

BUWAL/Eidgenössische Forstdirektion, Bern
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
WSL, Birmensdorf

Sanasilva- Waldschadenbericht 1991

Bern und Birmensdorf, November 1991

Bezugsquelle:

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bibliothek
8903 Birmensdorf

Fachliche Verantwortung

Zusammenfassung und Kommentar

Prof. Rodolphe Schlaepfer, Direktor

Frank Haemmerli, wissenschaftlicher Mitarbeiter

WSL, Birmensdorf

1 Ergebnisse der Waldschadeninventur 1991

Peter Brassel, Sektion Schweiz. Landesforstinventar

WSL, Birmensdorf

2 Die lokale Entwicklung der Waldschäden in den Test- gebieten Altdorf, Flims und Zofingen

Daniel Lüscher, Sektion Fernerkundung

WSL, Birmensdorf

3 Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm „Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz“

Martin Stark, Programmleitung NFP 14

4 Waldschäden 1990 in Europa

Pierre Mühlemann

BUWAL, Eidg. Forstdirektion, Bern

Konzept

Programmkoordination Sanasilva

Redaktion

Charles von Büren, Presse und Information

WSL, Birmensdorf

Gestaltung

Bruno Crivelli, Publikationen, WSL, Birmensdorf

Graphiken und Umschlag

Doris Pichler, Publikationen, WSL, Birmensdorf

Umschlag:

Die beiden Blattverlustklassen 5 Prozent und 45 Prozent der
Buche (*Fagus silvatica* L.)

Inhalt

	Zusammenfassung und Kommentar	5
1	Ergebnisse der Waldschadeninventur 1991	6
	Schadensituation und Schadenentwicklung für Bäume von mehr als 12 cm Durchmesser	6
	Die einzelnen Baumarten	8
	Die Entwicklung der Schäden gesamtschweizerisch und regional	10
	Nadel-/Blattverluste mit bekannten Ursachen	13
	Sturmschäden und Stammfäule	13
	Zusammenhang von Sturmschäden und Nadel-/Blattverlust	14
	Einfluss der Nutzung auf das Inventurresultat	14
	Ziele der Waldschadeninventur	14
	Zukunft der Waldschadeninventur	15
	Methoden: Stichprobenerhebung	15
	Datenumfang	15
	Gewichtung der Einzelbaumdaten	16
	Die Feldaufnahmen	16
	Schätzung des Nadel-/Blattverlustes	16
	Definition der Schadstufen	16
	Problematik der Schadgrenze	16
	Zuverlässigkeit der Resultate	17
2	Die lokale Entwicklung der Waldschäden in den Testgebieten Altdorf, Flims und Zofingen	18
3	Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz»	22
4	Waldschäden 1990 in Europa	27

Zweck des Berichtes

Der vorliegende Bericht hat den Zweck, über den Gesundheitszustand des Schweizer Waldes und dessen Entwicklung zu informieren. Er soll den verantwortlichen politischen Behörden Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung stellen, damit diese rechtzeitig geeignete Massnahmen gegen die Waldschäden in die Wege leiten können. Über die Presse soll aber auch eine breite Öffentlichkeit Kenntnisse über den Zustand unserer Wälder erhalten.

Zusammenfassung und Kommentar

Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes hat sich 1991 gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Der Anteil der Bäume mit mehr als 25 Prozent Nadel-/Blattverlust (Stufen 2 bis 4) hat sich von 17 auf 19 Prozent erhöht. Für den gesamten Beobachtungszeitraum 1985 bis 1991 besteht ein zunehmender Trend der Kronenverlichtung im Schweizer Wald.

Die häufigsten Baumarten im Schweizer Wald, die Fichte und die Buche, haben sich zwischen 1990 und 1991 in den Stufen 2 bis 4 kaum verändert. Die gesamt-haftte Zunahme der Kronenverlichtung lässt sich vor allem auf die Baumarten Tanne, Föhre und Eiche zurückführen.

Im Berggebiet hat sich der Prozentsatz verlichteter Bäume zwischen 1990 und 1991 nur geringfügig erhöht. Im flacheren und tiefer gelegenen Nichtberggebiet hingegen ist eine deutliche Zunahme der Kronenverlichtung zu verzeichnen. In der Region Mittelland hat sich der Anteil der Bäume in den Stufen 2 bis 4 mehr als verdoppelt (von 6 auf 14 Prozent).

Die Veränderungen von Jahr zu Jahr und im Nadel-/Blattverlustbereich von 15 bis 25 Prozent (Stufe 1) dürfen bei der Interpretation der Inventurergebnisse nicht überbewertet werden. Aufmerksam zu verfolgen ist jedoch die mittelfristige Entwicklung der Bäume mit mehr als 25 Prozent Kronenverlichtung (Stufen 2 bis 4). Hier besteht während der vergangenen sechs Jahre eine zunehmende Tendenz der Kronenverlichtung, sowohl im Berggebiet und im Nichtberggebiet wie auch für die Nadelbäume und Laubbäume. Dieser Befund ist beunruhigend, weil wir die Gründe dieser Entwicklung nicht kennen.

Die internationale Waldschadenforschung zeigt, dass es in Europa und Nordamerika verschiedene Fälle von komplexen Walderkrankungen gibt. Für den Schweizer Wald ist der Typ «Kronenverlichtung» massgebend. Plausible Hypothesen über die Ursachen-Wirkungsbeziehungen bestehen nur für wenige Typen, wie zum Beispiel für die auf einem Magnesiummangel beruhende Nadelvergilbung der Fichte im Fichtelgebirge (Deutschland) oder für die Erkrankung von Tanne und Fichte in den Vogesen (Frankreich). Die Entstehung und der Verlauf derartiger Komplexkrankheiten beruhen auf einer kombinierten Wirkung von verschiedenen Einflussfaktoren.

Die Ergebnisse des Nationalen Forschungsprogrammes 14+ lassen für die drei untersuchten Waldstandorte Lägeren, Alptal und Davos weder eine

zeitliche noch eine räumliche Abhängigkeit der Kronenverlichtung von der Luftverschmutzung erkennen. Auf der Gebirgsfläche Davos ist die Immissionsbelastung im allgemeinen gering, das Nadelverlustniveau aber hoch. Umgekehrt ist die Immissionsbelastung an der Lägeren im dicht besiedelten Mittelland vergleichsweise hoch, das Ausmass der Kronenverlichtung aber klein. Auf keiner der untersuchten Flächen gibt es momentan Anzeichen für eine Überdüngung der Fichten durch atmosphärischen Stickstoff. Eine Beeinträchtigung der Nährstoffversorgung der Fichten durch Säureeinträge scheint an keinem der drei Standorte gegeben zu sein. Diese Feststellungen dürfen aber nicht für den gesamten Schweizer Wald verallgemeinert werden.

Aufgrund vorliegender Resultate aus Experimenten mit Jungpflanzen und aus Bodenuntersuchungen müssen wir aber annehmen, dass die Luftverschmutzung für den Schweizer Wald ein Risikofaktor ist. Die heutige Ozonbelastung ist für mehrere Waldbaumarten nicht unbedenklich. Nach Massstäben der Toxikologie gemessen ist der Spielraum zwischen den heute in der Umwelt auftretenden Ozonkonzentrationen und solchen, die im Experiment nachweislich Schädigungen an Waldföhren und Birken erzeugen, klein. Mit den gegenwärtigen Kenntnissen lässt sich noch schwierig abschätzen, welches langfristige, anthropogen bedingte Risiko für den Wald durch den aktuellen Stickstoff- und Säureeintrag oder durch den Ausstoss von Treibhausgasen besteht.

Aufgrund der vorhandenen Risiken ist jede Massnahme zu unterstützen, welche zu einer Verminderung der Schadstoffbelastung in Luft, Boden und Wasser führt. Um aus der Sicht der Forschung Empfehlungen für die Prioritäten der Umweltpolitik abzugeben, sind die Kenntnisse über die Ursachen-Wirkungsbeziehungen im Wald noch zu gering.

1 Ergebnisse der Waldschadeninventur 1991

Der Zustand der Baumkronen im Schweizer Wald hat sich seit 1990 insgesamt weiter verschlechtert. Der Anteil der Bäume mit mehr als 25 Prozent Nadel-/Blattverlust (Schadstufen 2 bis 4) ist von siebzehn auf neunzehn Prozent gestiegen und erreicht damit den höchsten Stand seit Beginn der Waldschadeninventuren im Jahre 1985. Der Kronenzustand entwickelte sich regional unterschiedlich. Die stärksten Verlichtungen zeigen sich auf der Alpensüdseite mit 26 Prozent in den Schadstufen 2 bis 4. Im Mittelland ist eine Zunahme in den Schadstufen 2 bis 4 um acht auf 14 Prozent zu verzeichnen. Im Jura wurde in den Schadstufen 2 bis 4 eine Zunahme um drei auf 21 Prozent, auf der Alpensüdseite um zwei auf 26 Prozent beobachtet. Leichte Verbesserungen sind im Voralpen- und Alpenraum festzustellen. Der Anteil der Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von mehr als 10 Prozent (Schadstufen 1 bis 4, inklusive Warnstufe) stieg landesweit von 61 auf 68 Prozent. Eine Erklärung der Ursachen der beobachteten Phänomene ist, den Zielsetzungen der Waldschadeninventur entsprechend, mit den derzeitigen Erhebungsmethoden nicht möglich.

Ergebnisse

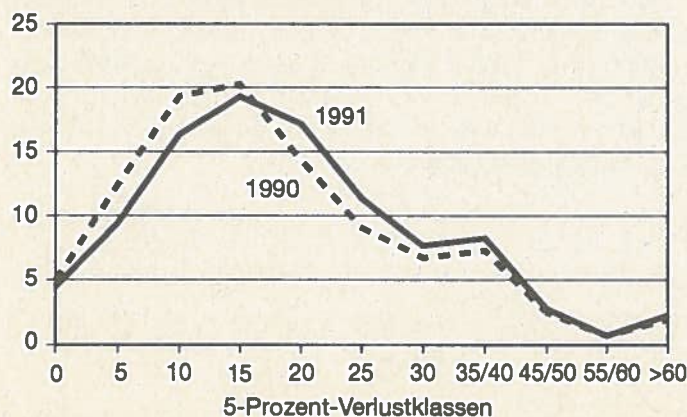
Schadenssituation und Schadenentwicklung für Bäume von mehr als 12 cm Durchmesser

Die Häufigkeitsverteilungen der Bäume in den 5%-Klassen zeigen die Ergebnisse der Aufnahmen der Waldschäden in detaillierter Form. Diese Werte bilden die Basis für die Darstellung in Schadstufen. Nadelbäume

mit Verlusten zwischen 20 und 40 Prozent sind 1991 häufiger als im Vorjahr beobachtet worden, die Verluste zwischen 0 und 15 Prozent entsprechend seltener. Bei den Laubbäumen betrifft diese Zunahme die Klassen zwischen 15–30 Prozent.

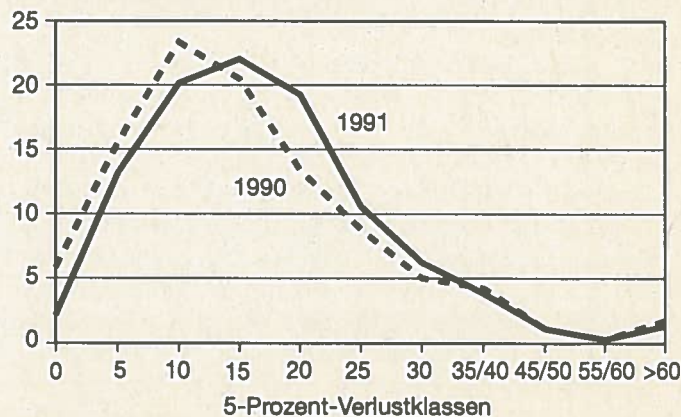
Der Anteil stark verlichteter Bäume und Dürrständer (>60%) bleibt unverändert.

Gewichtete Anteile in Prozenten



Nadelbäume: Nadelverlust nach 5-Prozentklassen.
Gewichtete Anteile der Nadelbäume der Waldschadeninventuren 1990 und 1991.

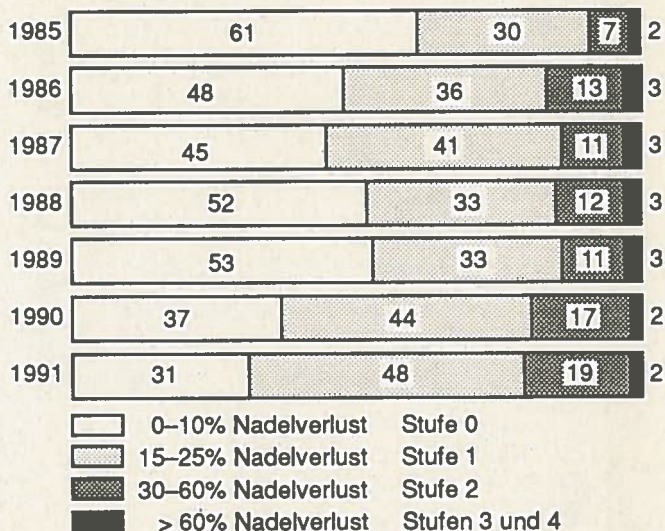
Gewichtete Anteile in Prozenten



Laubbäume: Blattverlust nach 5-Prozentklassen.
Gewichtete Anteile der Laubbäume der Waldschadeninventuren 1990 und 1991.

