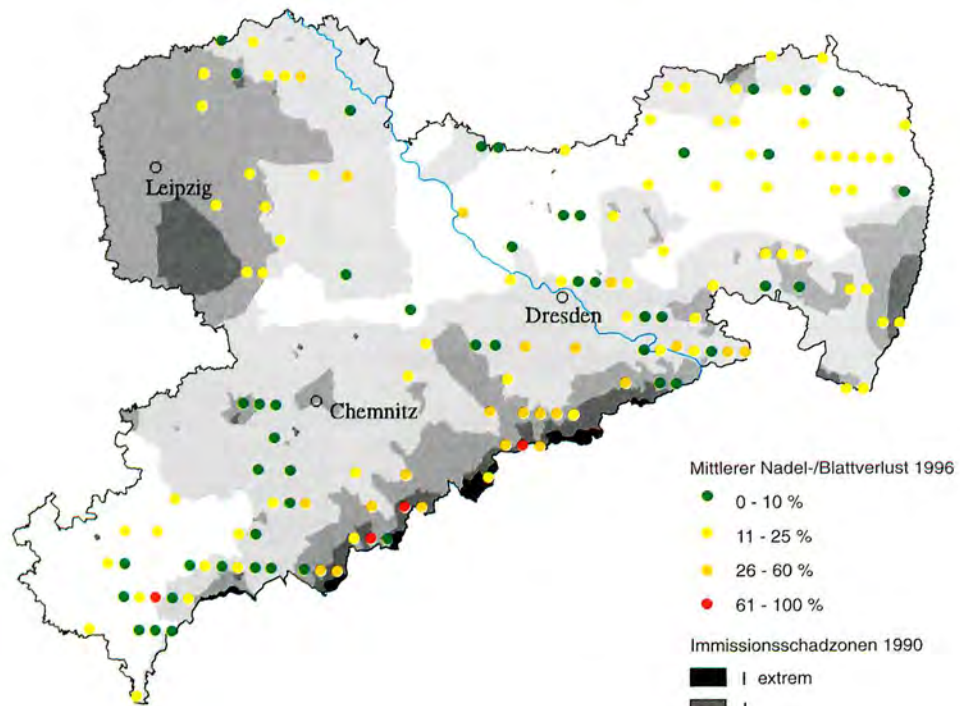


Abb. 4.1-8: Durchschnittlicher Nadel-/Blattverlust [%] an den Stichprobenpunkten des 4 x 8 km-Rasters

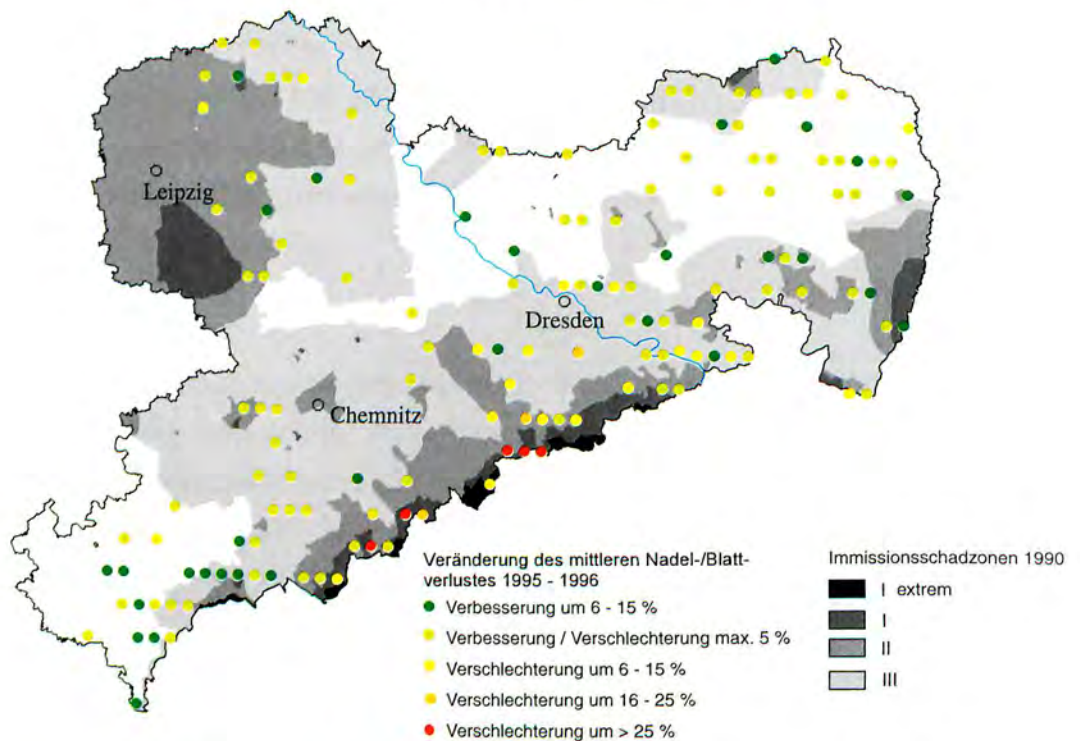


Abb. 4.1-9: Veränderung des durchschnittlichen Nadel-/Blattverlustes [%] von 1995 zu 1996 an den Stichprobenpunkten des 4 x 8 km-Rasters

Forstdirektionen

Die Abbildung 4.1-10 und die Tabelle 4.1-7 veranschaulichen die Schadstufenverteilung im Bereich der beiden Forstdirektionen Bautzen und Chemnitz.

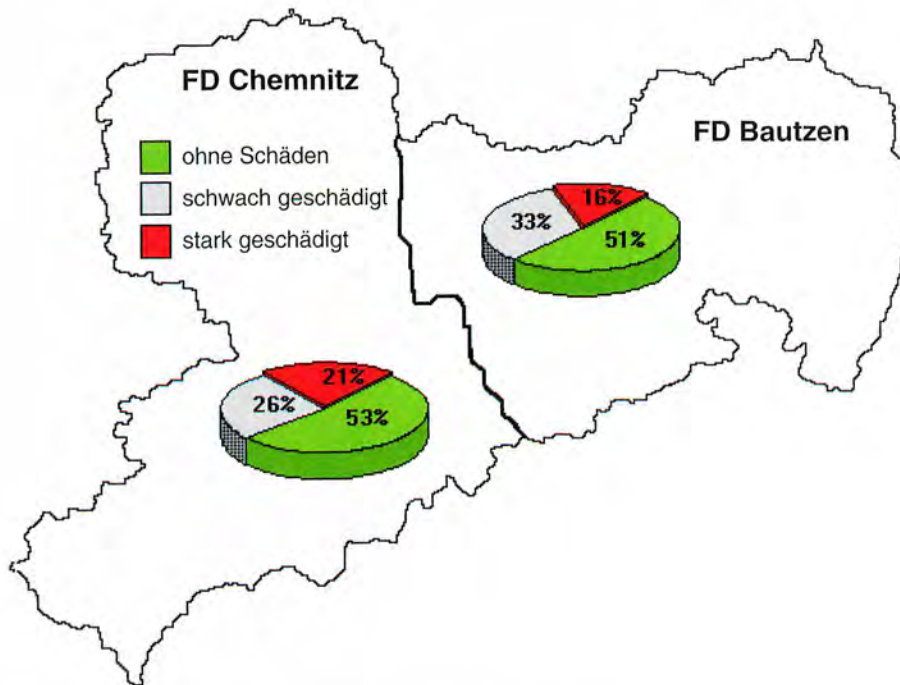


Abb. 4.1-10: Schadstufenverteilung in den Forstdirektionen

Auch im Ergebnis der 1996er Waldschadenserhebung wurde im Bereich der Forstdirektion Chemnitz ein höherer Anteil deutlich geschädigter Bäume als im Bereich der Forstdirektion Bautzen ausgeschieden. Trotz dieses niedrigeren Schadniveaus dominiert in Ostsachsen bei der Baumart Fichte der Trend zur Verschlechterung. Der Anteil deutlich geschädigter Fichten stieg gegenüber 1995 um 5 Prozentpunkte, der Anteil gesunder Fichten blieb gleich. In Westsachsen hingegen zeigt sich eine Verschiebung der leicht geschädigten Fichten zu den gesunden. Der Anteil deutlich geschädigter Fichten ist dort mit 24 % weiterhin hoch.

Tab. 4.1-7: Schadstufenverteilung in den Forstdirektion (Angaben in %)

Forstdirektion	Baumart/Alter	Schadstufe		
		0	1	2 - 4
Bautzen	Fichte	50	29	21
	Kiefer	61	33	6
	Laubholz	29	46	25
	alle	51	33	16
	bis 60 Jahre	65	26	9
über 60 Jahre	32	43	25	
Chemnitz	Fichte	55	21	24
	Kiefer	45	41	14
	Laubholz	45	37	18
	alle	53	26	21
	bis 60 Jahre	78	17	5
über 60 Jahre	32	34	34	
Sachsen	alle	52	30	18

4.1.4 Zusammenfassung

In Sachsen wurde 1996 zum 6. Mal die Waldschadenserhebung nach bundeseinheitlicher Methode durchgeführt. Im Unterstichprobennetz von 4 x 8 km wurden insgesamt 3528 Bäume begutachtet.

Das Ergebnis der Erhebung weist 18 % aller Bäume als deutlich, 30 % als leicht geschädigt und 52 % als gesund aus. Damit stieg der Anteil deutlich geschädigter Bäume im Vergleich zum Vorjahr um 1 Prozentpunkt sowie der Anteil gesunder Bäume um 6 Prozentpunkte. Eine regionale und baumartenspezifische Betrachtung setzt deutliche Akzente im Schadausmaß und der Schadentwicklung.

Die Baumart **Fichte** bestimmt die Tendenz des Gesamtergebnisses wesentlich. Der Anteil deutlich geschädigter Fichten nahm um 3 Prozentpunkte zu und liegt jetzt bei 25 %, mit einer zusätzlichen Verschiebung innerhalb dieser Gruppierung von mittelstark geschädigten Bäumen zu stark geschädigten bzw. abgestorbenen. Gleichzeitig stieg der Anteil Fichten ohne Schadmerkmale um 10 Prozentpunkte auf 52 %.

In den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge ist das Schadbild der **Fichte** wesentlich durch SO₂-Schadsymptome geprägt. Außerhalb dieses extremen Schadgebietes wirkte sich die günstige Wasserversorgung positiv auf den Gesundheitszustand der Fichten aus.

Stabilisiert hat sich 1996 der Zustand der Baumart **Kiefer**. Der 1994 eingetretene Verbesserungstrend setzte sich in diesem Jahr fort. Der Anteil deutlich geschädigter Kiefern beträgt nunmehr 7 %.

Trotz Rückgang der Schäden an der **Buche** liegt das 1996er Schadniveau noch eindeutig über dem der Jahre 1991 bis 1994. Fast jede 4. Buche ist deutlich geschädigt.

Weiterhin extrem hoch ist auch das Schadniveau der **Eiche** mit 45 % deutlichen und 41 % leichten Schäden. Nur jede 7. Eiche ist noch gesund.

4.2 Aktuelle Schadsituation im Erzgebirge

Anthropogen bedingte Schadstoffeinträge in Waldökosysteme können auf verschiedene Weise Schäden an Bäumen auslösen. Einerseits können sie über einen längeren Zeitraum hinweg in relativ geringer Konzentration akkumulativ einwirken. Die dadurch ausgelösten Komplexschäden („Neuartige Waldschäden“) äußern sich in unspezifischen Nadel- bzw. Blattverlusten, Vergilbungen usw. Sie beruhen auf Veränderungen der ökochemischen Rahmenbedingungen des Ökosystems, wie z.B. Bodenversauerung, Nährstoffauswaschung, Freisetzung von Schwermetallen usw. (vgl. Kapitel 3.4). Das Schadgeschehen des Jahres 1995 in Sachsen wurde dadurch geprägt. Andererseits können dieselben Stoffe in einem kürzeren Zeitraum in hoher Konzentration unmittelbar zu Vergiftungen der Bäume führen. Aus Industriegebieten sind diese Schäden seit Jahrhunderten bekannt. Mit der Einführung von Entschwefelungstechnologien in Braunkohlekraftwerken hatten diese „klassischen Rauchschäden“ in den letzten Jahren jedoch erheblich an Bedeutung verloren.

4.2.1 Schadursachen

1996 wurde die Waldschadenssituation in Sachsen durch das erneute, flächige Auftreten dieser „klassischen“ SO_2 -Schäden in den höheren Gebirgslagen vom Fichtelberg bis ins Zittauer Gebirge dominiert. Nachfolgend sind die verschiedenen Ursachen für dieses Schadereignis zusammengefaßt:

- Die Immissionsbelastung der SO_2 -Schadgebiete war im Winter 1995/96 deutlich höher als in den Vorjahren (siehe Kapitel 3.2). Durch die besonderen Witterungsverhältnisse (Windrichtung, Bildung von Eisanhang und Inversionslagen) erhöhte sich die Schadstoffbelastung für die Nadeln wesentlich, so daß akute Schäden an Fichten auftraten.
- Meßergebnisse von den Dauerbeobachtungsflächen der Landesanstalt für Forsten belegen die hohen Schadstoffkonzentrationen in den Niederschlägen und die enorme Säurebelastung der Schadgebiete im Vergleich zu symptomfreien Waldgebieten. Gebietsweise muß von einer mindestens 10fachen Erhöhung der Säurekonzentration im Bestandesniederschlag in Bezug zum Vorjahr ausgegangen werden (siehe Kapitel 3.3).
- Das Schadgebiet ist durch eine jahrzehntelange hohe SO_2 -Belastung gekennzeichnet, die zu latenten Schäden (Vitalitätsminderung) besonders an Fichte führte und damit deren Widerstandskraft gegenüber anderen Einflüssen insbesondere Frost verminderte.
- Witterungsextreme, im besonderen die schnell einsetzende und langanhaltende Frostperiode, spielen als auslösende und schadverstärkende Faktoren eine entscheidende Rolle. Sie können jedoch nicht die Hauptursache sein, da auch außerhalb des Schadgebietes vergleichbare meteorologische Verhältnisse auftraten.

Die Abbildung 4.2-1a zeigt einen stark geschädigten Fichtenaltbestand. Da in Gebieten mit einer geschlossenen Schneedecke die untersten Zweige von jungen Fichten vor dem extremen SO_2 -Einfluß geschützt waren, traten an den Nadeln unter dem Schnee später kaum Schäden auf (siehe Abb. 4.2-1b).