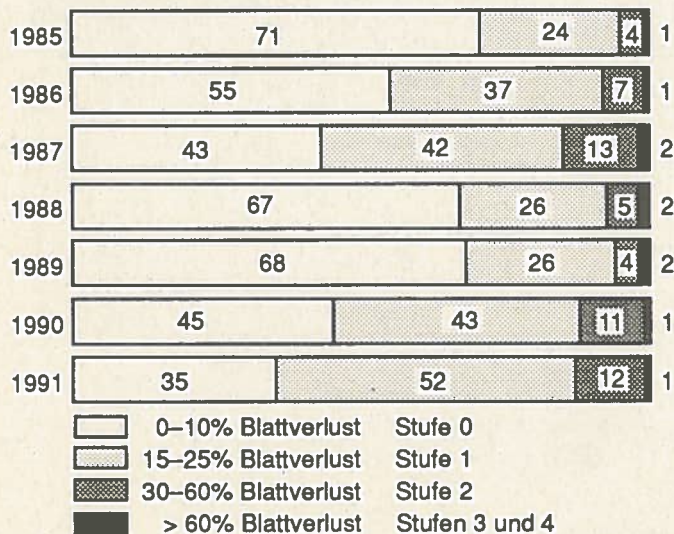
Nach der bereits deutlichen Verschlechterung des Kronenzustandes im Jahre 1990 zeigen die Nadel- wie die Laubbäume auch dieses Jahr eine weitere, wenn auch schwächere Zunahme der Kronenverlichtungen. Die Entwicklung der Schadstufenanteile weist darauf hin, dass nach einer Verbesserung in den Jahren 1988 und 1989 der Trend zur Verschlechterung des Kronenzustandes anhält. Bei den Nadelbäumen ist diese Entwicklung offensichtlicher, bei den Laubbäumen ist die jährliche Variation grösser, da sie jedes Jahr ihr Blattwerk neu bilden.

Nadelbäume



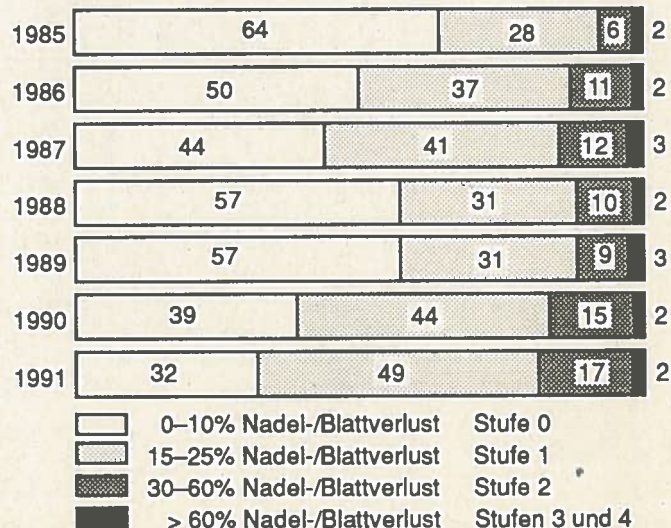
Vergleich der gewichteten Verlustprozentanteile 1985-1991 für die Nadelbäume.

Laubbäume



Vergleich der gewichteten Verlustprozentanteile 1985-1991 für die Laubbäume.

alle Baumarten



Vergleich der gewichteten Verlustprozentanteile 1985-1991 für alle Bäume.

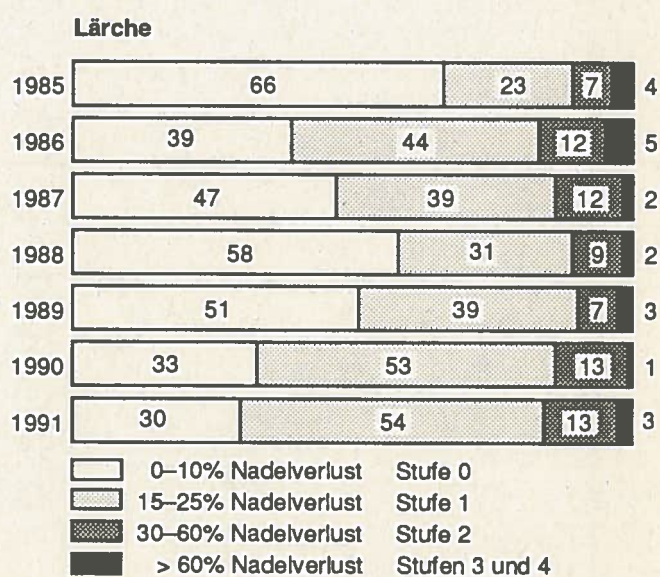
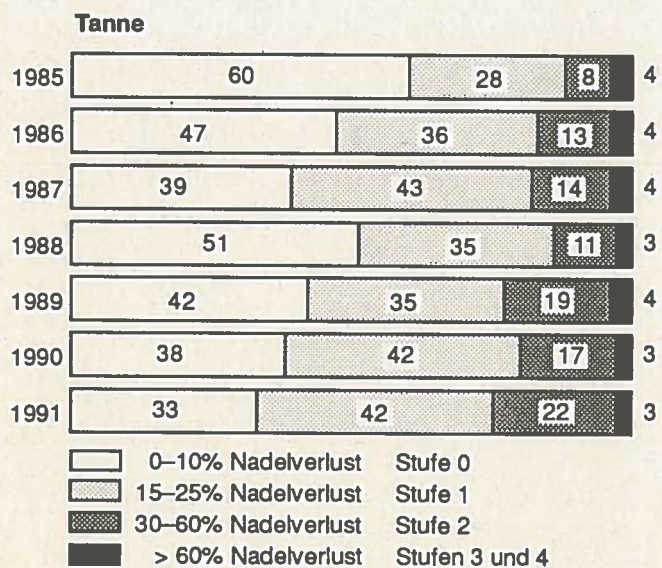
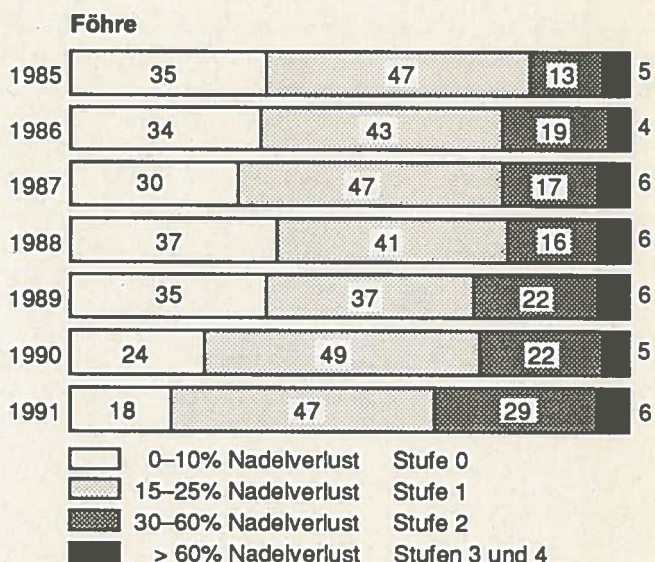
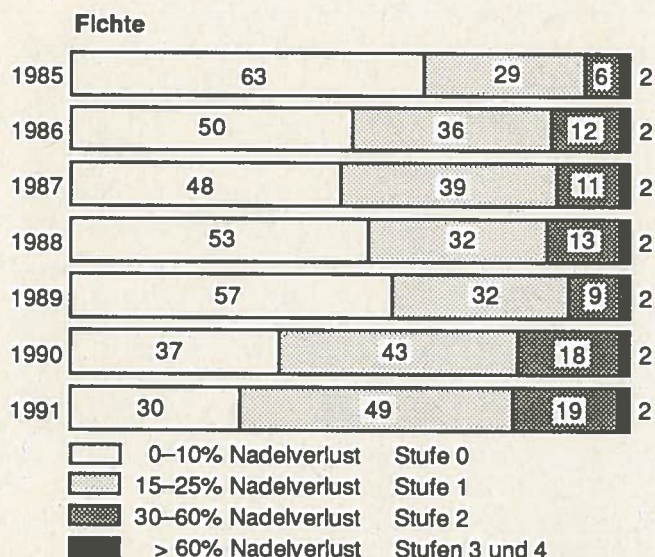
Die einzelnen Baumarten

Der Anteil der **Fichten** in den Stufen 2 bis 4 ist von 20 auf 21 Prozent, respektive von 63 auf 70 Prozent in den Stufen 1 bis 4 gestiegen.

Die **Tanne** weist in den Schadstufen 2 bis 4 eine Verschlechterung von 5 Prozent auf.

Die **Föhre**, die schon letztes Jahr die Baumart mit dem schlechtesten Kronenzustand war, vergrößerte den Anteil der Schadstufen 2 bis 4 von 27 auf 35 Prozent.

Der Zustand der **Lärche** hat sich nur wenig verändert.



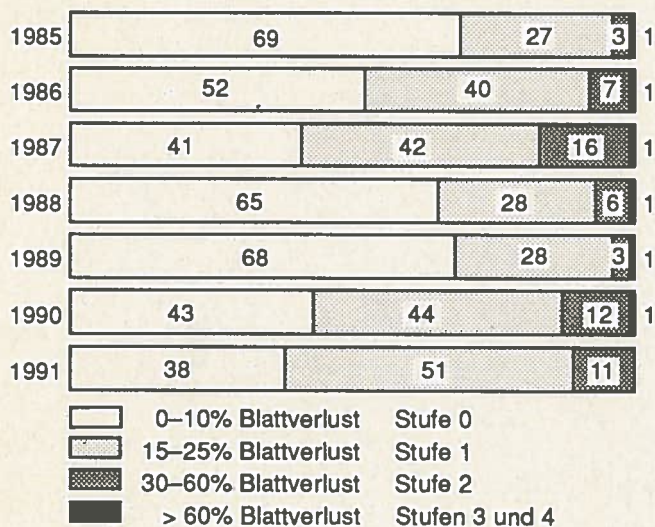
Vergleich der gewichteten Nadelverlustprozentanteile 1985-1991 für Fichte, Tanne, Föhre, Lärche.

Die **Buche** weist eine schwache Verbesserung in den Schadstufen 2 bis 4 von 13 auf 11 Prozent auf. Unter Einbezug der Warnstufe ergibt sich eine Verschlechterung um 5 auf 62 Prozent.

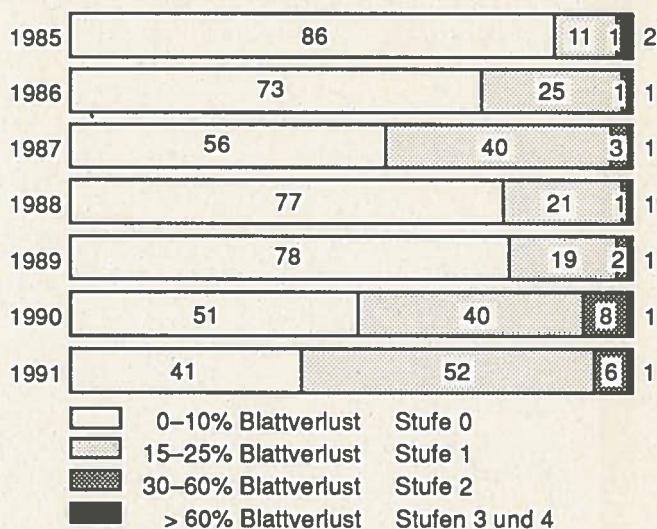
Die **Eiche** ist die Laubbaumart mit dem schlechtesten Kronenzustand und zeigt auch dieses Jahr eine weitere Verschlechterung.

Ahorn und **Eschen** zeigen eine schwache Abnahme in den massgebenden Stufen 2 bis 4, aber eine Zunahme in der Stufe 1.

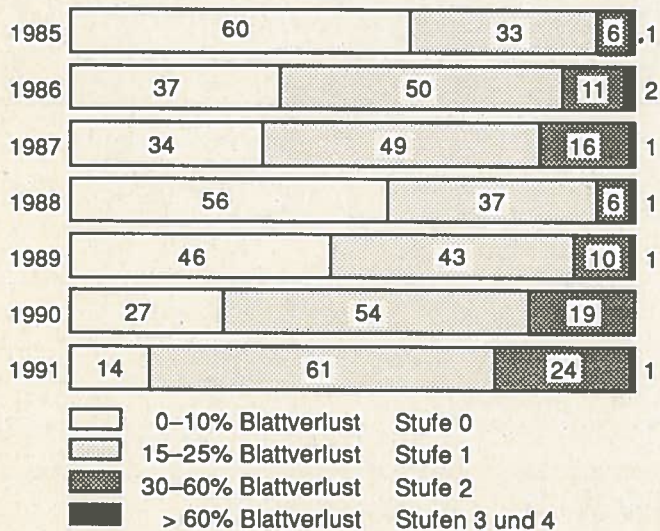
Buche



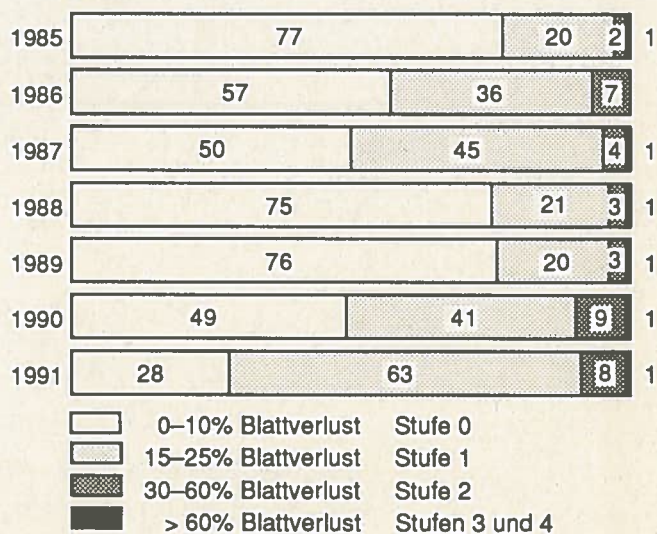
Ahorn



Eiche



Esche



Vergleich der gewichteten Blattverlustprozentanteile 1985-1991 für Buche, Eiche, Ahorn und Esche.

Die Entwicklung der Schäden gesamtschweizerisch und regional

Die Entwicklung der Nadel-/Blattverluste zeigt gesamtschweizerisch eine Zunahme in den Schadstufen 2 bis 4 von 17 auf 19 Prozent und von 61 auf 68 Prozent bei Einbezug der Warnstufe. Die Entwicklungstendenz bleibt sowohl für die Schadstufen 1 bis 4 als auch für die Schadstufen 2 bis 4 zunehmend.

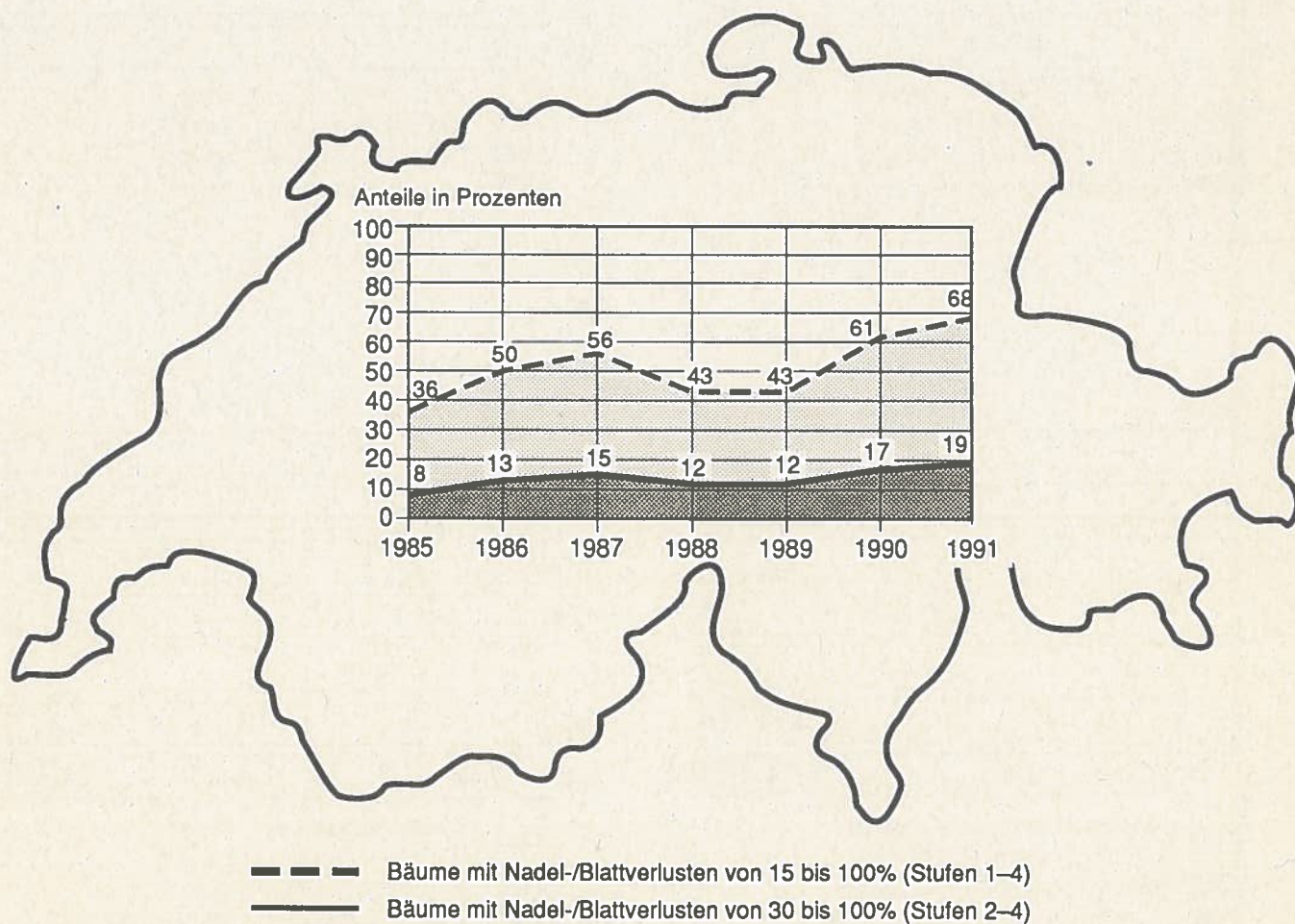
Im **Jura** haben die Kronenverlichtungen, nach einer massiven Verschlechterung im letzten Jahr, unbedeutend zugenommen.

Der Anteil der Schadstufen 2 bis 4, der im **Mittelland** seit 1985 zwischen 5 und 8 Prozent schwankt, ist dieses Jahr um 8 auf 14 Prozent gestiegen. Bei Einbezug der Warnstufe beträgt die Zunahme 25 Prozent.

In den **Voralpen** ist der Anteil der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4 etwa gleich geblieben. Der Kronenzustand hat sich aber bei Einbezug der Warnstufe auch in dieser Region verschlechtert.

In den **Alpen** haben die Kronenverlichtungen, nach einer erheblichen Verschlechterung im letzten Jahr, leicht abgenommen.

Die **Alpensüdseite** ist, nach einem weiteren Anstieg in den Schadstufen 2 bis 4, die Region mit den stärksten Kronenverlichtungen. Bemerkenswert ist, wie sich der Anteil der Stufen 1 bis 4 während der zwei letzten Jahre stark vergrösserte.

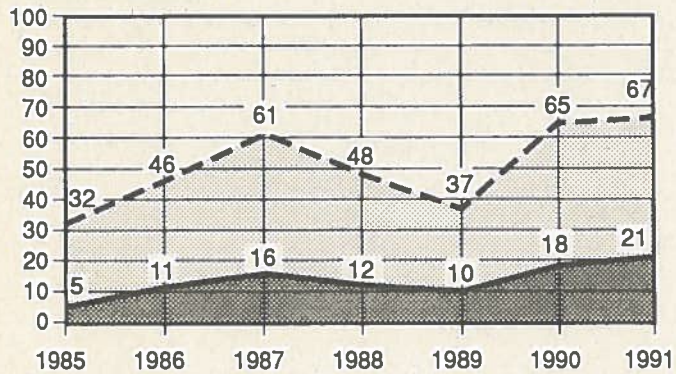


Gewichteter Anteil geschädigter Bäume 1985-1991 in Prozenten.

Jura



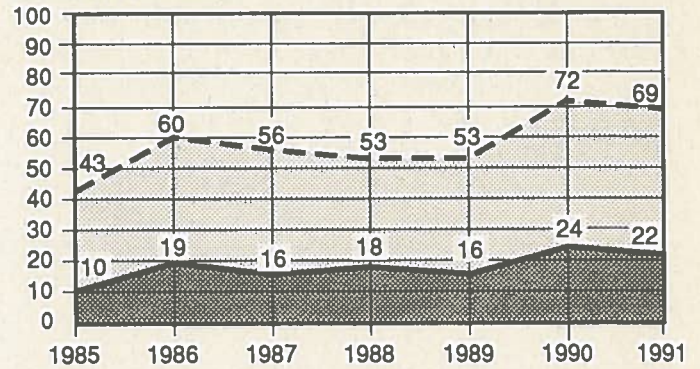
Anteile in Prozenten



Alpen



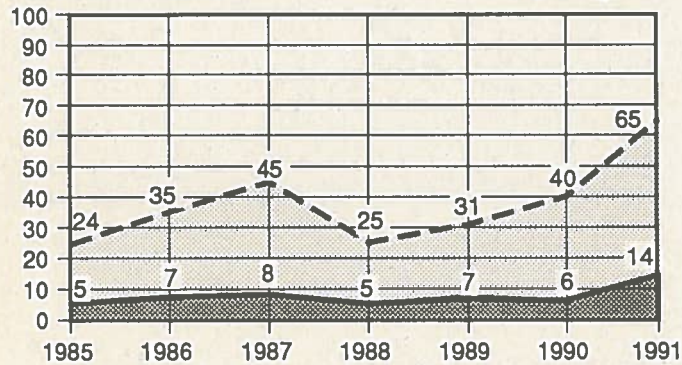
Anteile in Prozenten



Mittelland



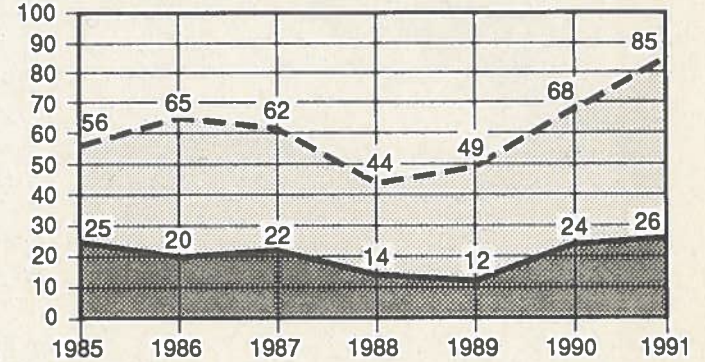
Anteile in Prozenten



Alpensüdseite



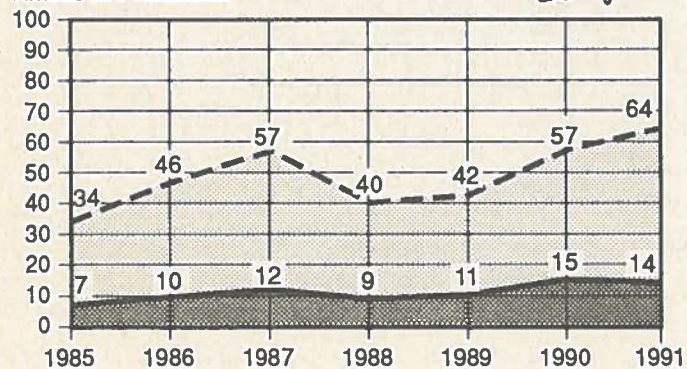
Anteile in Prozenten



Voralpen



Anteile in Prozenten



- Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von 15 bis 100% (Stufen 1-4)
- Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von 30 bis 100% (Stufen 2-4)

Gewichteter Anteil geschädigter Bäume in den Regionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite 1985-1991 in Prozenten.

Neben der genannten Aufteilung der Waldregionen in Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite wird in der Waldschadeninventur auf Grund einer einfachen Definition ein Berggebiet ausgeschieden. Eine Probestfläche wird dem Berggebiet zugeteilt, sofern diese über 900 m über Meer liegt oder steiler als 40 Prozent geneigt ist. Alle übrigen Proben fallen ins Nicht-Berggebiet. Das so definierte Berggebiet umfasst den westlichen Teil des Juras, Teile der Voralpen, die Alpen und die Alpensüdseite, grenzt dabei aber die tieferen Lagen der Alpentäler aus.

Im **Nicht-Berggebiet** ist, analog der Entwicklung im Mittelland, eine Zunahme der Kronenverlichtungen festzustellen.

Nicht-Berggebiet



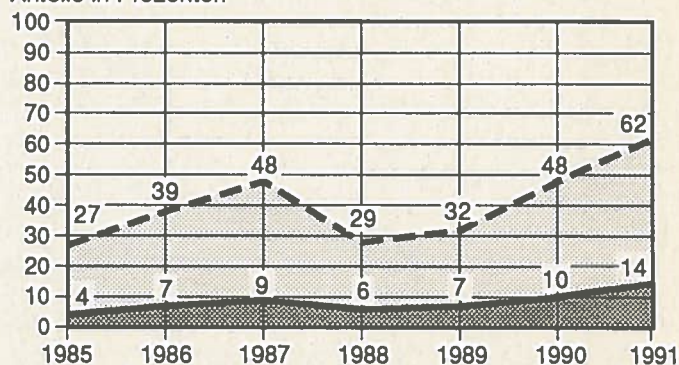
Im **Berggebiet** sind die Kronenschäden in abgeschwächter Form gestiegen. Der Anteil der Bäume in den Stufen 2 bis 4 beträgt nun 22 Prozent, jener der Stufen 1 bis 4 beläuft sich auf 71 Prozent.