Abb. 4.2-1a: Stark geschädigter Fichtenaltbestand im SäFoA Marienberg

Abb. 4.2-1b: Fichte, deren untere Zweige durch die Schneedecke vor dem direkten SO_2 -Einfluß geschützt waren

Bei einer Einordnung dieses Schadereignisses in die Waldschadenssituation Sachsens ist zu berücksichtigen, daß außergewöhnliche meteorologische Verhältnisse (überdurchschnittlich häufige Süd- und Südostwinde, langanhaltender Nebelfrost, eine lange Frostperiode, intensive Sonneneinstrahlung mit schneller Erwärmung der Luft usw.) zu ihrer Entstehung beigetragen haben. Derartige Konstellationen treten normalerweise nur in größeren zeitlichen Abständen auf. Das Schadereignis zeigt aber auch, daß trotz tendenziell sinkender SO_2 -Einträge in den traditionellen „Rauchschadgebieten“ noch Situationen auftreten können, die zum flächigen Absterben von Fichtenbeständen führen. Die Maßnahmen zur Emissionsreduktion müssen deshalb fortgesetzt werden.

4.2.2 Schadausmaß

Die ersten Schadsymptome in Form einer Rotfärbung vor allem der letztjährigen Nadeln zeigten sich im März/April. Besonders betroffen waren dabei südlich exponierte Bestände im Kammbereich des östlichen und mittleren Erzgebirges. Die Abbildung 4.2-2 veranschaulicht einen derart geschädigten Bestand im SäFoA Olbernhau.



Abb. 4.2-2: *SO₂-geschädigter Fichtenaltbestand im SäFoA Olbernhau im zeitigen Frühjahr*

Auf Grund der außergewöhnlichen Schadsituation wurden eine Reihe von Zusatzerhebungen durchgeführt. Dazu gehörten:

- die Erfassung der geschädigten Flächen im April/Mai durch die Forstämter mit ständiger Aktualisierung vor allem des Schadholzanfalls,
- die Anlage und Bonitur von Beobachtungsflächen,
- die Aufnahme an den WSE-Stichprobenpunkten im 4 x 2 km-Raster in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge/Zittauer Gebirge/Oberlausitzer Bergland.

Flächenerfassung/Beobachtungsflächen

Um kurzfristig den Schadumfang einschätzen und die sich daraus ergebenden forstlichen Konsequenzen ableiten zu können, erfolgte eine Schadflächenerhebung durch die Forstämter. Für das Gebiet mittleres und östliches Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, südliche Oberlausitz und Zittauer Gebirge ergaben sich folgende Schadflächen:

- ca. 30.000 ha mit den typischen Symptomen an einzelnen Bäumen bis 1/3 der Bäume,
- ca. 10.000 ha mit den typischen Symptomen an 1/3 bis 2/3 der Bäume,
- ca. 10.000 ha mit den typischen Symptomen an mehr als 2/3 der Bäume.

Trotz der günstigen Niederschlagsverhältnisse in der Vegetationsperiode nahm die Schadintensität im Laufe des Sommers weiter zu. Quantifizierbar ist diese Entwicklung anhand des Schadforschlittes an 500 markierten Einzelbäumen in den besonders stark geschädigten Gebieten. Bei der ersten Aufnahme im Mai zeigten 16 % der ausgewählten Bäume noch keine Schadsymptome, bis Ende Juli reduzierte sich dieser Anteil auf 12 %. Die Fichten, an denen zur Erstaufnahme mehr als 2/3 der vorjährigen bzw. bereits ältere Nadeljährgänge verfärbt waren, hatten bei der Zweitaufnahme Ende Juli bereits überwiegend die Nadeln abgeworfen. Hinzu kommt, daß von derart geschädigten Fichten 46 % keinen und 36 % nur an einem Viertel der Äste einen Maitrieb bildeten. Fichten in dieser Gruppe sind letal geschädigt.

Typisch für akute SO_2 -Schäden ist, daß sie sich baumartenspezifisch ausprägen. Am stärksten geschädigt wird die Fichte. Aber auch in scheinbar homogenen Fichtenbeständen werden - in Abhängigkeit von der genetischen Veranlagung sowie der Exposition - individuelle Unterschiede sichtbar (siehe Abb. 4.2-6). Andere Nadelbaumarten, speziell die in der Vergangenheit begründeten „Ersatzbaumarten“ wie Lärchen (*Larix spec.*), Murray-Kiefer (*Pinus contorta*), Rumelische Kiefer (*Pinus peuce*) und Blau- (*Picea pungens*) und Omorikafichte (*Picea omorika*), blieben auch in diesem Jahr schadsymptomfrei (siehe Abb. 4.1-6). Besonders aber die hohe Vitalität der einheimischen Laubbaumarten, die in den betroffenen Höhenlagen wachsen, zeigen die Richtung des Waldumbaus in diesem Gebiet auf.



Abb. 4.2-3: Vitale Eberesche neben stark geschädigten Fichten

WSE-Aufnahme im 4 x 2 km-Raster

Die Erhebung in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland im verdichteten Raster von 4 x 2 km erfolgte nach der unter 4.1.1 beschriebenen Methode. Als ergänzende Merkmale wurden

- die Intensität der SO₂-Schädigung (in drei Stufen)
- der geschädigte Kronenbereich,
- der Austrieb der Fichten (in vier Stufen)

bewertet.

Obwohl zum Zeitpunkt der WSE-Aufnahme die rotgefärbten Nadeln, die das typische Schadbild im Frühjahr 1996 kennzeichneten, i.d.R. abgefallen waren, ermöglichte die Spezifik des Nadelverlustes - beginnende Auflichtung vom letzten Nadeljahrgang - dennoch eine eindeutige Klassifikation.

In die Sonderauswertung wurden 4595 Fichten einbezogen, 3743 im Wuchsgebiet Erzgebirge und 852 in den Wuchsgebieten Elbsandsteingebirge-Zittauer Gebirge-Oberlausitzer Bergland. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf diese Baumart, die in diesen Wuchsgebieten dominiert.

Tabelle 4.2-1 enthält die Ergebnisse der Wuchsgebietsauswertung. Im Erzgebirge liegt der Anteil deutlich geschädigter Fichten (Schadstufen 2–4) mit 30 % klar über dem Landesdurchschnitt für alle Fichten (25 %). Ausgesprochen hoch ist in beiden Altersbereichen der Anteil stark geschädigter (Schadstufe 3) bzw. abgestorbener (Schadstufe 4) Fichten mit 10 % in dieser Schadgruppe. In den Wuchsgebieten Elbsandsteingebirge-Zittauer Gebirge-Oberlausitzer Bergland überwiegen die leichten (Schadstufe 1) und mittelstarken (Schadstufe 2) Schäden.

Tab. 4.2-1: Schadstufenverteilung der Fichte in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge/Zittauer Gebirge/Oberlausitzer Bergland (Angaben in %)

Wuchsgebiet	Alter	Schadstufe				
		0	1	2	3 + 4	2 - 4
Erzgebirge	alle	49	21	20	10	30
	bis 60 Jahre	70	11	9	10	19
	über 60 Jahre	29	32	29	10	39
Elbsandsteingebirge/ Zittauer Gebirge/ Oberlausitzer Bergland	alle	39	42	19	0	19
	bis 60 Jahre	68	26	6	0	6
	über 60 Jahre	16	54	30	0	30

Selbst innerhalb der Wuchsgebiete sind erhebliche Differenzierungen im Schadausmaß festzustellen. Im Wuchsgebiet Erzgebirge nehmen die Schäden von Ost nach West und mit der Höhe in Richtung Norden tendenziell ab (Abb. 4.2-4).

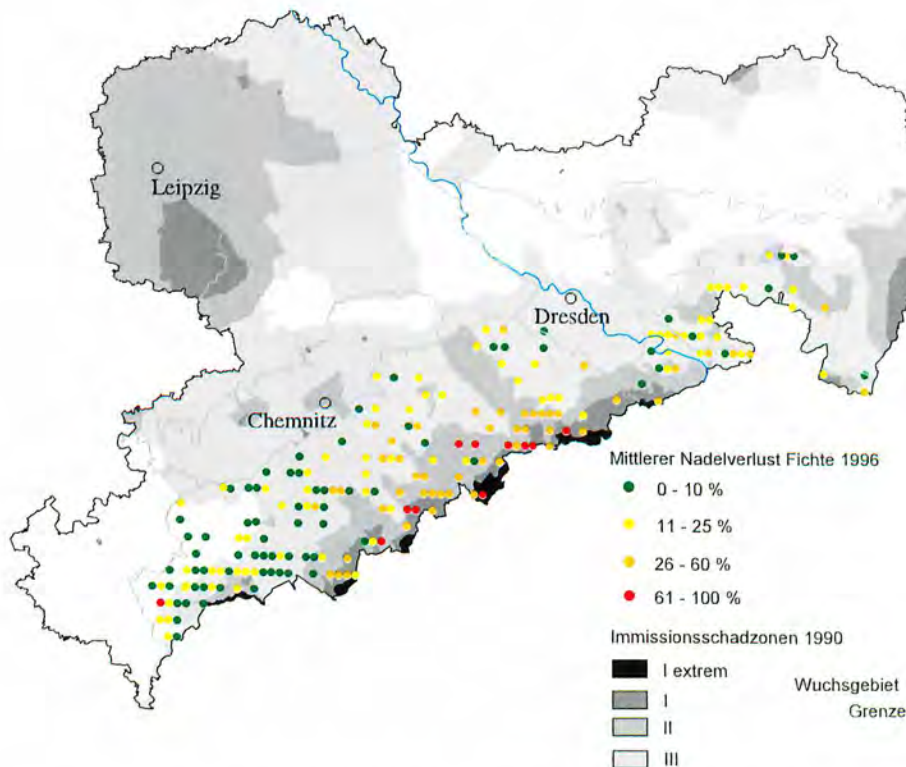


Abb. 4.2-4: Durchschnittlicher Nadelverlust [%] der Fichten an den Stichprobepunkten des 4 x 2 km-Rasters in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge/Zittauer Gebirge/Oberlausitzer Bergland (Stichprobepunkte mit mehr als 5 Fichten)

Immissionsschadzonen: I_{ext} - überwiegend katastrophale Schäden
 I - überwiegend starke Schäden
 II - überwiegend mittlere Schäden
 III - überwiegend geringe Schäden

Ein Vergleich der aktuellen Schadschwerpunkte mit der Lage der Immissionsschadzonen von 1990 verdeutlicht, daß sich die Schwerpunktgebiete kaum verändert haben. Stattdessen ist dort, wo bereits eine hohe Vorschädigung der Bestände vorlag, erneut eine drastische Verschlechterung des Zustandes der Bestände eingetreten. Die 1996 ermittelten durchschnittlichen Nadelverluste der Fichten korrespondieren mit den Ergebnissen der Immissionsschadzonierung von 1990 (Abb. 4.2-5). In der Immissionsschadzone I_{extrem} (=überwiegend katastrophale Schäden) besitzen die Fichten nur noch ca. 1/6 ihrer eigentlichen Nadelmasse. Dort erhöhte sich gleichzeitig der mittlere Nadelverlust um das 4fache des 1994er Wertes. Das Schadniveau in der Immissionsschadzone I_{extrem} 1996 ist damit erheblich höher als zu Beginn der Erhebung 1991. Die Fichten in der Immissionsschadzone III haben das Schadniveau von 1994 beibehalten.

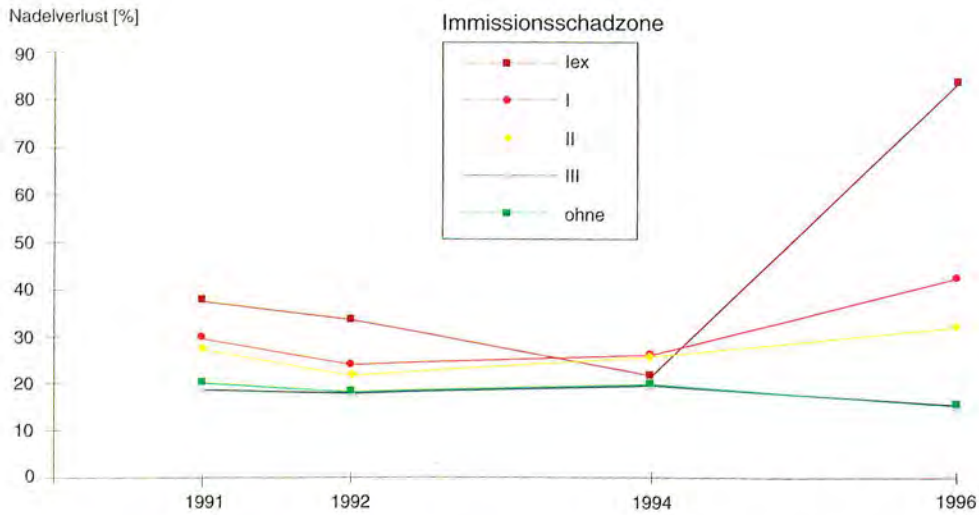


Abb. 4.2-5: Veränderung des durchschnittlichen Nadelverlusts [%] von 1991 bis 1996 in den Immissionsschadzonen (Stand: 1990); (identisches Stichprobenkollektiv von 2123 Fichten)

Im Untersuchungsgebiet wurden an jeder vierten Fichte Schadenssymptome festgestellt, die primär durch SO_2 verursacht wurden. Von den SO_2 -geschädigten Fichten ist bei jeder dritten das Merkmal stark ausgeprägt. Meist ist die gesamte Krone durch die Schadenssymptome geprägt; bei 9 % der Fichten weist nur die Oberkrone und bei 28 % nur die Unterkrone diese Schadmerkmale auf.



Abb. 4.2-6a: Fichten eines Bestandes mit unterschiedlicher Ausprägung der SO_2 -Schadenssymptome (v.l.n.r.: mittel, gering, stark)

Abb. 4.2-6b: Maitrieb an SO_2 -geschädigten Fichten

Das Alter der Fichten hatte kaum Einfluß auf das Ausmaß der diesjährigen Schädigung durch SO_2 . Dies unterscheidet das Schadereignis des Winters 1995/96 von den „Neuartigen Waldschäden“. Die Abbildung 4.2-7 zeigt die Verteilung der SO_2 -Schäden innerhalb der Altersklassen.