Der Kronenzustand hat sich 1991 in den verschiedenen Regionen unterschiedlich entwickelt. Die stärksten Verschlechterungen verzeichneten die Alpensüdseite und das Mittelland. Im Alpenraum sind die Kronenverlichtungen auf hohem Niveau etwa stationär. Die Regionen Jura und Voralpen zeigten eine mässige Verschlechterung des Kronenzustandes.

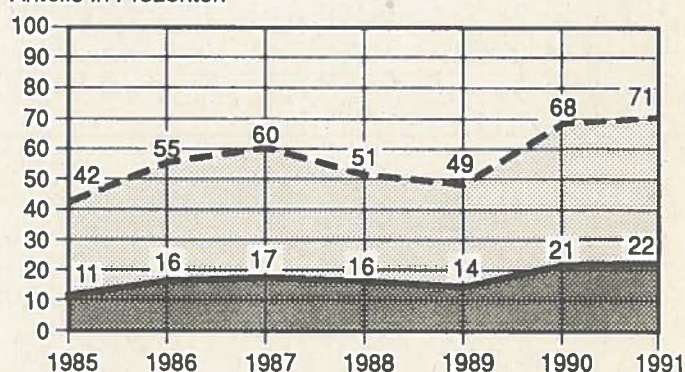
Berggebiet



Anteile in Prozenten



Anteile in Prozenten



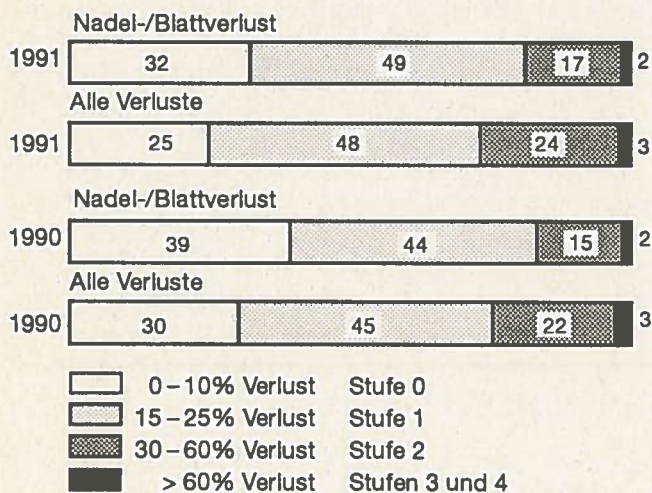
- — — Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von 15 bis 100% (Stufen 1-4)
- — — Bäume mit Nadel-/Blattverlusten von 30 bis 100% (Stufen 2-4)

Gewichteter Anteil geschädigter Bäume im Nicht-Berggebiet und im Berggebiet in den Jahren 1985-1991.

Nadel-/Blattverluste mit bekannten Ursachen

Bei der Beurteilung der Probestämme wird zuerst der gesamte Verlust von Nadeln oder Blättern geschätzt (= alle Verluste). Sind in den Baumkronen Schäden mit bekannter Ursache festzustellen, wird ihr Anteil von «Alle Verluste» abgezogen. Der resultierende Wert ist der «Nadel-/Blattverlust», der in den bisher gezeigten Ergebnissen dargestellt wurde. 1991 weisen 37 Prozent der Bäume Kronenverlichtungen mit bekannten Ursachen auf. Die meisten Bäume mit erkennbaren Ursachen für die Kronenverlichtung sind unterdrückte Bäume mit kümmerlichen Kronen. Sie umfassen 15,1 Prozent aller Bäume, fallen aber bei der Darstellung der Schadensituation wenig ins Gewicht, da es sich um dünne Bäume handelt. Das Klima (Wind, Frost, Schneebruch) ist die zweitwichtigste der bekannten Ursachen. Sie betrifft 11,6 Prozent aller Bäume. Die Blüten bei Föhre, Esche und Ahorn hinterlassen nach dem Verblühen kahle Stellen, die sich in einer erhöhten Verlichtung äussern können. Dieser sogenannte Blüheffekt wird als Kronenverlichtung bekannter Ursache erfasst. 3,3 Prozent aller Bäume zeigen diesen Blüheffekt. Weitere erkennbare Schäden sind Insektenfrass (3,1 Prozent), Flechtenbesatz (1,6 Prozent), Pilzbefall (1,3 Prozent), Misteln (0,4 Prozent), Holzerei (0,3 Prozent) und übrige Schäden bekannter Ursache (0,1 Prozent).

Vergleich von «Nadel-/Blattverlust» und «Alle Verluste»



Werden «Alle Verluste» mit dem «Nadel-/Blattverlust» für 1991 verglichen, so fällt auf, dass der Anteil der ungeschädigten Bäume um 7 Prozent kleiner ist. Der Anteil schwach verlichteter Bäume ist praktisch gleich, hingegen ist der Anteil der mittelstark geschädigten Bäume um 7 Prozent grösser.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von 1990 zeigt, dass die Situation ähnlich war. Auch in diesem Jahr sind es vor allem die mittelstark verlichteten Bäume, an denen zusätzlich Schäden bekannter Ursache festgestellt wurden.

Sturmschäden und Stammfäule

Im Februar 1990 hatten orkanartige Stürme schwere Schäden in den Schweizer Wäldern verursacht. Bereits in der Waldschadeninventur 1990 wurde das Ausmass der Sturmschäden erhoben und im Waldschadenbericht ausgewiesen. In der Sanasilva-Waldschadeninventur 1991 wurde eine ergänzende Untersuchung in bezug auf Zusammenhänge zwischen Stammfäule und Kronenzustand auf den Sturmschadenflächen durchgeführt.

Die Stöcke der vom Sturm geworfenen Bäume wurden auf Stammfäule untersucht. Diese Untersuchung betrifft nur Fichten. Die Fichte ist mit 101 Sturmbäumen (= 86 Prozent aller vom Sturm geworfenen Bäume) weitaus am häufigsten vertreten. In vielen Fällen konnte der Stock nicht beurteilt werden. Entweder waren die Stöcke nicht mehr auffindbar oder nicht mehr identifizierbar. Auf zwei Probestflächen, welche letztes Jahr wegen der Sturmschäden nicht erreichbar waren, konnte die Anzahl der vom Sturm betroffenen Bäume erst jetzt genau ermittelt werden.

Anzahl Probestflächen mit Sturmschäden	41
Anzahl Sturmbäume 1990	118 = 100 %
davon Fichten	101 = 86 %

Von den 101 in der WSI 91 untersuchten Fichtenstöcken waren:

gesund	60 = 59%
faul	8 = 8%
nicht beurteilbar	33 = 33%

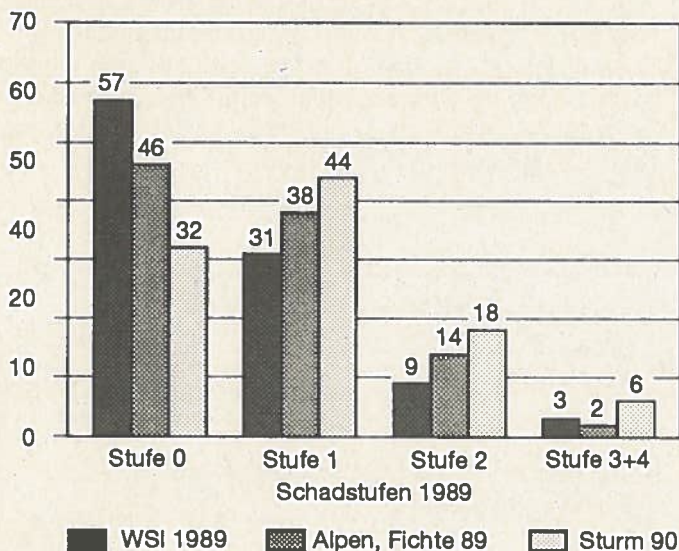
In der Waldschadeninventur 1991 wurden 8 von 101 Fichtenstöcken als faul taxiert. Auf Grund dieser Zahlen kann nicht auf einen Zusammenhang zwischen Stammfäule und dem Windwurf in den Stürmen vom Februar 1990 geschlossen werden. Das Datenmaterial ist viel zu gering, um eine gesicherte Aussage machen zu können.

Zusammenhang von Sturmschäden und Nadel-/Blattverlust

Für die Bäume, die 1990 von den Stürmen geworfen worden waren, konnten aus den Daten des Vorjahres die Nadel-/Blattverluste ermittelt werden. Die Verteilung der Schadstufen der Sturmbäume wird mit den Schadstufen der Waldschadeninventur 1989 verglichen.

Sturm 1990
Schadstufen WSI 1989 und Sturmbäume 1990

Gewichtete Anteile in Prozenten



WSI 1989 = 8303 Bäume
Alpen, Fichte 89 = 1390 Bäume
Sturm 90 = 118 Bäume

Die Untersuchung zeigt, dass in sämtlichen Schadstufen vom Sturm betroffene Bäume zu verzeichnen sind. Im Vergleich mit der Waldschadeninventur 1989 sind mehr Bäume der Schadstufen 1 bis 4 geworfen worden als gesunde (Schadstufe 0). Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Sturmschäden nicht gleichmässig über die ganze Schweiz verteilt waren und nicht alle Baumarten gleich stark von den Stürmen betroffen wurden. Die Sturmschäden traten vor allem in den Regionen Alpen und Voralpen und an der Fichte auf. Die Probestflächen mit Sturmschäden sind deshalb nicht repräsentativ für die Waldfläche der Schweiz und ein Vergleich der Schadstufen der Sturmbäume mit dem Gesamtergebnis der Waldschadeninventur 1989 ist nur bedingt zulässig. Darum wird die Schadstufenverteilung der Sturmbäume mit derjenigen aller Fichten in der Region Alpen verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass die von den Stürmen geworfenen Bäume stärker verlichtet waren, als die Fichten in der Region Alpen.

Eine weitergehende Analyse der vom Sturm geworfenen Bäume hinsichtlich Gefährdung durch standörtliche und strukturelle Gegebenheiten ist, bedingt durch die kleine Anzahl Probestämme, nicht möglich.

Einfluss der Nutzung auf das Inventurergebnis

Seit der Waldschadeninventur 1990 sind auf den Probestflächen der Waldschadeninventur 135 Bäume genutzt worden. Die Schadstufenverteilung der genutzten Bäume, wie sie 1990 festgestellt worden ist, wird mit den Resultaten der Waldschadeninventur 1991 verglichen. Es sind vor allem Bäume aus der Schadstufe 0 genutzt worden. Die 13 Prozent genutzter Bäume in den Schadstufen 3 und 4 sind Bäume, die 1990 bereits dürr waren. Der Einfluss der Nutzung auf das Inventurergebnis 1991 ist insgesamt sehr gering, machen doch die genutzten Bäume nur 1,6 Prozent aller beobachteten Bäume aus.

Vergleich der 1990/91 genutzten Bäume mit dem Inventurergebnis 1991.

Gewichtete Anteile in Prozenten					
	Schadstufen				Anzahl beob. Bäume
	0	1	2	3+4	
1990/91 genutzt	51	28	8	13	135
Inventur 1991	32	49	17	2	8244

Ziele der Waldschadeninventur

Die Sanasilva-Waldschadeninventur wurde für die grossräumige Überwachung des Gesundheitszustandes und dessen Veränderungen konzipiert. Alljährlich werden die Kronen von repräsentativ ausgewählten Bäumen beurteilt. Die Taxierung der Nadel-/Blattverluste basiert auf der Annahme, dass die Krone den Gesundheitszustand des Baumes widerspiegelt. Die Waldschadeninventur ist im schweizerischen Landesforstinventar (LFI) integriert und liefert sowohl Ergebnisse für die ganze Schweiz wie auch für die Regionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite. Der Zustand des Gesamtwaldes wird nach Baumarten und Verlustklassen dargestellt.

Die Reproduzierbarkeit der Kronenansprache wird durch eine intensive Schulung und durch eine eingehende Kontrolle der Feldaufnahmen quantifiziert und gewährleistet.

Aussagen über kleinere Gebiete, insbesondere Kantone, sind nicht möglich. Auch über lokale Schadenssituationen können wegen des zu groben Stichprobennetzes keine Aussagen gemacht werden. Den Zielsetzungen entsprechend, sind mit der aktuellen Waldschadeninventur keine Ursachenerklärungen möglich.

Zukunft der Waldschadeninventur

Die Erfahrungen aus den sieben durchgeführten Waldschadeninventuren zeigen, dass die Kenntnisse hinsichtlich natürlicher Variabilität der Kronentransparenz, der Schadengrenze und der Interpretation der Inventurergebnisse vertieft werden müssen. Die Beobachtung der Baumkronen muss deshalb weitergeführt werden. Dies ist eine langfristige Aufgabe, die heute für die Zukunft angegangen werden muss. Sechs Jahre sind, gemessen am Baumleben, für abschliessende Folgerungen ein kurzer Zeitraum.

Nur eine Erweiterung der Waldschadeninventur wird die gestiegenen Informationsbedürfnisse befriedigen können und es erlauben, Hypothesen über Ursache-Wirkungsbeziehungen herzuleiten. Dies bedingt die Erhebung von verschiedenen ökosystemrelevanten Parametern. Der Bodenzustand und dessen mittelfristige Veränderungen sollen ermittelt werden. Mit der Erhebung der Vegetation und deren Veränderungen werden langfristig wichtige Hinweise auf standörtliche Veränderungen erwartet. Der Einfluss der Witterung auf die Kronentransparenz wird mit verschiedenen Parametern wie Niederschlag und Strahlung untersucht. Systematische Depositions- und Luftqualitätsmessungen im Wald sollen die bestehenden Messnetze ergänzen. Diese Ziele werden im Laufe der nächsten Jahre angestrebt, um die räumliche und zeitliche Variation der genannten Parameter des Ökosystems Wald grossräumig, repräsentativ und mit verbundenen Beobachtungen zu erfassen.

Die Monatswerte der Sonnenstrahlung wurden unter Berücksichtigung des Reliefs und der Bewölkung, für einige ausgewählte Stichproben und Inventurjahre, zwischen den in der Umgebung der einzelnen Probeflächen liegenden Klimastationen interpoliert. Niederschlagskennwerte wurden analog berechnet. Erste Analysen zeigen die Komplexität der Problemstellung hinsichtlich der Herleitung von statistischen Abhängigkeiten zwischen Nadel-/Blattverlusten und den genannten Witterungsdaten auf Stichprobenebene. Die statistische Analyse wird weiterverfolgt und es werden wichtige Aufschlüsse über den Einfluss der Witterung auf die Entwicklung der Baumkronen erwartet.

Im Rahmen der Vorbereitung der Bodeninventur im Landesforstinventar wurde 1990 ein Pilotversuch durchgeführt. Die Methodenentwicklung für die Erhebung des Bodenzustandes ist weit fortgeschritten, so dass die erste Inventur in naher Zukunft möglich sein kann. Das Ziel dieser Erhebung ist es, das Nährstoffangebot, den Wasserhaushalt und die Belastung festzustellen. Die geplante Bodeninventur wird mit den Erhebungen im gesamten europäischen Raum koordiniert.

Die Zusammensetzung der Waldvegetation charakterisiert den Standort auf vorzügliche Weise. Für die Erhebung der Waldvegetation auf Stichprobenebene sind umfassende, methodische Abklärungen notwendig. Eine erste Inventur wird mittelfristig möglich sein.

Methoden

Stichprobenerhebung

Die Waldschadeninventur ist eine Stichprobenerhebung und wird jährlich von der Sektion Landesforstinventar der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) organisiert und durchgeführt. Die Probeflächen liegen in einem 4x4-km-Netz, welches ein Teilnetz des ersten Schweizerischen Landesforstinventars (1x1-km-Netz) ist. Damit wird jede 16. Stichprobe des Landesforstinventars bei der Waldschadeninventur erfasst. Die Probefläche besteht aus zwei konzentrischen Kreisen mit 500 bzw. 200 m² Fläche. Auf dem kleineren Kreis werden alle Bäume mit einem Durchmesser erfasst, der in 1,3 m Höhe (Brusthöhen-Durchmesser) grösser ist als 12 cm. Auf dem grösseren Kreis werden nur Bäume mit einem Brusthöhen-Durchmesser von über 35 cm taxiert. Die auf den Probeflächen erfassten Daten erlauben die Herleitung repräsentativer Ergebnisse für den gesamten Schweizer Wald sowie Aussagen über Untereinheiten wie Regionen oder die häufigsten Baumarten.

Datenumfang

Anzahl Probeflächen insgesamt	766
davon zugänglich und aufgenommen	686

Anzahl beobachtete Bäume	
ab 12 cm Durchmesser insgesamt	8244
davon Nadelbäume	5265
davon Laubbäume	2979

Anzahl je Baumart	
Fichte	3447
Tanne	922
Föhre	371
Lärche	381
übrige Nadelbäume	144
Buche	1520
Ahorn	282
Esche	253
Eiche	126
übrige Laubbäume	798

Gewichtung der Einzelbaumdaten

Aus der Gesamtheit der Baumdaten werden verschiedene prozentuale Anteile ermittelt. Für die Berechnung dieser Anteile wird jeder einzelne Baum mit dem Quadrat seines Durchmessers gewichtet. Dickere Bäume erhalten somit grösseres Gewicht. Diese Gewichtung ist deshalb sinnvoll, weil dickere Bäume eine grössere Fläche beanspruchen und für den Bestand und die Stabilität des Waldes von grösserer Bedeutung sind.

Die Feldaufnahmen

Vor Beginn der Feldaufnahmen sind die sechs Aufnahmegruppen und zwei Kontrollgruppen in einem Instruktionskurs eingehend für ihre Arbeit ausgebildet worden. Im Verlaufe der Feldaufnahmen fanden alle zwei Wochen Trainingstage statt, an denen die Aufnahme- und Kontrollgruppen teilnahmen. Die Baumbeurteilungen von Gruppen und Taxatoren wurden auf Trainingsprobestflächen und auf Testparcours überprüft. Mit diesen Trainingstagen wird ein weitgehend homogener Schätzstandard der Gruppen erreicht. Schulungs- und Trainingszeit der Aufnahmegruppen machten rund einen Viertel der gesamten Arbeitszeit für die Feldaufnahmen aus.

Die 686 zugänglichen Probestflächen, mit über 8000 taxierten Bäumen, wurden von sechs Zweimanngruppen in der Zeit vom 1. Juli bis 30. August 1991 aufgenommen. In einem systematischen Teilnetz der Waldschadeninventur haben die beiden Kontrollgruppen, unabhängig voneinander und unabhängig von der Erstaufnahme, 99 Probestflächen mit 1141 Bäumen ein zweites respektive drittes Mal aufgenommen.

Auf der Probestfläche wird jeder einzelne Probebaum identifiziert, damit sein Zustand über mehrere Jahre verfolgt werden kann. Die speziell geschulten Aufnahmegruppen schätzen den Nadel-/Blattverlust der Probebäume in 5-Prozent-Klassen mit Hilfe eines Kronenbilderbuches, das als Vergleichsmassstab dient. Mit einem Feldstecher wird jeder Baum aus einer vorgegebenen, immer gleich bleibenden Blickrichtung beurteilt.

Neben den Nadel-/Blattverlusten werden auf der Probestfläche verschiedene zusätzliche Merkmale erhoben, die den Bestandaufbau und die Wuchsbedingungen beschreiben. Die Aufnahme anderer Schäden mit bekannten Ursachen wie zum Beispiel Holzernte, Insekten oder Pilze, Wind, Steinschlag usw. soll beim Vergleich der Zustandsentwicklung die Differentialdiagnose erleichtern.

Schätzung des Nadel-/Blattverlustes

Das für sämtliche europäischen Waldschadeninventuren wichtigste Merkmal zur Beurteilung des Gesundheitszustandes eines Baumes ist der Nadel- respektive

Blattverlust. Als Hilfsmittel zur Schätzung des Nadel-/Blattverlustes dient eine Farbfotoserie von Kronenbildern, die seit 1986 verwendet wird (E. Müller, H.R. Stierlin: Sanasilva Kronenbilder, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf, 2. Auflage, 1990). Die Bilder werden zur vergleichenden Beurteilung der Baumkronen benutzt und geben den Taxatoren Standardwerte als Schätzhilfe.

Die Kronenverlichtung der Bäume wird zunächst gesamthaft geschätzt (alle Verluste). Sind in den Baumkronen Schäden mit bekannter Ursache festzustellen, wird ihr Anteil am gesamten Nadel- bzw. Blattverlust geschätzt und vom Gesamtverlust abgezogen. Im vorliegenden Bericht werden nur Nadel-/Blattverluste mit **unbekannten** Ursachen ausgewiesen.

Definition der Schadstufen

Die Aufnahmegruppen schätzen den Nadel- oder Blattverlust in 5-Prozent-Klassen, die zu fünf Schadstufen zusammengefasst werden. Diese Stufen sind international in den ECE-Richtlinien vereinbart worden und erlauben die Vergleichbarkeit der nationalen Waldschadeninventuren in Europa.

Bezeichnung der Schadstufen aus den 5%-Klassen der einzelbaumweisen Beurteilung der Nadel-/Blattverluste

Nadel-/Blattverlust in %	Verwendete Bezeichnung für die Jahre 89–91	Stufe
0, 5, 10	ungeschädigt	0
15, 20, 25	Warnstufe (schwach geschädigt)	1
30–60	mittelstark geschädigt	2
65–95	stark geschädigt	3
100	abgestorben	4

Problematik der Schadengrenze

Nadel-/Blattverluste von 15, 20 und 25 Prozent werden gemäss internationalen Konventionen in der Verlichtungsstufe «Warnstufe» zusammengefasst. Der nationale und regionale Gesamtschaden wird als Anteil der Bäume mit mehr als 25 Prozent Nadel-/Blattverlust (Schadstufen 2 bis 4) dargestellt. Damit ist gewährleistet, dass die Daten international vergleichbar sind. Die gleichzeitige Darstellung der Schadstufen 1 bis 4 und 2 bis 4 ermöglicht den Vergleich der Resultate mit den Waldschadeninventuren aus früheren Jahren.

Die eigentliche Schadengrenze ist von Standort und Baumart abhängig und weitgehend unbekannt. Die Analyse der Einzelbaumentwicklung hat aber gezeigt, dass Nadel-/Blattverluste von 25 Prozent und weniger der natürlichen Variabilität zugeschrieben werden können.

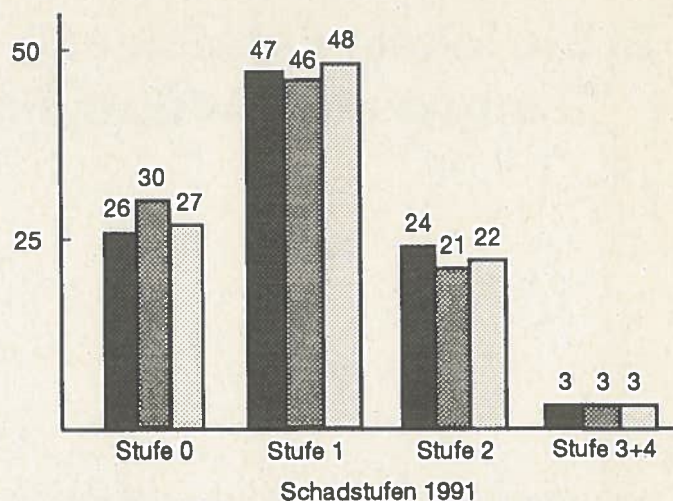
Zuverlässigkeit der Resultate

Die Waldschadeninventur basiert auf der Beurteilung des Kronenzustandes der Bäume, die auf den Probe-
flächen stehen, die in einem 4x4-km-Netz angeordnet
sind. Von diesen 686 Probe-
flächen wurden 99 auf ei-
nem Teil-Netz gelegenen Flächen von zwei weiteren
Gruppen besucht. Auf diesem Kontroll-Netz wurden
somit die gleichen Bäume von je drei Gruppen unab-
hängig geschätzt, damit die subjektiven Einflüsse der
Gruppen quantifiziert werden können. Insgesamt wur-
den 1141 Bäume kontrolliert.

Durch intensive Ausbildung und periodische Trai-
nings konnte ein grosser Teil der subjektiven Einflüsse
der Aufnahmegruppen eliminiert werden.

Der Vergleich der Resultate der beiden systemati-
schen Kontrollinventuren mit der Erstaufnahme gibt ein
gutes Mass für die Reproduzierbarkeit der Schätzung
der Nadel-/Blattverluste.

Ein weiteres Mass für die Reproduzierbarkeit der
Kronentaxierung ist die mittlere Differenz zwischen
Kontrolle und Erstaufnahme. Diese beträgt für die erste
Kontrolle 0,1 Prozent (Standardabweichung 10,0 Pro-
zent) und für die zweite Kontrolle 2,2 Prozent (Standard-
abweichung 10,2 Prozent). Das heisst, die Kontroll-
gruppen taxieren die Kronen geringfügig schärfer.



■ Kontrolle 2 ▨ Erstaufnahme □ Kontrolle 1

Vergleich der Kontrollinventuren mit der Erstaufnahme auf
Kontrollprobe-
flächen

Auf Grund der genannten Ergebnisse darf ange-
nommen werden, dass die Resultate der Waldschaden-
inventur zuverlässig sind.