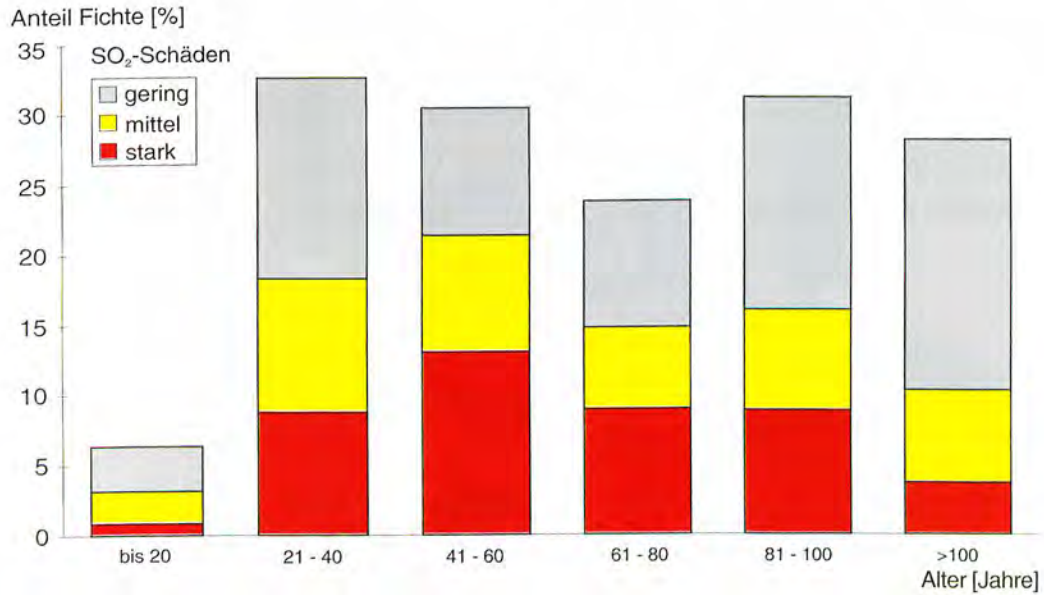


Abb. 4.2.-7: Abhängigkeit der SO_2 -Schadintensität vom Baumalter



Abb. 4.2-8: Stark geschädigter Fichtenjungbestand und -altbestand

In allen untersuchten Wuchsgebieten sind an Fichten SO_2 -Schäden festgestellt worden (Abb. 4.2-9). Im Erzgebirge ist - analog zum mittleren Nadelverlust (Abb. 4.2-4) - ein ausgeprägtes Gefälle in der Schadintensität von Ost nach West vorhanden.

Besonders drastisch gestaltet sich die Situation in den Wuchsbezirken Mittleres und Östliches Oberes Erzgebirge. Dort zeigen ca. 3/4 der Fichten SO_2 -Schäden mit vorrangig starker Ausprägung. Die dem Hauptschadgebiet westlich und nördlich vorgelagerten Fichten weisen nur selten diese Schadsymptome auf. Im Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland treten die Schäden zumeist häufig, jedoch in geringerer Intensität auf.

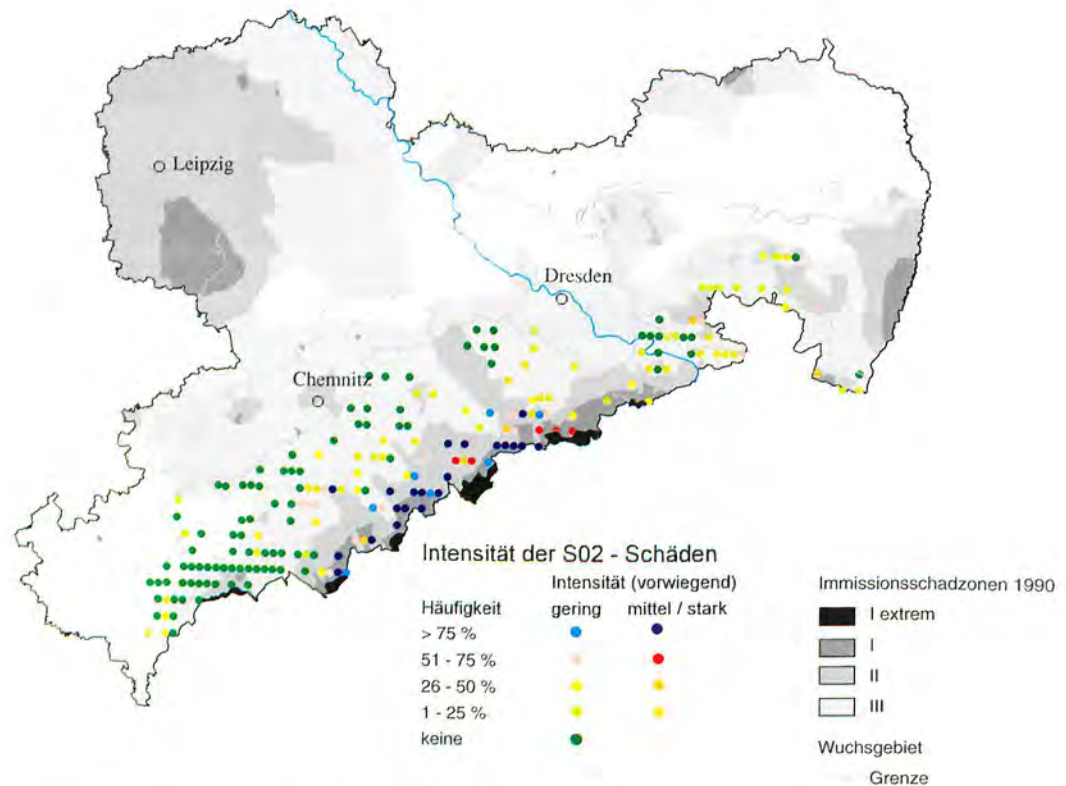


Abb. 4.2-9: Verteilung der SO_2 -Schäden (Stichprobepunkte mit mehr als 5 Fichten)

Das diesjährige Schadereignis stellt die Existenz zahlreicher Fichtenbestände im Extrem-schadgebiet in Frage. Trotz günstiger Witterungsbedingungen bildeten in diesem Frühjahr über die Hälfte keinen bzw. nur einen spärlichen Maitrieb aus (Abb. 4.2-10).

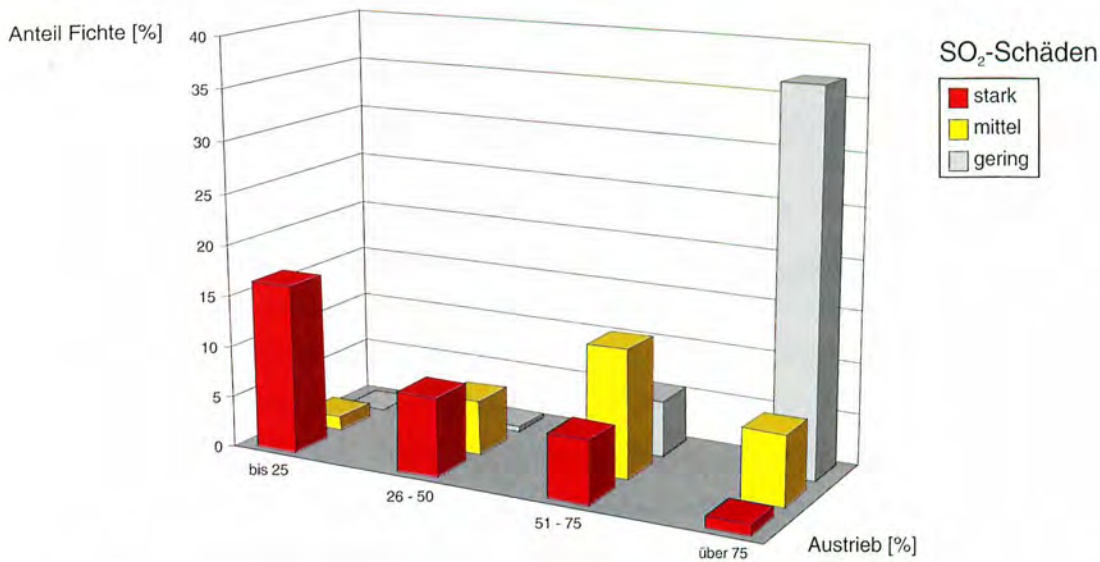


Abb. 4.2-10: Ausbildung des Maitriebes 1996 bei unterschiedlicher SO₂-Beeinträchtigung

Die Stichprobenerhebung ermöglicht eine Flächenhochrechnung für das Wuchsgebiet Erzgebirge und zusammengefaßt für die Wuchsgebiete Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland anhand der aufgenommenen Schadmerkmale. An den Stichprobensäumen des 4 x 8 km-Rasters außerhalb dieser Gebiete wurden keine SO₂-Schadsymptome festgestellt. Insgesamt ergab sich eine Fläche von nahezu 7000 ha, auf denen die Fichten infolge der Schädigung in diesem Jahr keinen oder kaum einen Maitrieb ausgebildet hatten.

Tabelle 4.2-2 enthält die Ergebnisse der Hochrechnung. Sie führt zu ähnlichen Resultaten wie die flächige Erfassung der Schäden. Berücksichtigt werden muß, daß in die Hochrechnung - im Gegensatz zur Flächenerfassung - Fichten aller Altersklassen eingehen.

Tab. 4.2-2: Schadflächen (ha) infolge SO₂-Schädigung

Wuchsgebiet	Schadintensität	Anteil der Zweige mit Maitrieb				Summe
		über 75 %	75 - 51 %	50 - 26 %	bis 25 %	
Erzgebirge	gering	12.067	1.700	133		13.900
	mittel	2.300	4.367	1.967	400	9.034
	stark	367	2.367	3033	6.367	12.134
	Summe	14.734	8.434	5.133	6.767	35.068
Elbsandsteingebirge-Zittauer Gebirge-Oberlausitzer Bergland	gering	2.367	433	67		2.867
	mittel	367	533	67	133	1.100
	stark		34	66		100
	Summe	2.734	1000	200	133	4.067
Insgesamt	gering	14.433	2.133	200		16.766
	mittel	2.667	4.900	2.033	533	10.133
	stark	367	2.400	3.100	6.367	12.234
	Summe	17.467	9.433	5.333	6.900	39.133

4.2.3 Folgeschäden

Die Situation im SO₂-Schadgebiet blieb u.a. aus folgenden Gründen auch im Sommer 1996 kritisch:

- Vitalitätsverlust der überlebenden Fichten
- Auflichtung der Bestände
- Hoher Anfall von Bruchholz

Durch den großflächigen Vitalitätsverlust der überlebenden Fichtenbestände sanken die Abwehrkräfte der Fichten gegen Borkenkäfer. Außerdem fiel überdurchschnittlich viel Bruchholz an. Reichliches Brutraumangebot ist eine notwendige Voraussetzung für den Beginn einer Massenvermehrung des Buchdruckers (siehe Kapitel 4.4.2.1).



Abb. 4.2-11: Liegendbefall durch den Buchdrucker im Bruchholz eines SO₂-geschädigten Bestandes



Abb. 4.2-12: Unsanierter, SO₂-geschädigter Fichtenjungbestand

Günstig wirkte sich jedoch die geringe Ausgangsdichte des Käfers aus. Diese war auf die konsequente Anwendung der integrierten Buchdruckerbekämpfung und der „sauberen Wirtschaft“ in der Vergangenheit zurückzuführen. Um einer Gradation des Buchdruckers rechtzeitig begegnen

zu können, erfolgte im Frühjahr eine rasche Aufbereitung des Bruchholzes (siehe Abb. 4.2-11), die durch weitere befallsreduzierende Maßnahmen (Einsatz von Fallen und Fangbäumen an Schwerpunkten) ergänzt wurde.

Diese Sanierungsstrategie verhinderte in Verbindung mit den ungünstigen Witterungsbedingungen während der Käferentwicklung das Auftreten nennenswerter Folgeschäden in Form von Stehendbefall durch den Buchdrucker. Aufgrund der noch langfristig nachwirkenden Vitalitätsminderung, ist auch in den kommenden Jahren im SO₂-Schadgebiet mit einer verstärkten Befallsgefährdung durch den Buchdrucker zu rechnen. Hinzu kommen mögliche Folgeschäden durch Bruch und Wurf in den stark aufgelichteten Beständen (Abb. 4.2-13).



Abb. 4.2-13: Sehr stark SO₂-geschädigter Bestand nach Einschlag der irreversibel geschädigten Bäume

In ebenfalls stark vom Eisanhang und SO₂-geschädigten, jüngeren Fichtenbeständen (siehe Abb. 4.2-12) fanden bisher keine Sanierungsmaßnahmen statt, da die vom Kupferstecher (siehe Kapitel 4.4.2.1) ausgehende Gefahr für den Stehendbefall noch gesunder Bäume als relativ gering eingeschätzt wurde. Die derzeitige Entwicklung entspricht dieser Prognose.

4.2.4 Zusammenfassung

Im Winter 1995/96 traten in den sächsischen Mittelgebirgen im Vergleich zu den Vorjahren deutlich höhere SO_2 -Immissionskonzentrationen auf. Hinzu kommt ein beträchtlicher Anteil in Nebeltröpfchen gelöster sowie in Form von Nebelfrost unmittelbar an Zweigen angelagerter Schwefelverbindungen, die akute Schäden an Fichten verursachten.

Eine Flächenerhebung wies für das Gebiet mittleres und östliches Erzgebirge, Elbsandsteingebiet, südliche Oberlausitz und Zittauer Gebirge folgende Schadflächen aus:

- ca. 30.000 ha mit den typischen Symptomen an einzelnen Bäumen bis 1/3 der Bäume,
- ca. 10.000 ha mit den typischen Symptomen an 1/3 bis 2/3 der Bäume,
- ca. 10.000 ha mit den typischen Symptomen an mehr als 2/3 der Bäume.

Trotz der günstigen Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode nahm die Schadintensität im Laufe des Sommers weiter zu.