Methoden und Vergleichbarkeit der Waldschadeninventur 1983 bis 1991

Jahr	Erhebungsmethode	Datenumfang	Inventurergebnisse	
			Nadel-/Blatt- verlust >10 %	Nadel-/Blatt- verlust >25 %
1983	Umfrage bei den Revierförstern nicht vergleichbar mit den Inventuren 1984–1990	1429 Fragebogen	14% der Bäume kränkelnd, krank, absterbend oder tot	
1984	Traktinventur im öffentlichen und erschlossenen Wald (=48% der Waldfläche der Schweiz), nicht vergleichbar mit WSI 1985–1990	371 Trakte, 26 927 Bäume	34%	8%
1985	Wiederholung der Traktinventur von 1984 im öffentlichen und erschlossenen Wald, nicht vergleichbar mit WSI ab 1985–1990	361 Trakte, 25 467 Bäume	34%	5%
1985	LFI-Einzelstichproben; erste Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen, 8065 Bäume	36%	8%
1986	LFI-Einzelstichproben; zweite Inventur im ge- samten Schweizer Wald; erste Aussage über Entwicklung im gesamten Wald	766 Probe- flächen, 8059 Bäume	50%	13%
1987	LFI-Einzelstichproben; dritte Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen, 8068 Bäume	56%	15%
1988	LFI-Einzelstichproben; vierte Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen, 8175 Bäume	43%	12%
1989	LFI-Einzelstichproben; fünfte Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen, 8304 Bäume	43%	12%
1990	LFI-Einzelstichproben; sechste Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen, 8333 Bäume	61%	17%
1991	LFI-Einzelstichproben; siebente Inventur im gesamten Schweizer Wald	766 Probe- flächen 8244 Bäume	68%	19%

2 Die lokale Entwicklung der Waldschäden in den Testgebieten Altdorf, Flims und Zofingen

Der Vergleich der Infrarotluftbilder von 1991 mit jenen des Vorjahres zeigt, dass sich die untersuchten Bäume in Flims und Zofingen im gleichen Ausmass verschlechtert haben wie in der Periode 1989 bis 1990. In Zofingen konnten aber auch Verbesserungen festgestellt werden. Auf der Testfläche Altdorf, mit den bisher unregelmässigsten Werten, hat sich die Situation dieses Jahr deutlich verbessert. 91,7 Prozent der insgesamt über 1500 untersuchten Bäume wiesen keine sichtbare Veränderung auf.

Vorgehen

Seit Beginn der Untersuchungen über die Vitalitätsveränderungen an Einzelbäumen im Jahre 1984/85 wurde immer das gleiche Verfahren angewendet. Es beruht auf einem Infrarotbild-Bildvergleich (Massstab 1:3000). Mit Infrarotfilmen werden die unterschiedlichen Blattgrünreflektionen verschiedener Vitalitätsstufen im nahen Infrarotbereich sichtbar gemacht. Für die sichere Identifikation der Einzelbäume werden die Stereobildpaare alljährlich photogrammetrisch ausgewertet.

Als verbessert werden jene Bäume bezeichnet, welche sich in ihrer Form, Struktur, Textur oder Farbintensität innerhalb eines Jahres sichtbar positiv verändert haben. Sinngemäss gilt das Umgekehrte für einen verschlechterten Zustand.

Bestandesbeschreibung der drei Testgebiete

Altdorf: 70 Prozent Nadelbäume (Fichten, Weissstannen, vereinzelt Föhren) und 30 Prozent Laubbäume (Buchen, wenig Eschen und Ahorne); Altersklassen Stangenhölzer bis aufgelockertes, starkes Baumholz.

Flims: 90 Prozent Nadelbäume (Fichten, wenig Föhren, Weissstannen und Lärchen) und 10 Prozent Laubbäume (Buchen); Altersklassen schwaches bis mittleres Baumholz mit wenig Starkholz.

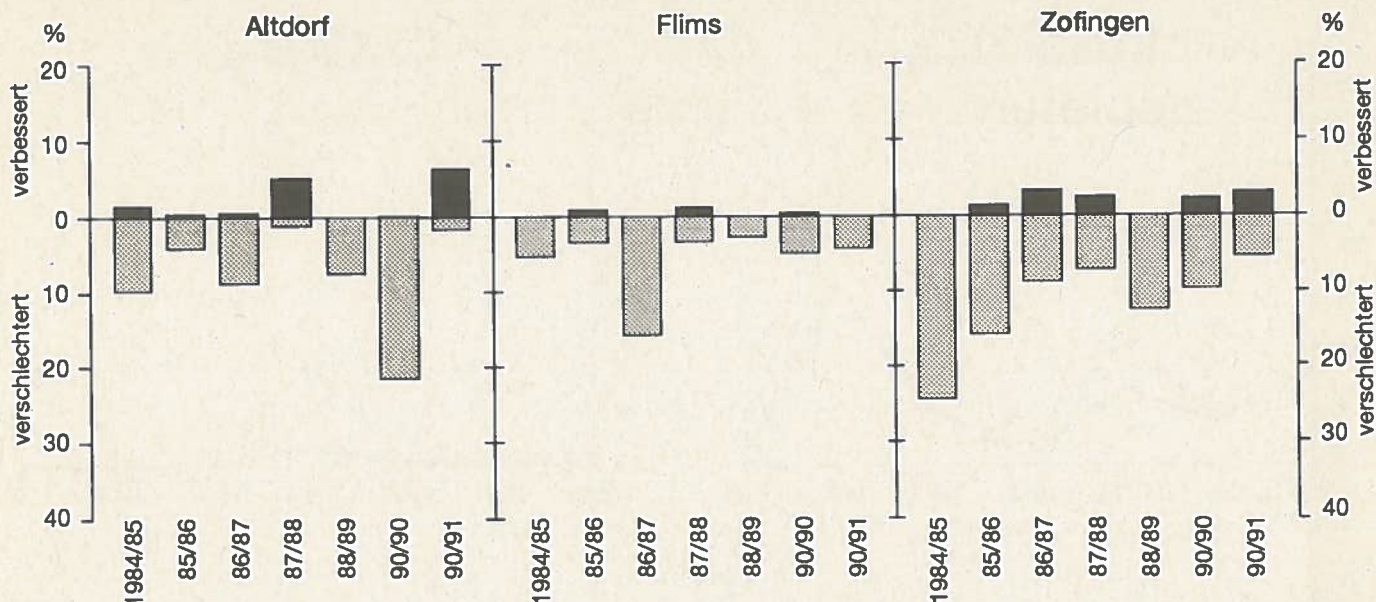
Zofingen: 80 Prozent Laubbäume (Buchen, einzelne Eichen und Ahorne) und 20 Prozent Nadelbäume (Fichten, Weissstannen, Föhren und Douglasien); Altersklassen mittleres und starkes Baumholz.

Die Entwicklung der Vitalität in den einzelnen Untersuchungsgebieten

In **Altdorf** entwickelt sich der Zustand des Waldes im Vergleich zu den beiden anderen Testflächen auffällig unregelmässig. Während sich letztes Jahr noch an mehr als 20 Prozent der untersuchten Bäume der Zustand verschlechterte, konnten dieses Jahr an 6,5 Prozent der 430 Bäume eine verbesserte Vitalität festgestellt werden und nur an 1,2 Prozent eine Verschlechterung. Das positive Ergebnis ist fast identisch mit der Vergleichsperiode 1987/88 mit 5,1 Prozent Verbesserungen zu 1,2 Prozent Verschlechterungen.

Vergleich der Luftbilder aus dem Jahre 1991 mit denen des Vorjahres

Gebiet	Anzahl untersuchte Bäume			Anzahl gefällte Bäume			Entwicklung in Prozenten											
							besser			unverändert			schlechter			entfernt		
	Nadelb.	Laubb.	gesamt	Nadelb.	Laubb.	gesamt	Nadelb.	Laubb.	gesamt	Nadelb.	Laubb.	gesamt	Nadelb.	Laubb.	gesamt	Nadelb.	Laubb.	gesamt
Altdorf	247	183	430	7	2	9	-	15	6	96	82	91	1	2	1	3	1	2
Flims	552	32	584	3	-	3	-	-	-	95	97	95	4	3	4	1	-	1
Zofingen	142	381	523	2	10	12	-	5	4	92	88	89	6	5	5	2	2	2



Schadenentwicklung in den Untersuchungsgebieten Altendorf, Flims und Zofingen
Dargestellt ist der prozentuale Anteil der Bäume, deren Zustand sich beim Vergleich der aktuellen Luftbilder mit jenen des Vorjahres entweder verbessert oder verschlechtert hat.

Infolge einer Durchforstung im unteren Bereich der Testfläche wurden 2 Prozent der Bäume entfernt. Zwangsnutzungen sind aber nur sehr wenige angefallen.

In **Flims** hat sich die letztjährige, negative Entwicklung im gleichen Rahmen fortgesetzt. 4,1 Prozent der 584 Stichprobenbäume haben sich verschlechtert, während es im Vorjahr noch 5,0 Prozent waren. Verbesserungen gab es wiederum keine.

Ausser wenigen Zwangsnutzungen haben während des Beobachtungszeitraumes keine forstlichen Eingriffe stattgefunden.

Abgesehen von der markanten Verschlechterung 1986/87, die auch durch das Windwurfereignis vom Juli 1987 beeinflusst worden war, zeichnet sich eine gewisse Konstanz im Anteil der sich jährlich verschlechternden Bäume ab. Die Werte liegen zwischen 2,8 und 5,3 Prozent. Die Anzahl Bäume mit verbesserter Vitalität war während des gesamten Zeitraums nicht von Bedeutung. Die Prozentzahlen liegen zwischen 0 und 1,1.

Im Vergleich zu den Ergebnissen seit Beginn der Untersuchungen zeigt sich in **Zofingen** dieses Jahr ein eher positives Bild. In der Periode 1990/91 haben sich von den 523 Probebäumen 5,4 Prozent verschlechtert, und immerhin 3,4 Prozent verbessert.

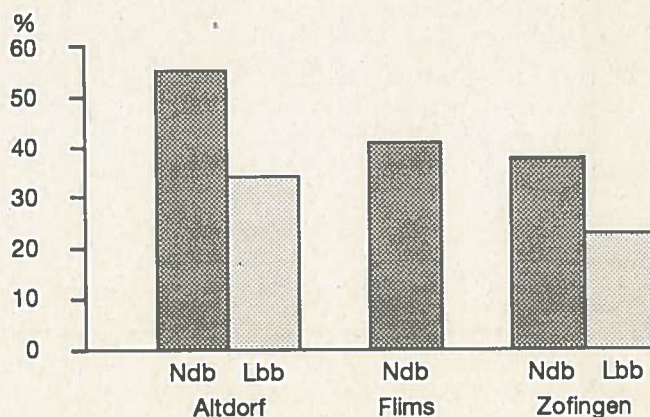
Im aus forstlicher Sicht hiebsreifen Teil der Probe- fläche, fand ein normaler waldbaulicher Eingriff statt. 2,3 Prozent der untersuchten Bäume wurden genutzt.

Auf dieser Probe fläche haben sich die Werte der Verschlechterungen seit 1986 zwischen 5,4 und 15,8 Prozent und jene der Verbesserungen zwischen 1,3 und 3,4 Prozent eingependelt.