Eine Aufnahme an den WSE-Stichprobepunkten im verdichteten Raster von 4 x 2 km in den Wuchsgebieten Erzgebirge, Elbsandsteingebirge, Zittauer Gebirge und Oberlausitzer Bergland brachte folgende Ergebnisse:

- Im Erzgebirge liegt der Anteil deutlich geschädigter Fichten mit 30 % klar über dem Landesdurchschnitt für alle Fichten (25 %). Ausgesprochen hoch ist der Anteil stark geschädigter bzw. abgestorbener Fichten mit 10 % in dieser Schadgruppe.
- Vor allem in den bisherigen Schwerpunktgebieten ist durch das Schadereignis eine drastische Verschlechterung des Zustandes der Fichten eingetreten.
- In den Wuchsbezirken Mittleres und Östliches Oberes Erzgebirge zeigen ca. 3/4 der Fichten SO_2 -Schäden mit vorrangig starker Ausprägung.
- SO_2 -Schadsymptome wurden bei Fichten aller Alter registriert.
- Eine Hochrechnung ergab eine Fläche von nahezu 7000 ha, auf denen die Fichten infolge der Schädigung in diesem Jahr keinen oder kaum einen Maitrieb ausgebildet hatten.

Die Sanierungsstrategie im Extremschadgebiet verhinderte in Verbindung mit den für die Käferentwicklung ungünstigen Witterungsbedingungen bislang das Auftreten nennenswerter Folgeschäden in Form von Stehendbefall durch den Buchdrucker. Aufgrund der noch langfristig nachwirkenden Vitalitätsminderung, muß jedoch auch in den kommenden Jahren mit einer verstärkten Befallsgefährdung durch den Buchdrucker gerechnet werden.

4.3 Biotische und abiotische Schäden

4.3.1 Methodik der Schaderfassung

Das Auftreten biotischer und abiotischer Schadeinflüsse kann den Waldzustand gebietsweise 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. So führte beispielsweise der Fraß von Frostspanner- und Eichenwicklerrauen in Eichenbeständen des Freistaates innerhalb weniger Wochen zu erheblichen Blattverlusten.

Der Vitalitätsverlust durch anthropogen bedingte Einflüsse verursacht bzw. fördert das Auftreten biotischer und abiotischer Schäden in Waldbeständen. Eine Reihe dieser Schäden tritt jedoch auch ohne eine derartige Schwächung auf. Sie werden vor allem durch bestimmte Witterungskonstellationen hervorgerufen bzw. in ihrer Wirkung verstärkt.

Im Rahmen der Waldschadenserhebung (WSE) werden auch biotische und abiotische Schäden an den Probestämmen registriert (siehe Kapitel 4.1.1). In den Monaten Juli und August, in denen die Erhebung stattfindet, sind nur einige Schäden eindeutig erkennbar, wie z.B. der gerade abgeschlossene Fraß der Nonnenraupen oder der Fraß von Larven der Fichten-Gespinstblattwespe. 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 (Buchdrucker- und Prachtkäferbefall). Hinzu kommt, daß viele biotische Schäden nicht gleichmäßig im Wald verteilt auftreten, sondern konzentriert in bestimmten Bereichen. Für den Buchdrucker sind das besonnte Altholzränder. Auch der Fraß durch Kiefernspinner betraf 1996 nur einzelne Bestände. 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. Auf der Grundlage von monatlichen Informationen aus den 51 sächsischen Forstämtern sowie den 4 Bundesforstämtern und den 2 Stadforstämtern in Sachsen liegen ortsbezogene Angaben zu Art und Umfang biotischer und abiotischer Schäden in den Wäldern vor. Stichtag der nachfolgenden Angaben ist der 30.9.1996.

4.3.2 Schäden durch Insekten und Pilze

4.3.2.1 Schäden an Nadelholz

Schäden an Fichte

Die sächsischen Fichtenbestände wurden in den letzten Jahren durch biotische Schadfaktoren nur in geringem Maße beeinflusst. Großflächig traten keine bestandesbedrohenden Schäden auf. Obwohl sich 1994 und 1995 eine Verschlechterung der Situation in Form einer forcierten Entwicklung einiger Insektenarten andeutete, setzte sich dieser Trend 1996 nicht fort.

Der **Buchdrucker** (*Ips typographus* L.) verursachte in den vergangenen Jahren, bedingt durch eine ständige Überwachung einschließlich einer rechtzeitigen Befallholzanierung und ein begrenztes Brutraumangebot, nur geringe Schäden. 1994 beginnend, kam es zu einem in erster Linie witterungsbedingten Anstieg des Stehendbefalls im Vergleich zu den Vorjahren. Aus den Angaben für den Schadholzanfall der letzten Jahre in der Abbildung 4.3-1 wird diese Tendenz sichtbar.

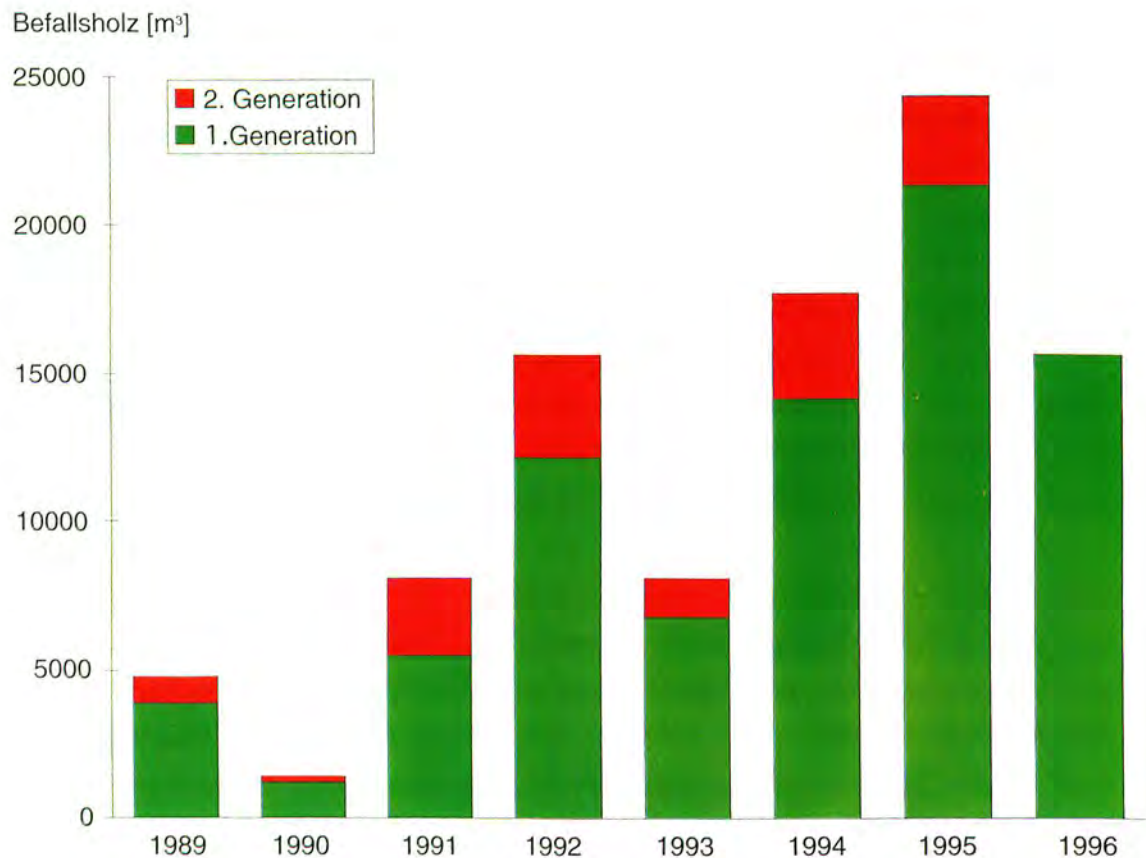


Abb. 4.3-1: Schadholzmenge durch Buchdruckerbefall von 1989 bis 1996 (Angabe für 1996 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 96/97 sichtbar)

Der gebietsweise überdurchschnittliche Anfall von Bruchholz infolge Eisanhang im Winter 1995/96 führte zu einer Verschärfung der Situation, denn dieses Holz stellt im Frühjahr ein ideales Bruthabitat für die überwinterten Käfer dar und ermöglicht so einen raschen Anstieg der Populationsdichten. Auch die großflächigen SO₂-Schäden (siehe Kapitel 4.2) erhöhten durch die Schwächung der Bäume deren Befallsgefährdung.

Um eine Massenvermehrung des Käfers zu verhindern, wurde sehr zeitig mit den notwendigen Sanierungsmaßnahmen begonnen. Aufgrund der für die Käferentwicklung ungünstigen Witterungsverhältnisse (kühl und feucht) und der durchgeführten Maßnahmen (schnelle Beräumung des Bruchholzes, Einsatz von Fallen und Fangbäumen, rechtzeitige Sanierung von Befallsholz u.a.) nahm im Landesdurchschnitt der Anfall von Befallsholz im Vergleich zu 1995 nicht zu. Im September erreichte diese Menge ca. 90 % des Vorjahreswertes.

Die Schäden durch Buchdrucker-Stehendbefall konzentrieren sich im Westerzgebirge und Vogtland. In der Abbildung 4.3-2 sind die Schwerpunktgebiete dargestellt.

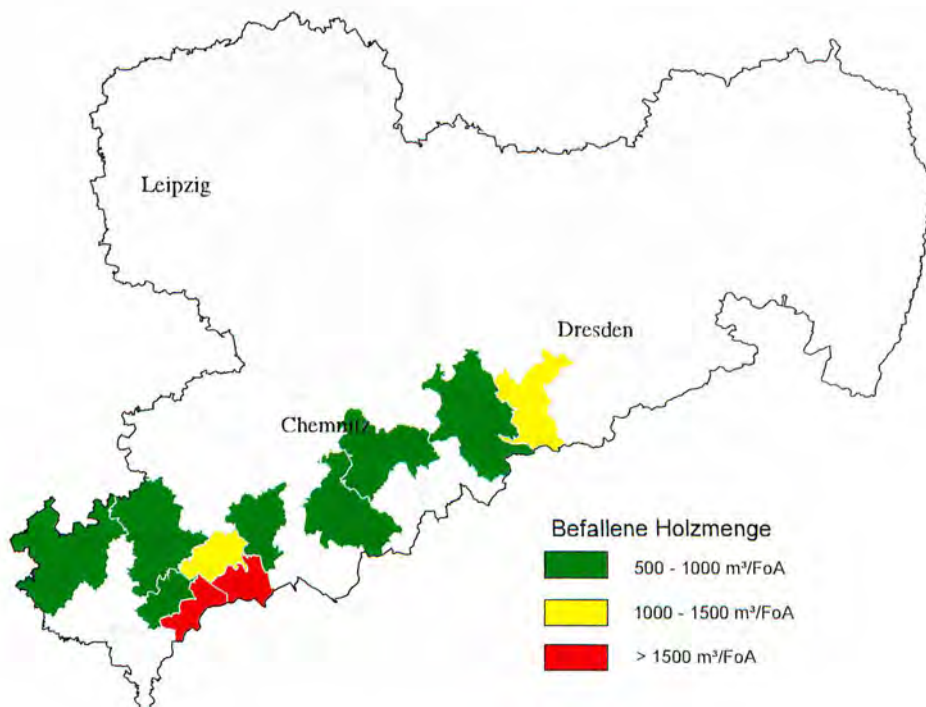


Abb. 4.3-2: Schwerpunkte des Buchdruckerbefalls 1996

In diesen Schwerpunktgebieten blieb trotz Witterung und Gegenmaßnahmen der Befall auf dem hohen Vorjahresniveau bzw. stieg noch etwas an. Das deutet auf die beginnende Eigendynamik der Populationsentwicklung hin und zeigt die Gefährlichkeit des Buchdruckers (siehe Abb. 4.3-3).



Abb. 4.3-3: „Käfernest“ in einem Fichtenbestand an äußerlich vitalen Bäumen

Unter ungünstigen Bedingungen (überdurchschnittliche Schäden durch Sturm und Schnee im kommenden Winter und ein warm-trockenes Frühjahr) könnte sich 1997 der Befallsanstieg fortsetzen.

Neben dem Buchdrucker ist der **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus* L.) eine weitere rindenbrütende Käferart, die Stehendbefall verursachen kann. Beide Borkenkäferarten können gemeinsam, aber auch unabhängig voneinander auftreten. Dabei bevorzugt der Kupferstecher jüngere Bestände bzw. schwächere (dünnere) Stammbereiche. Da für diese Art das Gefährdungspotential für die Entwicklung einer Massenvermehrung ausgehend von bruchgeschädigten Bäumen geringer eingeschätzt wird als das für den Buchdrucker, wurden die Schäden aus dem letzten Winter in derartigen Beständen nicht saniert. In diesen Beständen erfolgt jedoch eine intensive Überwachung der Befallsituation.

Im Jahr 1994 kam es auf 3500 ha zu merklichen bis starken Fraßschäden durch die Larven der **Fichten-Gespinstblattwespe** (*Cephalcia abietis* L.). Wie aus der Abbildung 4.3-4 hervorgeht, waren das die flächenmäßig umfangreichsten Schäden der letzten Jahre. Sie führten in den geschädigten Beständen zu einer enormen Erhöhung der im Boden überliegenden Ruhelarven.