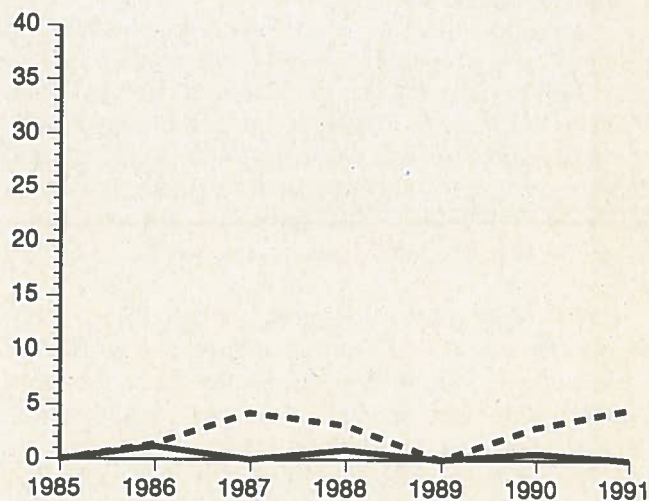
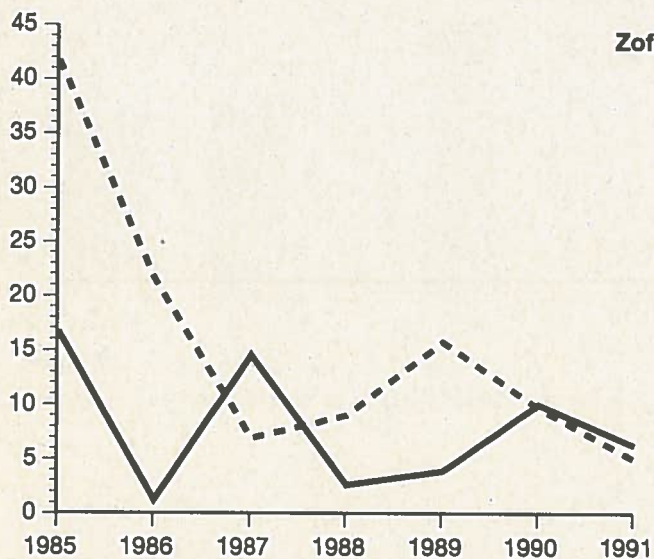
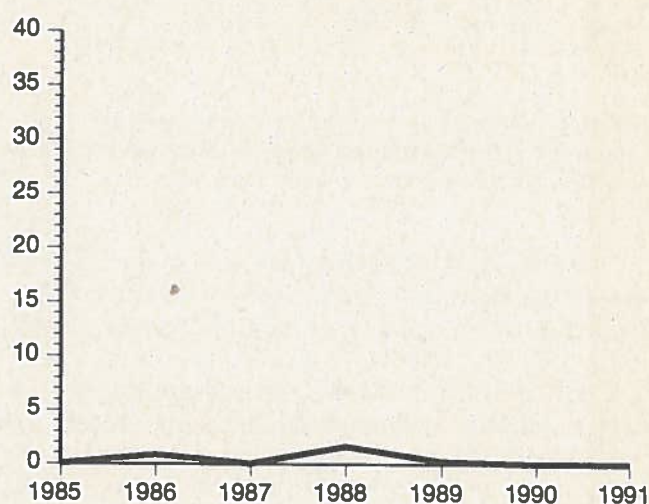
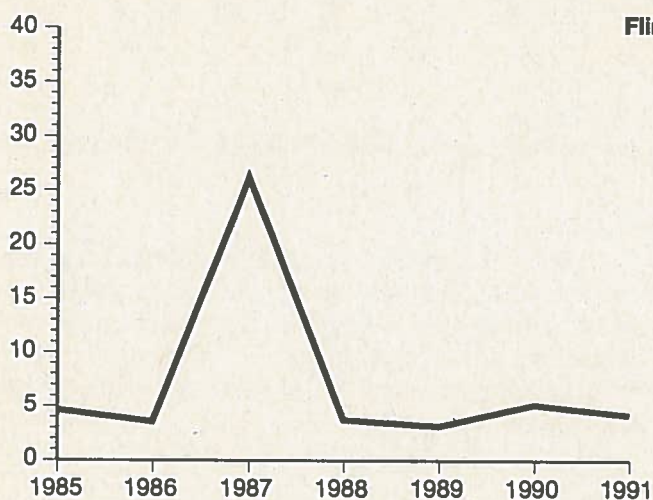
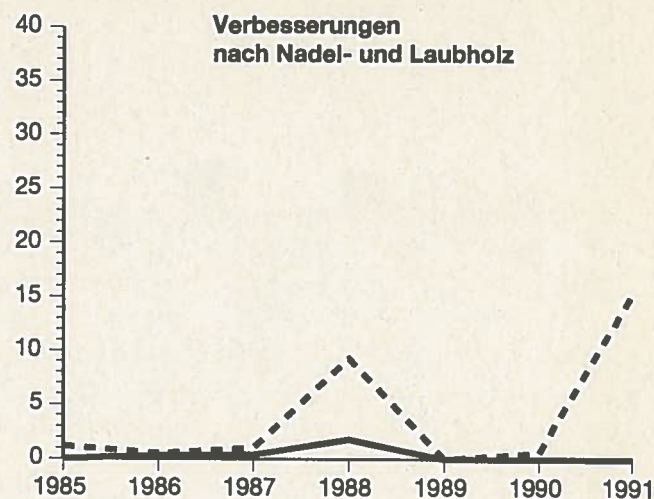
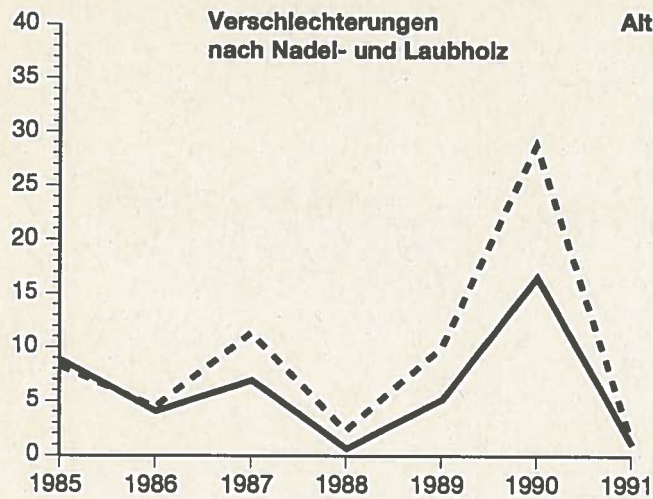
Gemessen an der durchschnittlichen Umtriebszeit ist die Beobachtungsdauer von 1984 bis 1991 für alle Testflächen eher kurz.

Über den ganzen Zeitraum der Untersuchung von 1984 bis 1991 sind mehr Nadel- als Laubbäume unverändert geblieben, d.h. haben sich weder sichtbar verbessert noch verschlechtert.

Der Laubholzanteil ist in Flims für eine gültige Aussage zu klein.



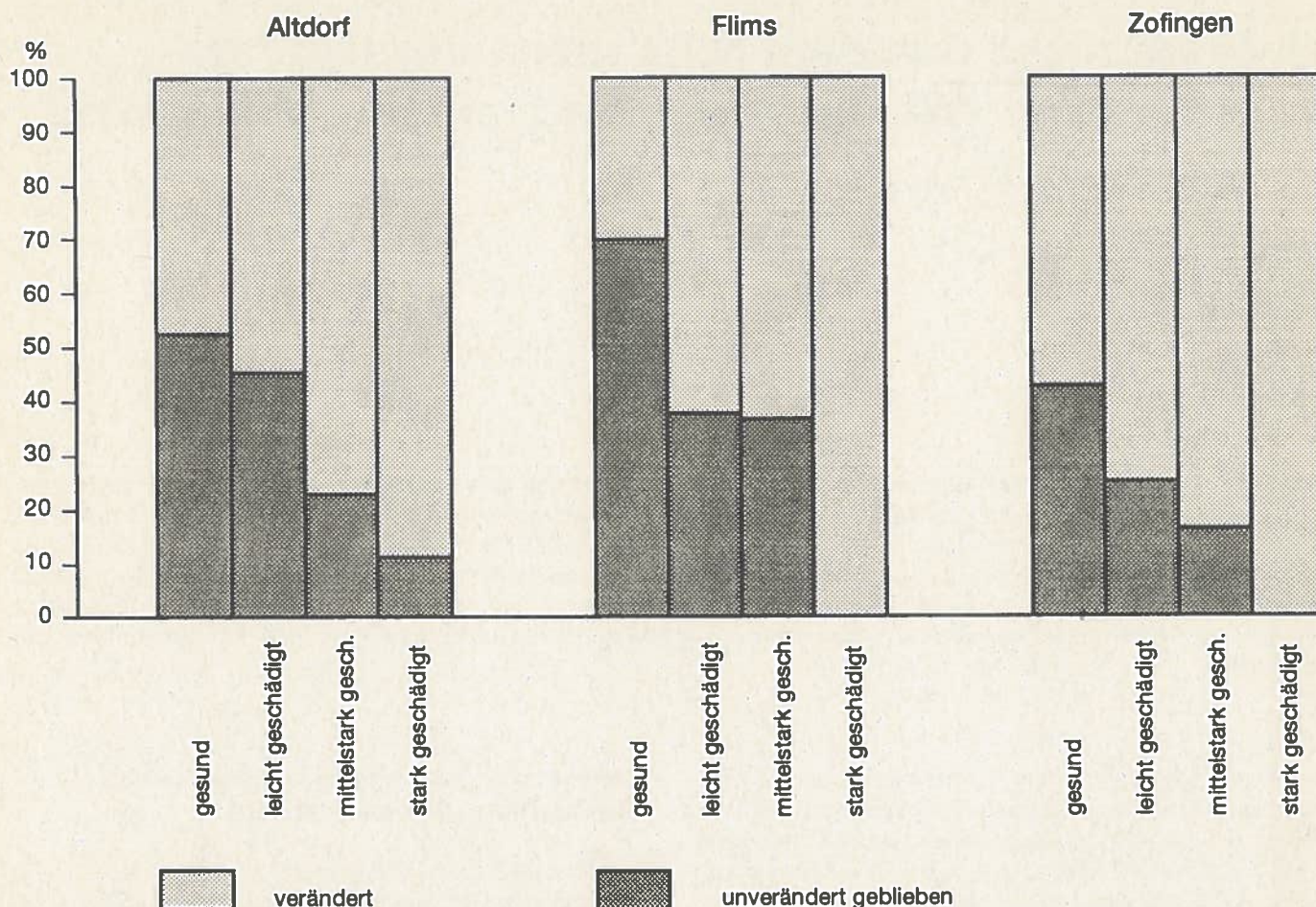
Bäume mit unveränderter Vitalität zwischen 1984 und 1991



— Nadelbäume - - - - - Laubbäume

Der optische Eindruck des Gesundheitszustandes variiert bei den Laubbäumen stärker als bei den Nadelbäumen. Der jährliche totale Laubabwurf dürfte dazu beitragen, dass bei den Laubbäumen eine Vitali-

tätsveränderung schneller und deutlicher sichtbar wird als bei den Nadelbäumen. Dargestellt ist der jährliche Prozentanteil der Nadel- und Laubbäume, die sich verbessert oder verschlechtert haben.



Die Stabilität des Gesundheitszustandes eines Baumes ist abhängig vom Schädigungsgrad. Je stärker ein Baum geschädigt ist, desto instabiler ist sein Zustand. In Altdorf zum Beispiel blieben 53 Prozent der als gesund taxierten Bäume über all die Jahre unverändert, 45 Prozent waren es bei den leicht geschädigten, 23 Prozent bei den mittelstark geschädigten und nur noch 11 Prozent bei den stark geschädigten.

Die Darstellung zeigt den prozentualen Anteil jener Bäume, deren Vitalität im Zeitraum von 1984 bis 1991 konstant geblieben ist, beziehungsweise den Anteil jener Bäume, die sich ein oder mehrmals verändert haben.

Ob und inwiefern die soziale Stellung eines Baumes die Entwicklung seines Gesundheitszustandes beeinflussen kann, ist noch ungeklärt. Das vorhandene Datenmaterial lässt keine gesicherte Aussage zu. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde anfänglich die Schichtzugehörigkeit jedes Baumes bestimmt, jedoch fehlen Angaben über die Entwicklungsstufen, sowie Daten über das nahe Umfeld jedes Baumindividuums, wie beispielsweise Schlussgrad, Bestandesaufbau usw., Faktoren, die notwendigerweise miteinbezogen werden müssten.

Ein nicht unwesentlicher Teil der ursprünglich erfassten Probestämme wurde bis heute genutzt. In Altdorf sind es 14 Prozent, in Flims 20 Prozent und in Zofingen 16 Prozent.

Die Tabelle zeigt den letztmals beurteilten Zustand des Baumes im Jahr bevor er in die Kategorie «nicht mehr vorhanden» fiel, also genutzt wurde.

	Altdorf	Flims	Zofingen
Gesund bis leicht geschädigt	66,6%	36,7%	55,2%
mittelstark geschädigt bis tot	33,4%	63,3%	44,8%

Bei einzelnen Bäumen könnte vor der Nutzung durchaus noch eine Vitalitätsveränderung stattgefunden haben (Insektenbefall u.ä.); sie sind in der Zusammenstellung jedoch nicht berücksichtigt. Die Zahlen stehen im Einklang mit den jährlichen Umfragen über die Art der durchgeführten Nutzungen in den Probestflächen. Während in Flims fast ausschliesslich Zwangsnutzungen erfolgten, fanden in Altdorf und Zofingen neben den Zwangsnutzungen auch mehrere normale waldbauliche Eingriffe statt.

Für präzisere Aussagen wäre eine intensive Kommunikation mit dem örtlichen Forstdienst notwendig. Hierzu fehlen jedoch derzeit die Mittel wie auch die Mitarbeiter.

3 Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz»

1980 erteilte der Bundesrat dem Schweizerischen Nationalfonds den Auftrag, ein Nationales Forschungsprogramm über das Thema «Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz» (NFP 14) durchzuführen. Unter dem Eindruck zunehmender Waldschäden in den Jahren 1982 und 1983, wurde das Programm durch eine Zusatzstudie «Waldschäden und Luftverschmutzung» (NFP 14+) ergänzt. Dem Titel des NFP 14+ folgend, wurde der Schwerpunkt auf die Suche nach Zusammenhängen zwischen Umweltbelastung und Waldschäden gelegt. Im Vordergrund stand die Frage nach der Bedeutung der Luftqualität für den Kronenzustand der Fichten.

Um eine möglichst hohe Informationsdichte und eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden die Untersuchungen fast vollständig auf drei Waldflächen konzentriert; dies ist eine wichtige Voraussetzung, wenn es darum geht, unbekannte Wirkungszusammenhänge aufzudecken. Die Flächen lagen in drei unterschiedlichen Forstregionen, nämlich im Mittelland an der Lägeren (685 m ü.M.), in den Voralpen im Alptal (1185 m ü.M.) und in den Alpen in Davos (1600 m ü.M.). Die ausgewählten Flächen lagen in Gegenden ausserhalb des direkten Immissionsbereichs grösserer und spezieller Luftverschmutzer.

Wie hat sich der Kronenzustand auf den drei Beobachtungsflächen verändert?

In den drei Jahren 1986–88 hat sich der Kronenzustand auf den drei Beobachtungsflächen Lägeren, Alptal und Davos nur geringfügig verändert. Diese Veränderung spielt sich im Falle der Lägeren auf einem niedrigen Nadelverlustniveau ab (Anteil Schadstufen 2 bis 4: 8 bis 7 %). Das Niveau war auf der Fläche Alptal (46 bis 55 %) und auf der Fläche Davos (36 bis 33 %) um einiges höher, lag aber immer noch in einem Bereich, in dem die Abgrenzung gegenüber natürlich vorkommender Kro-

Zusammenfassung und Bewertung der Resultate

Die Resultate aus Versuchen mit Waldbäumen sind in bezug auf eine mögliche Gefährdung durch Luftschadstoffe keineswegs eindeutig. Die einzelnen Arten unterscheiden sich sehr in der Empfindlichkeit. Die Beurteilung und die Bewertung der Ergebnisse sind unsicher. Eine direkte Schädigung der schützenden Wachsschicht bei Fichtennadeln ist nicht wahrscheinlich. Ebenso scheint ein unmittelbarer Einfluss der Luftschadstoffe auf die Photosynthese bei der Fichte nicht zu befürchten zu sein. Methodische Vorbehalte verunmöglichen zur Zeit eine abschliessende Beurteilung.