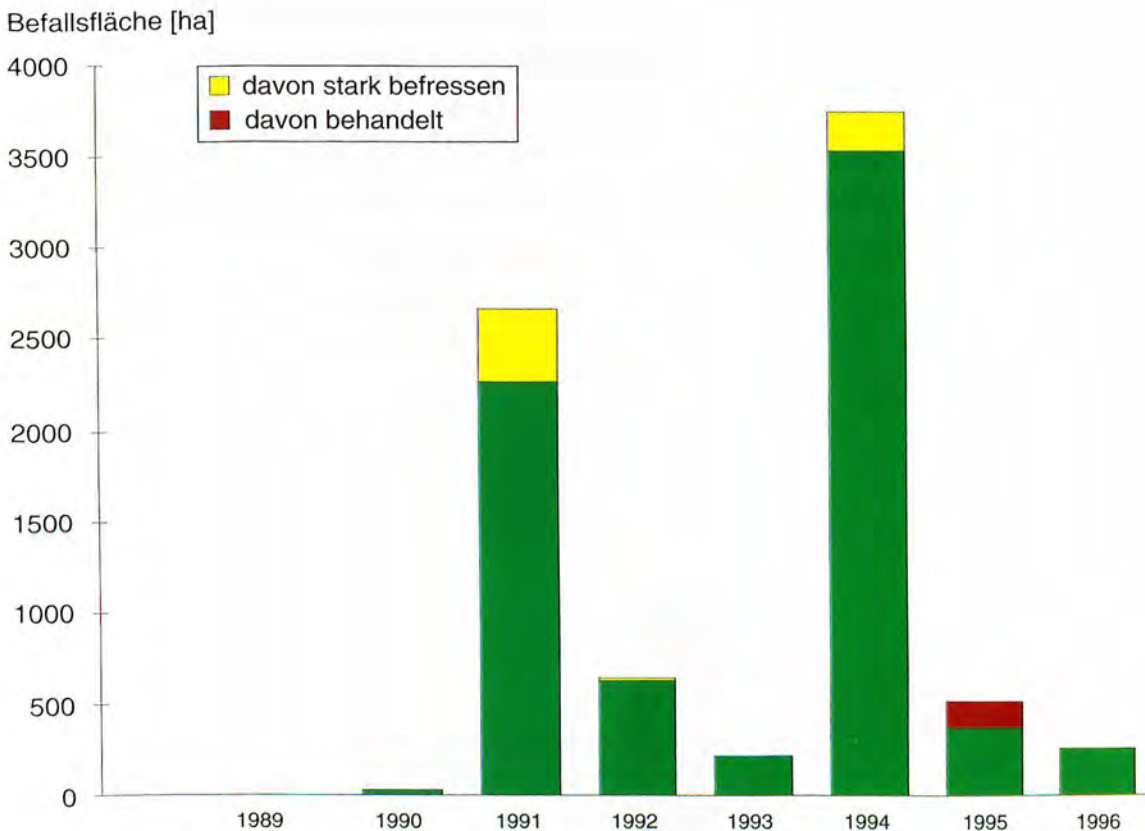


Abb. 4.3-4: Befallsflächen [ha] durch Fichten-Gespinstblattwespe 1990 bis 1996

Da bei dieser Blattwespenart die Entwicklung nach dem Larvenstadium in der Regel für ein Jahr durch eine Diapause unterbrochen wird, kommt es nicht gleich im Folgejahr zu einer weiteren Schaderhöhung. Das erklärt die deutliche Abnahme der Befallsfläche 1995. Aber auch 1996 erhöhte sich der Anteil schlüpfender Larven nicht wesentlich, so daß die Befallsfläche weiter zurück ging. Obwohl die Ruhelarvendichten durch natürliche Faktoren kontinuierlich abnehmen, liegen in den Fraßgebieten von 1994 noch so hohe Larvendichten vor, daß 1997 wieder ein Befallsanstieg erfolgen könnte. Das würde dem sich abzeichnenden 3-Jahreszyklus in der Befallsentwicklung entsprechen (siehe Abb. 4.3-4).

Die **Nonne** (*Lymantria monacha* L.), der gefährlichste nadelfressende Schädling an Fichte, trat 1995 erstmals nach mehreren Jahrzehnten in sächsischen Fichtenwäldern in schadverursachenden Populationsdichten auf. Bei dem relativ eng begrenzten Befallsgebiet im Forstamt Plauen handelt es sich um den östlichen Ausläufer eines größeren Befallsareals in Thüringen. Da für 1996 mit einer Ausdehnung der fraßgefährdeten Fläche und einer Zunahme der Fraßintensität gerechnet werden mußte, die in diesem Gebiet die Existenz der Bestände bedrohte, fanden auf 205 ha Gegenmaßnahmen statt. Zum Einsatz kam dabei der Häutungshemmer Dimilin. Neue Befallsflächen wurden nicht lokalisiert.

Schäden an Kiefer

Der Befallsholzanzahl infolge der Besiedelung durch Larven des **Blauen Kiefernprachtkäfers** (*Phaenops cyanea* L.) nimmt in den letzten Jahren kontinuierlich ab (siehe Abb. 4.3-5). Obwohl die Witterungsbedingungen für diese wärmeliebende Käferart, die in der Regel eine 2-jährige Generationentwicklung durchläuft, im Sommer 1994 und auch 1995 sehr günstig waren, kam es nicht zu einem erneuten Anstieg der Befallsmenge. Als Ursache dafür ist vor allem das ausreichende Wasserangebot jeweils zu Beginn der Vegetationsperioden anzusehen. Die nahezu optimalen Voraussetzungen für das Wachstum der Kiefern führten zu einer Vitalitätserhöhung (siehe Ergebnisse der WSE, Kapitel 4.1.) und damit auch zum Überwachen der zwischen Holz und Rinde lebenden Käferlarven.

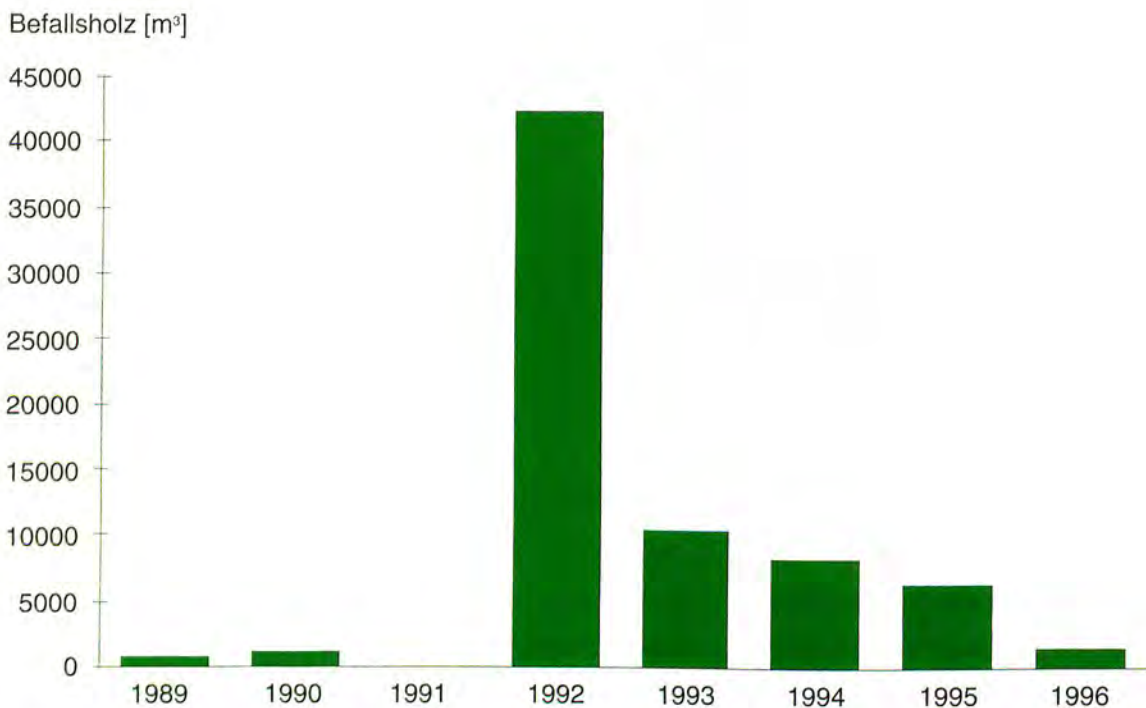


Abb. 4.3-5: Schadholzmenge durch Prachtkäferbefall von 1989 bis 1996 (Angabe für 1996 ist noch unvollständig, Gesamtbefall wird erst im Winter 96/97 sichtbar)

Im Gegensatz zu einigen Fichtenbeständen (siehe oben) ist die Massenvermehrung der **Nonne** (*Lymantria monacha* L.) im nordsächsischen Kieferngebiet beendet. Darauf deuten alle durchgeführten Überwachungsmaßnahmen hin.

Anders stellte sich derzeit noch die Situation hinsichtlich des Auftretens von **Kiefernspinnern** (*Dendrolimus pini* L.) dar. Seit 1994 kommt es zu lokal begrenzten Massenvermehrungen dieser Schmetterlingsart in nordsächsischen Kiefernbeständen. Nach einer Fraßperiode im Herbst setzen die überwinterten Raupen den Fraß bereits im zeitigen Frühjahr fort. Bei Nahrungsmangel befressen die Raupen auch die neuen Knospen. Dieses artspezifische Fraßverhalten kann zu

letalen Schäden führen. Aus diesem Grunde mußten besonders gefährdete Bestände mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. In der Tabelle 4.3-1 sind die in den letzten Jahren befallenen und die behandelten Flächen zusammengestellt.

Tab. 4.3-1: Befallsfläche des Kiefernspinners und davon behandelte Fläche

Fläche [ha]	1994	1995	1996
befallen	750	1550	350
davon behandelt	700	1400	62

Die abnehmende Befallsfläche und der zunehmende Einfluß von natürlichen Regulationsmechanismen innerhalb der Schädlingspopulationen (z.B. Auftreten von Parasiten und Krankheiten) deuten darauf hin, daß der Höhepunkt der Massenvermehrung überschritten ist.



Abb. 4.3-6: Einschlag eines Kiefernbestandes infolge Kahlfraß durch Raupen des Kiefernspinners im SäFoA Falkenberg

Schäden an anderen Nadelbaumarten

Wie bereits im Vorjahr verursachte auch 1996 die **Lärchenminiermotte** (*Coleophera 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. Die so geschädigten Bäume „verloren“ dadurch ihre grüne Farbe. Im Laufe der Sommermonate regenerierten die Lärchen diesen Nadelverlust wieder.

4.3.2.2 Schäden an Laubholz

Schäden an Eiche

Auch 1996 prägten fraßbedingte Blattverluste infolge der nun bereits mehrere Jahre anhaltenden Massenvermehrung von **Eichenwickler** (*Tortrix viridana* L.) und **Frostspanner** (*Operophtera* spec.) den Kronenzustand der Eichen. Nach einer Verringerung der Befallsfläche hinsichtlich Umfang und Intensität 1995 nahm diese 1996 wieder zu (siehe Abb. 4.3-7). Mit dem Ziel einer Sicherung der Saatguternte erfolgten in diesem Jahr in ausgewählten Saatgutbeständen auf insgesamt 40 ha Gegenmaßnahmen.

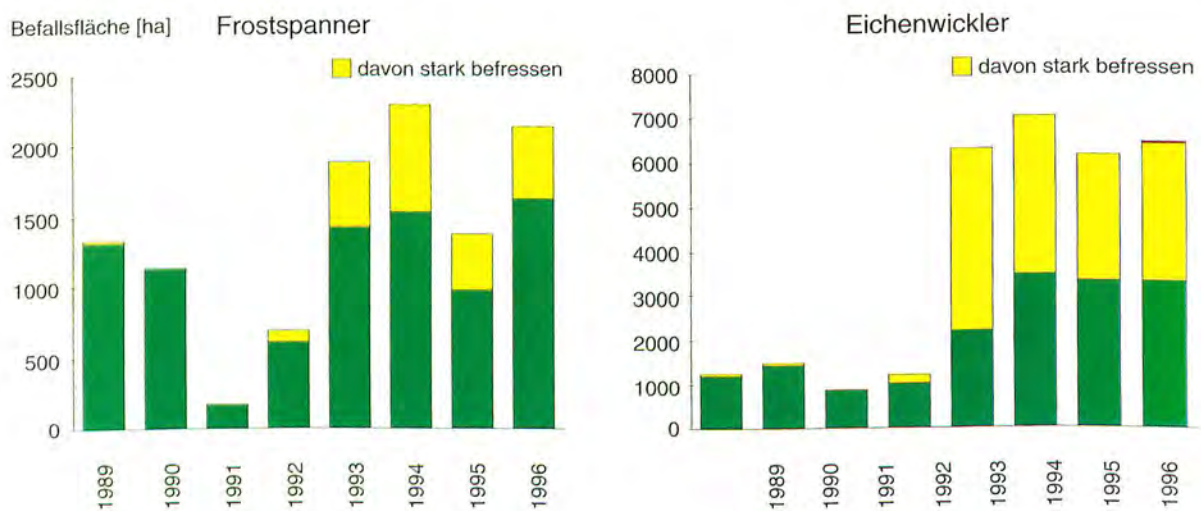


Abb. 4.3-7: Befallsflächen [ha] durch Eichenwickler und Frostspanner

Die fraßbedingten Blattverluste wurden in den meisten der geschädigten Bestände im hohen Maße durch Johannistriebbildung regeneriert. Nach Kahlfraß bildeten die so geschädigten Eichen etwa 70-90 % der ursprünglichen Blattmasse neu. Auch weniger stark befallene Bäume regenerierten ihren Blattverlust nicht vollständig. Da dieser Prozeß eine Mobilisierung von Reservestoffen erfordert, kann mehrmaliger Insektenfraß zu Vitalitätsverlusten führen. Die Abbildung 4.3-8 zeigt für die markierten WSE-Eichen deren durchschnittliche Regeneration der fraßbedingten Blattverluste in den letzten Jahren. Daraus ist keine Abnahme der Fähigkeit zur Johannistriebbildung erkennbar. In diesem Jahr wurde die Regeneration durch das günstige Wasserangebot in der Wachstumsphase gefördert.

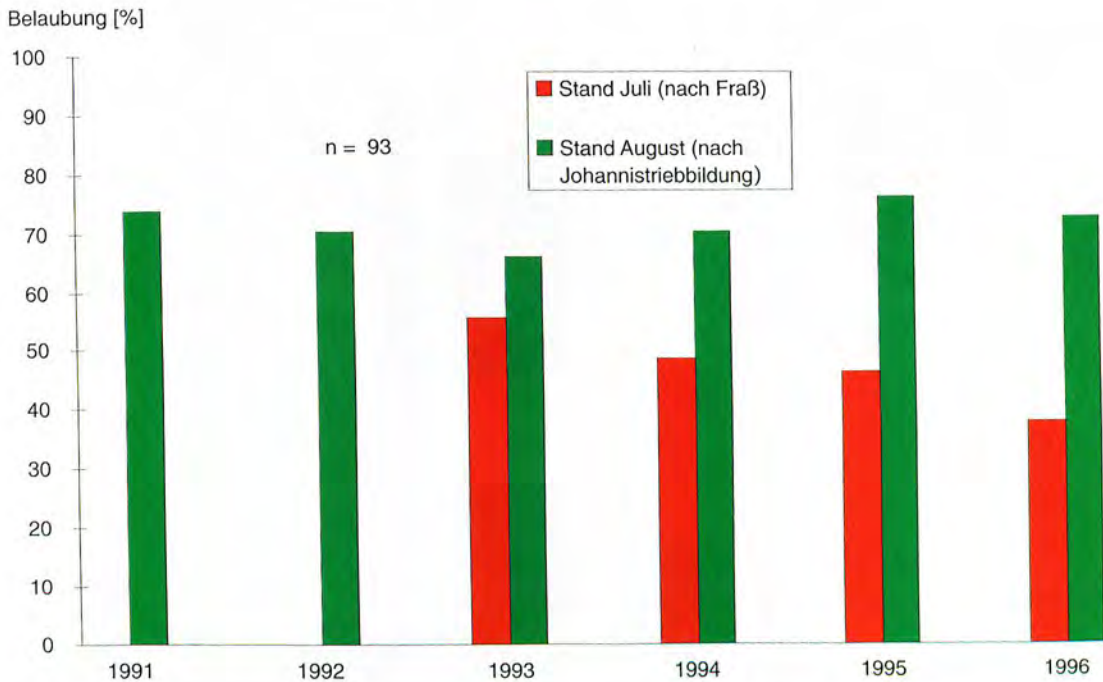


Abb. 4.3-8: Vergleich der durchschnittlichen Belaubung der Eichen an den WSE-Probepunkten im Juni (nach Fraß) und im August (nach Johannistriebbildung) in den letzten Jahren

Einzelne, stark geschädigte Bäume verhalten sich gegenläufig zu diesem allgemeinen Trend. Ihre Vitalität nimmt ab, infolgedessen erhöht sich die Anfälligkeit für einen Befall durch andere Schadfaktoren wie z.B. Prachtkäfer (*Agilus spec.*) und Pilze.

Besonders auffällig war auch in diesem Jahr wieder das Auftreten verschiedener Pilze auf Eichenblättern. Dabei handelte es sich vorwiegend um **Eichenmehltau**.

Die 1996 weiter abnehmende Befallsfläche des **Schwammspinners** (*Lymantria dispar L.*) konzentrierte sich auf Eichenbestände (siehe Abb. 4.3-9).

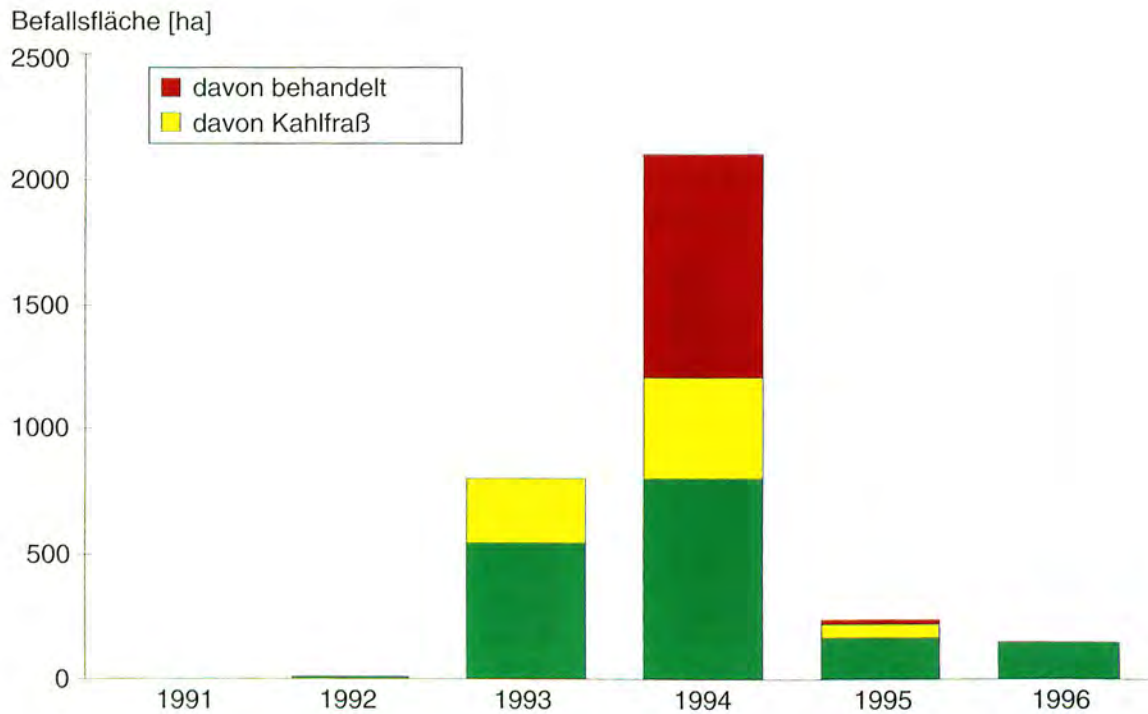


Abb. 4.3-9: Fläche [ha] des Schwammspinner-Befalls seit 1991 (1991 wurde in Waldbeständen kein Fraß registriert)

Wie bereits im Vorjahr traten schadverursachende Populationsdichten nur noch kleinflächig auf. Der 1992 begonnene Zyklus einer Massenvermehrung geht zu Ende.

4.3.3 Waldbrand

Bis Ende August 1996 traten in Sachsen (außer Bundesforsten) 69 Brände mit einer Brandfläche größer als 0,1 ha auf. Die Gesamtfläche dieser Brände betrug 101,3 ha. Drei Brände waren größer als 10 ha (Gesamtfläche 45,0 ha). In den Monaten März-Mai sind Brände allgemein sehr häufig. In diesem Jahr lag der Schwerpunkt im April. Aufgrund der häufigen Niederschläge in den Sommermonaten entstanden in dieser Zeit kaum Brände (siehe Abb. 4.3-10).

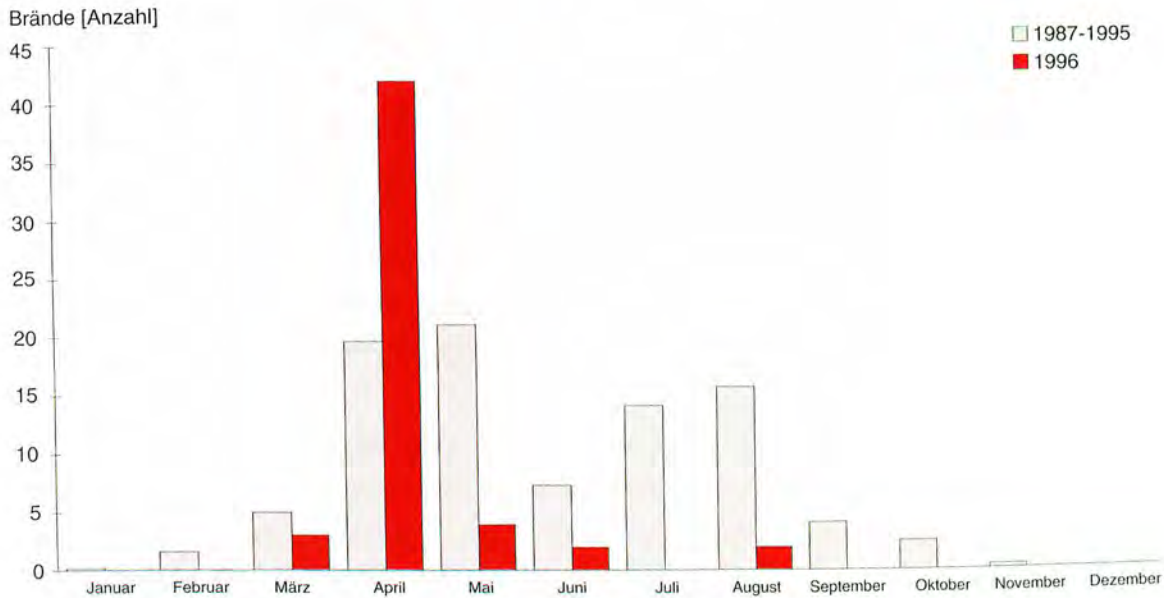


Abb. 4.3-10: Vergleich der Brandhäufigkeiten 1996 (bis August) mit dem Mittelwert der Jahre 1987-1995 für Brände mit einer Fläche > 0,1 ha

Im Vergleichszeitraum des Vorjahres wurden landesweit 26 Waldbrände (größer 0,1 ha) mit einer Gesamtfläche von 47,86 ha registriert. Damit erhöhte sich in diesem Jahr die Brandhäufigkeit und die Brandfläche fast auf das Dreifache.

Die Brandursachen für Brände > 0,01 ha waren 1996 für Sachsen folgende:

- 15 % - vorsätzliche Brandstiftung
- 13 % - allgemeine und natürliche Ursachen
- 50 % - unbekannte Ursachen
- 22 % - Waldbesucher, Kinder, Lagerfeuer

4.3.4 Zusammenfassung

Der Einfluß biotischer und abiotischer Schadfaktoren auf den Waldzustand ist nach Baumarten differenziert zu beurteilen.

In **Fichten**beständen setzte sich der in den Vorjahren begonnene Befallsanstieg durch Borkenkäfer nicht fort. Im Landesmittel stagniert der Befallsholzanfall auf dem erhöhten Vorjahresniveau. Neben den Witterungsbedingungen, die entwicklungshemmend auf die Käferpopulationen wirkten, verhinderten auch die durchgeführten Maßnahmen (schnelle Aufbereitung des Bruchholzes, rechtzeitige Sanierung von Befallsholz u.a.) eine weitere Ausbreitung der Käfer. Rückläufig waren ebenfalls die Schäden durch nadelfressende Insekten.

In den **Kiefern**beständen nahmen sowohl die Schäden durch nadelfressende als auch durch stamm- und rindenbrütende Insekten weiter ab.

Bereits das 4. Jahr in Folge prägen Fraßschäden den Belaubungszustand der **Eichen**. Andere Laubbaumarten weisen keine nennenswerten Schäden auf.

Überdurchschnittlich viele **Waldbrände** im April führten dazu, daß sich Anzahl und Umfang von Waldbränden im Vergleich zum Vorjahr fast verdreifachten.

5 Waldzustandserfassung im Erzgebirge mit Hilfe der Fernerkundung

5.1 Organisation und Zielstellung des Forschungsprojektes

Die Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF, Graupa), die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF, Freising) und die Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung mbH (GAF, München) bearbeiteten von 1993 bis 1996 gemeinsam das Forschungsprojekt „Waldzustandserfassung im Erz- und Fichtelgebirge mit Hilfe der Fernerkundung“.

Im Rahmen von Scannerdatenauswertungen im Fichtelgebirge bzw. grenzüberschreitender Untersuchungen im Erzgebirge kooperierten die Projektpartner mit der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR, Oberpfaffenhofen) bzw. dem Forest Management Institute Brandys n.L. (UHUL, Tschechische Republik).

Das Vorhaben wurde durch die Deutsche Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (DARA, Bonn) sowie das Sächsische Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten bzw. das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert. Die Untersuchungen fanden im sächsischen und tschechischen Erzgebirge sowie im Fichtelgebirge statt, wobei in Abhängigkeit vom Fernerkundungssystem und aus Kostengründen Unterstichproben, sogenannte Testgebiete (Altenberg, Marienberg, Keilberg, Fichtelberg) und Testfenster (30 Stück mit einer Größe von jeweils ca. 260 ha) ausgeschieden wurden. Die Abbildung 5-1 veranschaulicht die Lage der Testgebiete.

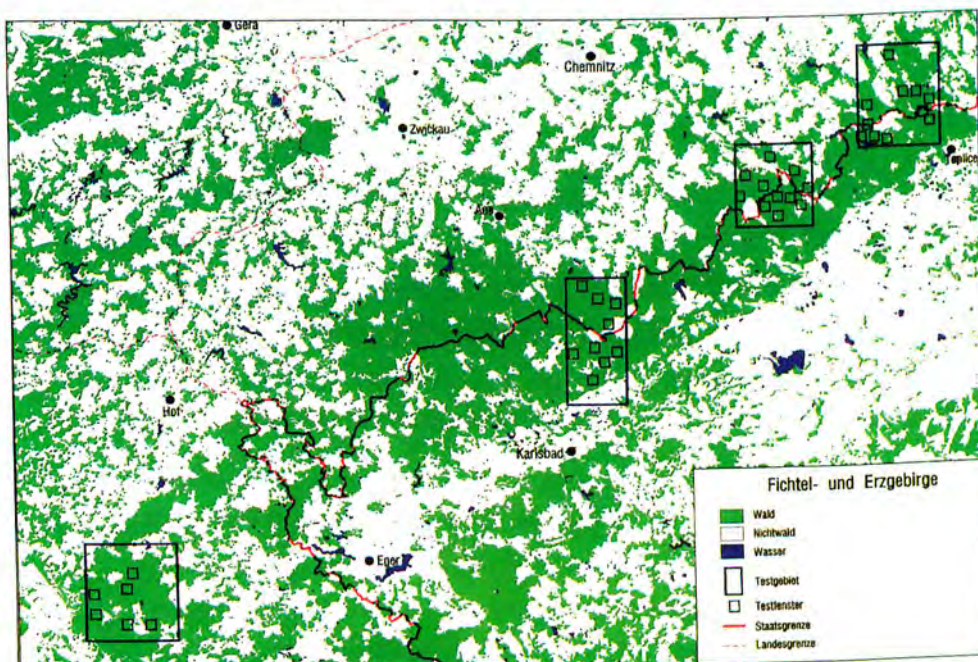


Abb. 5-1: Untersuchungsgebiet Erz- und Fichtelgebirge mit ausgeschiedenen Testgebieten und Testfenstern

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines operationellen Verfahrens der Waldzustandserfassung unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten und unter Nutzung der Vorzüge eines Forstlichen Geographischen Informationssystems (FGIS).

Entsprechend dem derzeitigen Entwicklungsstand der Fernerkundung sowie den natürlichen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet stand die Baumart Fichte im Mittelpunkt. Im folgenden soll auf die Projektergebnisse vorwiegend aus sächsischer Sicht eingegangen werden, obwohl die Untersuchungen gleichermaßen auch in Bayern und der Tschechischen Republik durchgeführt wurden.

5.2 Methodisches Vorgehen und Grundlagenerarbeitung

Die Grundlage der Untersuchungen bildete ein Mehrphasen-Stichproben-Verfahren mit den Ebenen

- terrestrische Referenzdaten,
- Color-Infrarot-Luftbilddaten im Maßstab von 1 : 7 000 und 1 : 34 000 sowie
- Satellitenbilddaten (Landsat-TM/MSS, SPOT).

Die terrestrischen Aufnahmen sowie Interpretationsergebnisse der Luftbilddaten im Maßstab von 1 : 7 000 dienten unter Einbeziehung eines FGIS der Klassifizierung von Satellitendaten. Dem FGIS kamen dabei Funktionen hinsichtlich der digitalen Erfassung, Verwaltung, Analyse sowie Präsentation von Sachdaten (z.B. Walddatenbank der Forsteinrichtung, Fernerkundungsergebnisse) und Geometriedaten (z.B. digitalisierte Forstkarten, Luftbild-Stratengeometrien) zu.

Da sich der Aufbau des FGIS Sachsen an der LAF zu Projektbeginn noch im Anfangsstadium befand, mußten im Rahmen des Vorhabens sowohl konzeptionelle Arbeiten geleistet, als auch Forstgrundkarten 1 : 5 000 für Gebiete der Sächsischen Forstämter Altenberg, Bärenfels, Brand-Erbisdorf (8.900 ha) sowie Neudorf und Olbernhau (3.500 ha) bzw. Forstamtskarten 1 : 25 000 im Bereich der Sächsischen Forstämter Olbernhau, Neudorf und Pöhla (11.200 ha) digital erfaßt werden.

Die Befliegung des Erzgebirges und Fichtelgebirges mit Color-Infrarot (CIR)-Film im Maßstab von 1 : 34 000 wurde im August 1993 durch die DLR Oberpfaffenhofen durchgeführt. In den ausgewählten Testgebieten im Raum Altenberg, Olbernhau, Keilberg und Fichtelgebirge erfolgte zum gleichen Zeitpunkt eine CIR-Befliegung im Maßstab von 1 : 7 000.

Aus Kapazitätsgründen wurden die Luftbilder nicht flächendeckend für das gesamte Befliegungsgebiet interpretiert, sondern nur in den o.g. Testfenstern, die die unterschiedlichen Bestockungs- und Schadverhältnisse im Untersuchungsgebiet repräsentieren. Ein Testfenster entspricht dabei der Fläche eines Luftbildes im Maßstab 1 : 7 000. Die Stratifizierung der Bestände nach Baumartenmischung, Bestandesalter, Beschirmungsgrad und Schadausmaß diente der Schaffung homogener Bezugseinheiten für die Satellitenbildklassifizierung. In diesen Stratifizierungseinheiten erfolgte eine einzelbaumweise Kronenansprache an Fichte nach dem Ansprucheschlüssel Forstlicher Luftbildinterpretieren (AFL) auf Stichprobenbasis (mindestens 40 Fichten pro Stratum). Die Interpretationsergebnisse wurden in eine Datenbank eingegeben und die Geometrien der Straten digitalisiert sowie adressiert. Die Verknüpfung der genannten Sach- und Geometriedaten erfolgte mittels GIS.

Der Klassifizierungsschlüssel zur Berechnung der Flächenschadstufen aus den im Luftbild ermittelten Einzelbaumschadstufen wurde innerhalb der UNEP-Grid-Arbeitsgruppe „Large Area Operational Experiment in Europe Using Satellite Data“ mit anderen Projekten entwickelt und abgestimmt.

Mit Hilfe von Bildverarbeitungsverfahren und unter Verwendung der in den CIR-Luftbildern 1 : 7 000 ausgeschiedenen Flächenschadstufen wurden im Satellitenbild (Landsat-TM) die Signaturen der gewünschten Klassen in den Testfenstern analysiert und darauf aufbauend das gesamte Untersuchungsgebiet klassifiziert.

Die Ergebnisse der Fernerkundungsdatenauswertungen flossen in das Forstliche Geoinformationssystem ein und stehen damit für weitere Analysen, Ausgabe von Flächenstatistiken und Karten zur Verfügung.

5.3 Ergebnisse

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes stellt die auf den Landsat-TM-Klassifizierungsergebnissen beruhende Karte „Waldzustandserfassung im Erz- und Fichtelgebirge 1992/1993“ im Maßstab 1 : 200 000 dar. Die Überprüfung der Klassifizierungsergebnisse nach der Trennbarkeit der Nadelverlustklassen mit Luftbildinterpretationen im Maßstab 1 : 7 000 ergab eine mittlere Genauigkeit von 75 %.

Regionalisierung der Klassifizierungsergebnisse

Das Ergebnis der Satellitenklassifizierung ist ein Mosaik von Schadstufen. Soweit administrative oder forstorganisatorische Grenzen digital verfügbar sind, können die Auswertungsergebnisse nach diesen Einheiten regionalisiert werden.

Die Abbildung 5-2 zeigt ein Beispiel für die Regionalisierung der Flächenschadstufen nach Nadelverlusten an Fichte für Teile des Wuchsgebietes Erzgebirge auf Revierebene (Forstorganisationsstruktur Sachsen, 31.12. 95) im Maßstab 1 : 700 000. Die Flächenschadstufen wurden nach dem Anteil von Fichten mit einem Nadelverlust $> 25 \%$ ermittelt. Die in der Abbildung 5-2 dargestellten Schraffuren verdeutlichen den Anteil der Blößen, Kulturen und Dickungen an der Gesamt-Nadelwaldfläche. Auffallend ist der hohe Anteil der Blößen, Kulturen und Dickungen z.B. im Forstamt Altenberg, der auf den in den letzten Jahren infolge von Immissionsschädigung notwendigen großflächigen Abtrieb von Beständen und die darauf folgenden Aufforstungen hinweist.

Mittels rechnergestütztem Filterverfahren kann das Schadstufen-Mosaik zu Schadgebieten generalisiert werden. Im Rahmen des Projektes wurde ein Vorschlag für eine mögliche Schadzonierung von Sachsen unterbreitet, der noch weiterer Diskussion bedarf. Insgesamt wurden 5 Schadgebiete ausgewiesen, die nach dem prozentualen Anteil von Nadelverlusten über 25% (Flächenschadstufen) und dem Vorhandensein von Beständen mit Beschirmungsgrad kleiner 60% berechnet wurden (siehe Abbildung 5-3). Bei großflächigem Auftreten der ausgeschiedenen Klasse „Blöße, Kulturen, Dickungen“ (> 20 ha) ging diese zusätzlich als Schadkriterium in die Klassifizierung ein. Grund dafür ist, daß davon ausgegangen wird, daß dieses gehäufte Auftreten auf schadensbedingten Abtrieb von stark geschädigten Beständen zurückzuführen ist.

Vergleich des Klassifizierungsergebnisses mit der Waldschadenserhebung (WSE) 1992

Ein Vergleich des Klassifizierungsergebnisses mit der WSE-Auswertung 1992 ergab eine fast vollständige Übereinstimmung. Die WSE ermittelte 1992 im Rahmen einer Vollerhebung (195 Stichprobenpunkte) im Wuchsgebiet Erzgebirge für Fichten älter 60 Jahre einen Anteil deutlicher Schäden (Nadelverlust größer 25%) von 51% . Da bei der Satellitenbildklassifizierung die Klasse „Blößen, Kulturen und Dickungen“ gesondert ausgewiesen wurde, ist u.E. der Vergleich mit der WSE-Auswertung von Beständen älter 60 Jahre legitim. Damit stimmen die Ergebnisse beider Verfahren mit 50% Satellit und 51% WSE als Wuchsgebietsaussage nahezu überein. Der Einsatz beider Monitoringverfahren ist für die Auswertung kleinerer Flächeneinheiten nicht geeignet.

Waldveränderungskartierung 1972 - 1984 - 1992/93

Mit Hilfe von Landsat-MSS-Daten aus dem Jahre 1972 und Landsat-TM-Daten aus den Jahren 1984 sowie 1992/93 wurden die Waldflächenveränderungen im Erz- und Fichtelgebirge im Zeitraum von 1972 bis 1984 sowie von 1984 bis 1992 im Maßstab 1 : 200 000 kartiert. Danach traten mit ca. 305 km^2 (von ca. 2300 km^2 Erzgebirge) die größten Bestockungsverluste im Zeitraum von 1972 bis 1984 auf. Im Zeitraum von 1984 bis 1992/93 waren es ca. 75 km^2 .

Analysen unter Nutzung der Funktionalitäten eines Geoinformationssystems

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde u.a. ein umfangreicher digitaler Datenbestand aufgebaut, der mit Hilfe des Forstlichen Geoinformationssystems Sachsens weitergehende Analysen gestattet. Die räumliche Darstellung der Daten erlaubt die bessere Erkennung von Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Parametern (z.B. Baumart und Standort) sowie das Darstellen synoptischer Zusammenhänge und Ableiten von Prognosen. Beispielhaft für die im Projekt durchgeführten Analysen soll hier die Ableitung und Darstellung von Immissionsgefährdungsklassen von Fichte in Abhängigkeit vom Standort (Höhenlage, Nährkraft- und Feuchtstufe) genannt werden.

Weitere Anwendungsgebiete des FGIS unter Einbeziehung der Fernerkundungsdaten sowie eines Digitalen Höhenmodells gibt es z.B. bei der Erarbeitung von Zonierungskonzepten für Waldumbaumaßnahmen oder Bewirtschaftungskonzepten zur Sicherung von Holzerzeugung, Schutz- und Erholungsfunktionen.

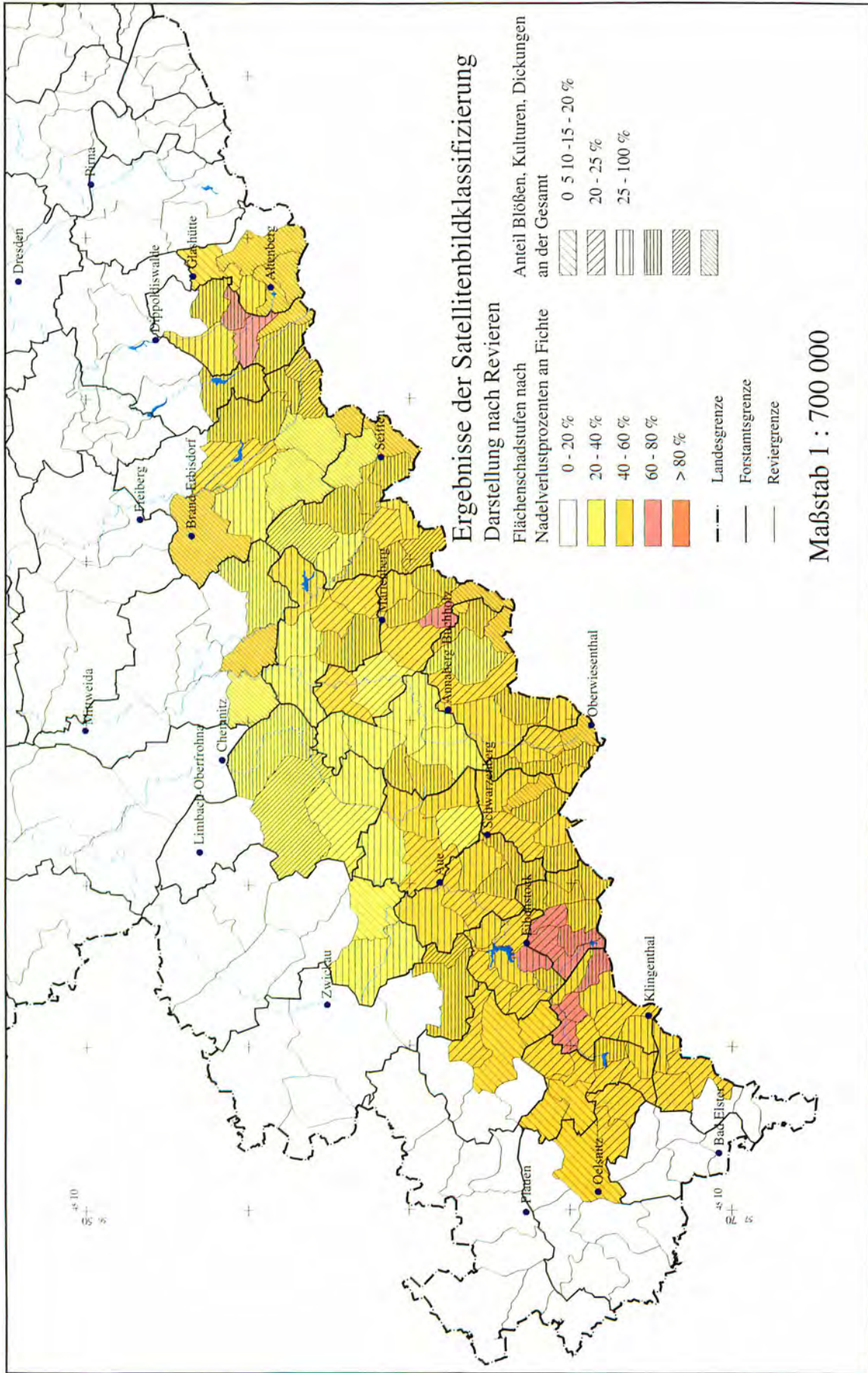
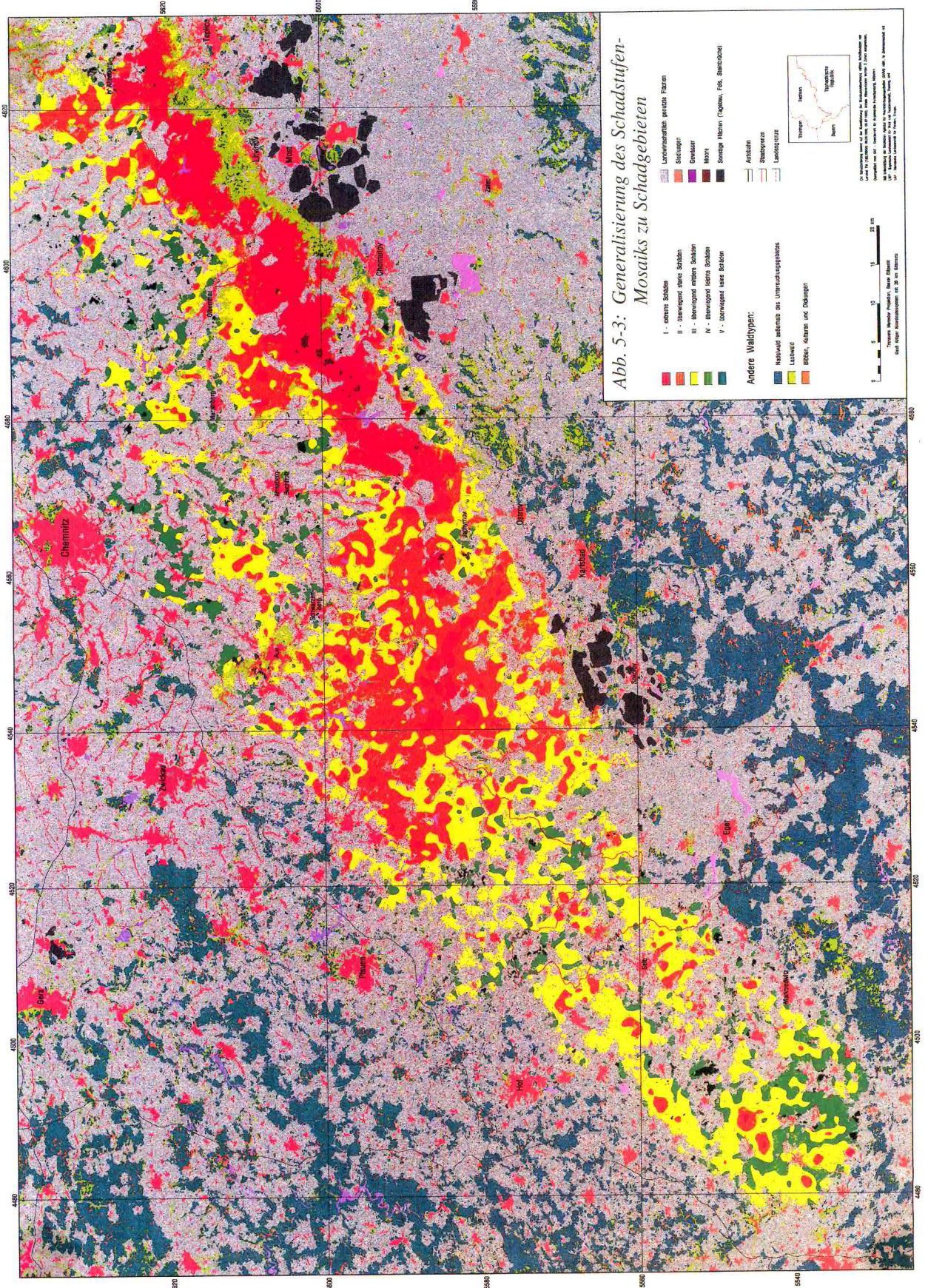


Abb. 5-2: Regionalisierung der Ergebnisse der Satellitenbildklassifizierung nach Revieren (Forstorganisation Stand 31.12.1995)



5.4 Vergleich der unterschiedlichen Fernerkundungsverfahren

Im Ergebnis des Projektes wurden Konzepte für den Einsatz von Fernerkundungsdaten für Waldschadensmonitoring entwickelt und vergleichend gegenübergestellt (siehe Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Einsatzgebiete und Kostenschätzung verschiedener Verfahren für Waldschadensmonitoring

Kriterium	großmaßstäbige Luftbilder	kleinmaßstäbige Luftbilder	Satellitendaten
Nutzergruppe	Forstrevier, Forstamt	Forstrevier, Forstamt, Forstdirektion, ...	Forstamt, -direktion, Landesforstverwaltung, Politiker, ...
Fragestellung	Kartierung von Waldschäden zur Einleitung von waldbaulichen Sanierungsmaßnahmen		Stratifizierung für Übersichtszwecke
Informations- bedarf	Lage, Verteilung und Flächenausdehnung von geschädigten Beständen		Waldflächen
Aussageeinheit	Bestand (einzelbaumweise)	Bestand (flächenweise)	Wuchsgebiet, Bundesland,...
Datenauflösung	cm-Bereich	dm-Bereich	30 x 30 m (Landsat)
Kartenmaßstab	1 : 5 000 ...	1 : 10 000 ...	< 1 : 50 000
Kosten	700 - 1.000 DM / km ²	ca. 400 DM / km ²	ca. 10 DM / km ²

Der Einsatz der operationellen Auswerteverfahren großmaßstäbiger Luftbilder (1 : 5 000 bis 1 : 10 000) sollte immer dann erfolgen, wenn detaillierte bestandesweise Informationen territorial abgegrenzter Gebiete benötigt werden. Die Flächenschadstufen von Beständen oder extra definierten Stratifizierungseinheiten werden über stichprobenweise Einzelbaumannsprachen ermittelt. Bei der Auswertung kleinmaßstäbiger Luftbilder (< 1 : 20 000) wird der Waldzustand von Beständen nicht einzelbaumweise sondern flächenweise geschätzt.

Die derzeit verfügbaren Satellitendaten ließen bislang keine Bestandesaussagen zu. Aufgrund der relativ geringen Auflösung des Landsat-TM (30 x 30 m) und damit nicht möglichen bestandesweisen Abgrenzung von Schadstufen, kommt den Klassifizierungsergebnissen vor allem forstpolitische Bedeutung zu. So können Satellitendaten zur globalen Abgrenzung von Waldschäden für Übersichtszwecke oder zur Erkennung von Extremschadgebieten dienen. Die Kosten des Verfahrens der Satellitenklassifizierung nach vorgestellter Methodik für die Baumart Fichte belaufen sich auf ca. 10 DM/km². Im Vergleich zu den anderen Monitoringmethoden sind sie die preisgünstigsten. Allerdings muß man die genannten Genauigkeiten akzeptieren und sich auf großräumige Aussagen beschränken. Die ab 1996/97 verfügbaren Satellitendaten mit höher auflösenden Sensoren wie MOMS (4,5 x 4,5 m bzw. 14 x 14 m), Orbimage „ORBVIEW“

(4 x 4 m) oder Earth Watch „QUICK BIRD“ (4 x 4 m) werden der Satellitentechnik sicherlich neue Einsatzgebiete erschließen und - perspektivisch gesehen - detailliertere Aussagen zum Waldzustand gestatten.

Zur Deckung des seitens der Sächsischen Landesforstverwaltung und der Forstpraktiker bestehenden Informationsbedarfes hinsichtlich der

- periodischen Erfassung des Schadfort- bzw. -rückganges für den Gesamtwald,
- Klassifizierung des Waldzustandes für alle Baumarten (nicht nur Fichte),
- Schadzonierung des Waldzustandes, d.h. regionale Abgrenzung von Gebieten unterschiedlicher Schädigung, mit rationellen Verfahren zur Unterstützung von Sanierungs- und Förderkonzepten

konnten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erste Ergebnisse erreicht werden, die noch weiterführender Untersuchungen bedürfen.

5.5 Zusammenfassung

Die Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF, Graupa), die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF, Freising) und die Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung mbH (GAF, München) bearbeiteten von 1993 bis 1996 gemeinsam das Forschungsprojekt „Waldzustandserfassung im Erz- und Fichtelgebirge mit Hilfe der Fernerkundung“.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnten u.a. folgende Ergebnisse erzielt werden:

- die auf Landsat-TM-Klassifizierungsergebnissen beruhende Karte „Waldzustandserfassung im Erz- und Fichtelgebirge 1992/1993“ im Maßstab 1 : 200 000 (Nadelverlust- und Beschirmungsgradklassen für die Baumart Fichte),
- Waldveränderungskartierung 1972 bis 1984, 1984 bis 1992/93 dargestellt im Maßstab 1 : 200 000,
- Vorschlag für eine Schadzonierung des Erzgebirges basierend auf Satellitenbildklassifizierungsergebnissen der Baumart Fichte,
- konzeptionelle Entwicklungsarbeit beim Aufbau des Forstlichen GeoInformationssystems Sachsens (FGIS Sachsen) sowie digitale Geometriedatenerfassung (Digitalisierung von Forstkarten),
- Durchführung von Analysen mittels FGIS Sachsen wie z.B. die Ableitung und Darstellung von Immissionsgefährdungsklassen von Fichte in Abhängigkeit vom Standort (Höhenlage, Nährkraft- und Feuchtestufe),
- Entwicklung von Konzepten für den Einsatz von Fernerkundungsdaten für Waldschadensmonitoring und Vergleich der unterschiedlichen Fernerkundungsverfahren.

6 Maßnahmen gegen Waldschäden

Das Sächsische Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten hat zur Sanierung der Waldschäden bereits 1994 ein Sonderprogramm aufgelegt, das im Landesentwicklungsplan verankert ist. Es umfaßt in den Gebieten der Immissionsschadzonen 1 bis 3 folgende Maßnahmen:

- Bodenschutzkalkung
- Voranbau in verlichteten jungen und mittelalten Beständen
- Unterbau in Kiefernbeständen zur Verbesserung der Humussituation und der forstsanitären Verhältnisse
- Umbau von Übergangsbestockungen in den oberen Gebirgslagen

Zur Kompensation der Säureeinträge und Stabilisierung der Nährstoffversorgung im Boden wurden in Sachsen im Zeitraum ab 1991 folgende Bodenschutzkalkungen durchgeführt:

Tab 6-1: Durchgeführte Bodenschutzkalkungen in Sachsen von 1991 bis 1996:

Jahr	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Fläche ha	14.200	5.134	3.682	9.946	14.199	19.200*

* Stand Ende Oktober 1996

Die nachhaltig notwendige Kalkungsfläche beträgt in allen Waldeigentumsarten 22.000 ha pro Jahr.

Aufgrund der im Winterhalbjahr 1995 / 96 im mittleren und östlichen Erzgebirge eingetretenen Waldschäden war es erforderlich, zur Eingrenzung und Beseitigung dieser Schäden zusätzliche Maßnahmen in den betroffenen Forstämtern einzuleiten.

Wie bereits im Kapitel 4.2 des vorliegenden Berichtes dargestellt wurde, beläuft sich die von den Immissions- und Winterschäden betroffene Waldfläche auf 50 000 ha, wobei auf den Landeswald $\frac{2}{3}$ sowie auf den Treuhand-, Privat- und Körperschaftswald $\frac{1}{3}$ der Gesamtfläche entfallen. Insgesamt mußten auf einer Fläche von 18 000 ha Sofortmaßnahmen eingeleitet werden. Obwohl sich der Witterungsverlauf im Sommer dieses Jahres auf das Waldwachstum günstig und auf die Entwicklung von Schadinsekten hemmend auswirkte, ist es erforderlich,

400 000 m³ abgestorbene oder stark geschädigte Bäume einzuschlagen. Bis Ende Oktober 1996 sind davon 254.000 m³ Schadholz aufbereitet worden (63 % der voraussichtlichen Menge). Der Einsatz von Unternehmern bei den Holzeinschlagsarbeiten (vollmechanisierte Aufbereitung des Holzes mit Harvestern) und der Rückung des Holzes war eine unverzichtbare Hilfe.

Auf einer Fläche in der Größenordnung von 32 000 ha sind nach der Bewältigung der Sofortmaßnahmen vorgegreifende Waldpflege- und Verjüngungsmaßnahmen erforderlich.

Trotz der eingeleiteten Sanierungsmaßnahmen ist davon auszugehen, daß in den kommenden Jahren Folgeschäden auftreten (siehe Kapitel 4.2.3). Die Destabilisierung der Waldbestände aufgrund von Auflichtungen bringt eine erhöhte Gefährdung gegenüber Bruch- und Sturmschäden mit sich. Desweiteren ist zu erwarten, daß durch den Vitalitätsverlust der Bäume deren Anfälligkeit gegen Forstschädlinge steigt und mit Massenvermehrungen von Borkenkäfern gerechnet werden muß.

Die Sanierung der Waldbestände wird fortgesetzt mit folgenden Schwerpunkten:

- Aufbereitung der in diesem Jahr abgestorbenen und stark geschädigten Bäume bis zum Frühjahr 1997,
- ständige Überwachung des Schadgebietes im Hinblick auf eine mögliche Massenvermehrung von Borkenkäfern in den kommenden Jahren,
- Bodenschutzkalkung (sog. Kompensationskalkung) in geschädigten Waldbeständen (1996 auf einer zusätzlichen Waldfläche von ca. 15 000 ha),
- Bodenbearbeitung mit Einmischung von Kalk (sog. Meliorationskalkung) auf der zusätzlichen Aufforstungsfläche von 1200 ha vor Beginn der Pflanzung und
- Waldumbau durch Wiedereinbringung der Buche als Hauptbaumart der natürlichen Waldgesellschaft im Schadgebiet.

Diese Maßnahmen dulden aus Gründen der Sicherung des Naturhaushaltes und der Landschaftspflege keinen Aufschub. Darüberhinaus wird derzeit geprüft, ob eine Ergänzung des sächsischen Luftmeßnetzes um 4 Meßstationen in repräsentativen Waldgebieten zur Überwachung der Luftbelastung möglich ist.

Der zusätzliche Mittelbedarf zur Sanierung der Schäden im Erzgebirge beläuft sich für den Zeitraum von 1996 bis 1998 auf 51 Mio. DM im Staats- sowie 9 Mio. DM im Privat- und Körperschaftswald. Die Finanzierung der Sanierungsmaßnahmen im Privat- und Körperschaftswald erfolgt im Rahmen bestehender Richtlinien aus gemeinschaftlich finanzierten EU/Landesprogrammen (INTERREG II).

Allein 1996 werden voraussichtlich 19,5 Mio. DM für Sanierungsmaßnahmen benötigt. Eine Sanierung der Waldschäden ist auf Dauer jedoch nur erfolgreich, wenn die Emissionen insbesondere auch im nordböhmischen Industriegebiet in Zukunft deutlich reduziert werden.

Impressum

Herausgeber

Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (SML)
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Albertstraße 10, 01097 Dresden
Telefon (0351) 564-6818, Telefax (0351) 564-6940

Redaktion

Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF)
Bonnewitzer Straße 34, 01827 Graupa
Telefon (03501) 542-0, Telefax (03501) 542-213

Gestaltung

Landesanstalt für Forsten Graupa

Repro/Druck

Druckerei Vettters GmbH Radeburg

Fotos

Archiv der Landesanstalt

Redaktionsschluß

12/96

Auflage

3000 Stück

Bezug

über SML und LAF

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 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 Parteinahme der Herausgeber 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.