Die Beobachtungen und Untersuchungen im NFP14+ «Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz» wurden an drei ausgewählten Waldflächen

durchgeführt; es handelt sich also um drei Fallstudien. Eine Übertragung der Ergebnisse auf die jeweilige Grossregion ist problematisch, da es sich um Fallstudien handelt und nicht um eine repräsentative Stichprobenerhebung. Die Beobachtungen während der Jahre 1986–1988 geschahen über eine Zeitdauer, die ca. 1–2% der Lebensdauer einer Fichte darstellt. Es ist nicht zulässig, daraus allgemeingültige Schlussfolgerungen zu ziehen, insbesondere wenn man bedenkt, dass weder der Normalzustand des Untersuchungsobjektes noch die Streubreite des Normalen definiert sind. Versuche mit Waldbäumen (z.B. Begasungsversuche) werden aus praktischen Gründen oft mit Jungpflanzen durchgeführt. Wie gut diese Ergebnisse auf Altbäume zu übertragen sind, ist ungewiss.

nennvariabilität schwerfällt. Gerade im eher schwachen Verlichtungsbereich wird die Interpretation dieser unspezifischen Grösse erschwert. Vergleicht man die Nadelverlust-Anteile auf den Flächen mit den Durchschnittswerten aus der entsprechenden Grossregion, so entsprechen die Werte der Fläche Lägeren gut jenen des Mittellandes. Für die Flächen Alptal und Davos sind die Ergebnisse der Nadelverlustschätzungen deutlich über den Mittelwerten der entsprechenden Grossregionen Voralpen und Alpen (vgl. Abb. 1A-1C).

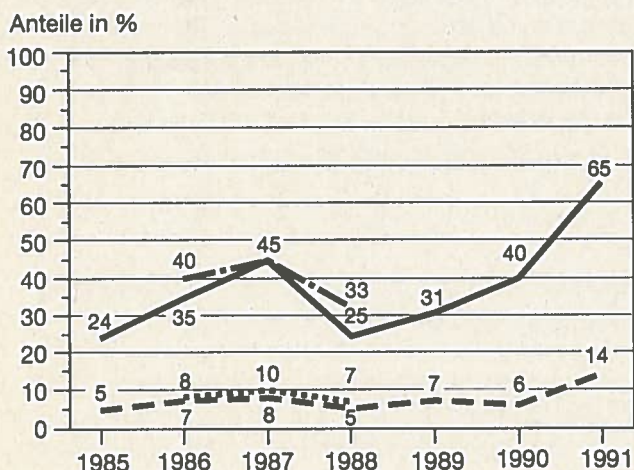
Haben Witterungsextreme den Kronenzustand der Fichten beeinflusst?

Aussagen über die Verfügbarkeit des Bodenwassers für Waldbäume sind nur mit mehrjährigen, kontinuierlichen Messreihen am intensiv instrumentierten Standort möglich. Die grosse Variabilität der Bodenfeuchte eines Standortes, wie sie auf den NFP 14 Beobachtungsflächen und auch auf den neun Flächen des Zürcher Waldschadenprogrammes beobachtet wurde, verunmöglicht einen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Bodenfeuchte oder einen solchen zwischen Nadelverlust und Wasserhaushalt herzustellen. Unter dem

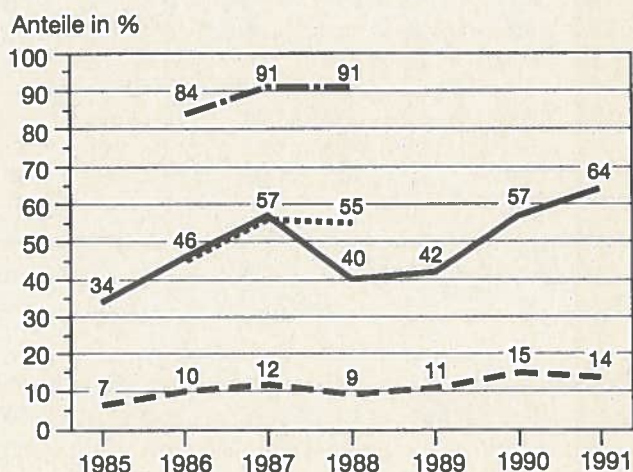
Eine umfassendere, breitere Darstellung der hier aufgeworfenen Fragen findet sich in der Publikation «Luft». Herausgeber: U. Roth; Autoren: W. Jutzi, W. Graber, D. Hornung, M. Stark; Verlag der Fachvereine ETH Zürich, Februar 1992.

Gesichtswinkel der guten Witterungsbedingungen während der Beobachtungsperiode ist dieses Resultat auch verständlich. Auf keiner der Beobachtungsflächen wurde während der Messperiode eine für die Bäume ungenügende Wasserversorgung registriert. Vereinzelt Perioden knapper Wasserversorgung traten zwar auf, dies aber erst gegen Ende der Vegetationsperioden. Weder die kurze Vegetationsperiode von 1986, noch die häufigen Temperaturstürze in den mittleren Lagen während der kalten Jahreszeit 1987 haben offensichtlich physiologische Störungen verursacht.

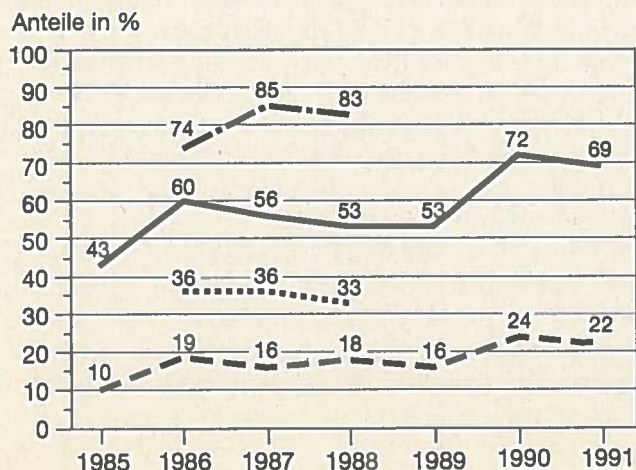
Lägeren - Mittelland



Alptal - Voralpen



Davos - Alpen



Legende:

- Bäume mit Nadel-/Blattverlust von 11 bis 100% (Stufen 1-4) in der jeweiligen Grossregion
- - - Bäume mit Nadel-/Blattverlust von 26 bis 100% (Stufen 2-4) in der jeweiligen Grossregion
- · - · - Bäume mit Nadel-/Blattverlust von 11 bis 100% (Stufen 1-4) auf der jeweiligen NFP 14+ - Beobachtungsfläche
- Bäume mit Nadel-/Blattverlust von 26 bis 100% (Stufen 2-4) auf der jeweiligen NFP 14+ - Beobachtungsfläche

Wie stark sind die Beobachtungsflächen durch Luftschadstoffe belastet?

Die Belastung der Beobachtungsflächen durch Primärschadstoffe (NO , NO_2 , SO_2) ist allgemein gering, ganz besonders gilt dies für das kurzlebige Stickstoffmonoxid auf den Flächen Davos und Alptal. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass entweder keine Verbrennungsabgase (Fahrzeuge, Heizungen) in der Nähe emittiert werden oder dass die Topographie die Standorte abschirmt. Betrachtet man die Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwertes für Schwefel- und Stickstoffdioxid (SO_2 bzw. NO_2) während der Jahre 1987–1989, so wird klar, dass diese beiden Schadgase auf keiner Fläche als primäre Stressoren in Frage kommen können (Tabelle).

Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen der LRV-Tagesgrenzwerte (SO_2 : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; NO_2 : $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$; O_3 : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Lägeren		Alptal		Davos	
	MW	GÜ	MW	GÜ	MW	GÜ
SO_2 : 1987	14	8	4	0	0,5	0
	1988	7	0	3	0	0,5
	1989	6	0	2	0	0,5
NO_2 : 1987	24	3	6	0	4	0
	1988	22	0	7	0	3
	1989	22	4	6	0	3
O_3 : 1987	52	388	69	173	64	19
	1988	58	598	72	292	65
	1989	61	795	76	423	63

MW = Jahresmittelwert; GÜ = Anzahl Überschreitungen der LRV-Tagesgrenzwerte für SO_2 und NO_2 , Stundenmittelwerte für O_3 .

Nur vereinzelte Überschreitungen an der Lägeren weisen auf den Einfluss der angrenzenden Agglomerationen und nahen Verkehrsachsen hin. Die Belastung durch SO_2 bzw. NO_2 an der Lägeren liegt zwar über jener von Alptal und Davos, sie ist aber im Vergleich zu den NABEL¹-Messungen in Agglomerationen und Stadtzentren nicht sonderlich hoch. Die Belastungssituation an der Lägeren kann mit den ländlich gelegenen Stationen Tänikon und Payerne verglichen werden. Betrachtet man die Ozonbelastung auf den drei Versuchsflächen, so fällt auf, dass die Jahresmittelwerte im Vergleich zu jenen Konzentrationen, die in Versuchen mit empfindlicheren Pflanzen, z.B. Rotklee und Pappel, eine Wirkung zeigen, beachtlich hoch erscheinen (Tabelle). Obwohl an der Lägeren die tieferen Jahresmittelwerte gemessen wurden, ist es erstaunlich, wie häufig der Stundenmittel-Grenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten wurde, wobei die Häufigkeit dieser Ereignisse von Jahr zu Jahr klar zunahm. Aufgrund dieser Gegenüberstellung dürfte am ehesten die Ozonbelastung an der Lägeren als ernstzunehmender Stressfaktor für die Vegetation in Frage kommen.

Schädigen Luftschadstoffe die Wachsschicht von Fichtennadeln?

Die Wachsschicht, welche eine Fichtennadel umhüllt, ist für sie ein Schutzfilm gegenüber Trockenheit, Pilz- und Insektenbefall. Luftschadstoffe in Konzentrationen, wie sie auf den Beobachtungsflächen vorkommen, scheinen der Wachsschicht nichts anzuhaben. Für den Zustand der Wachsschicht ist hingegen die Exposition gegenüber der Witterung entscheidend. Höhere, länger einwirkende Ozon-Konzentrationen ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) führen aber im Experiment zu einem Entwicklungsrückstand der Wachsschicht, was zeigt, dass damit verbundene physiologische Prozesse in der Nadel beeinträchtigt werden. Obwohl diese Belastung für das Freiland nicht mehr realistisch ist, weist das Ergebnis auf andere mögliche Wirkungsketten hin.

Nadelverluste und Pilzinfektionen an Fichtennadeln – besteht ein Zusammenhang?

Für den Untersuchungszeitraum 1985–1988 können Infektionen durch Nadelpilze, als mögliche Ursache der beobachteten Nadelverluste bei den Fichten in der Schweiz, mit grosser Sicherheit ausgeschlossen werden. Diese allgemeine Aussage stützt sich auf Untersuchungen an insgesamt 21 über die Schweiz verteilten Orten. Ob in früheren Jahren lokal aufgetretene Epidemien von Nadelparasiten an Nadelverlusten beteiligt waren, wie dies in Süddeutschland 1981–1983 während der grossen Nadelröte-Epidemie beobachtet wurde, kann aus unseren Untersuchungen nicht beurteilt werden.

Beeinflussen Luftschadstoffe die Photosyntheseleistung junger, gesunder Fichtennadeln?

Eine direkte, unmittelbare Wirkung von Luftschadstoffen auf den Gaswechsel von jungen Fichtennadeln lässt sich nach den vorliegenden Resultaten nicht gänzlich ausschliessen, sicher ist aber, dass während des untersuchten Zeitraumes auf beiden Beobachtungsflächen Lägeren und Davos stets die Witterung ausschlaggebend für Nettophotosynthese und Stomataverhalten war. Es konnte gezeigt werden, dass die Photosyntheseaktivität junger Nadeln, die vor ca. 30 Jahren gemessen wurde, sich unwesentlich von den heutigen Messungen unterscheidet. Es kann aber nichts darüber ausgesagt werden, ob die Photosynthese von älteren Nadeln, die über mehrere Jahre den heutigen lufthygienischen Verhältnissen ausgesetzt waren, durch einen chronisch schädigenden Einfluss beeinträchtigt wurde. Sollte dies der Fall sein, so hätte es für die Assimilationsleistung des gesamten Baumes keine allzugrosse Bedeutung, da 80% der Photosyntheseleistung durch die beiden jüngsten Nadeljahrgänge erbracht werden. Es muss angenommen werden, dass die Ozonkonzentrationen in der Messküvette aus methodischen Gründen durchwegs ca. 33% tiefer lagen als in der Umgebungsluft.

Der Grenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemäss Luftreinhalteverordnung wurde deshalb in der Kammer praktisch nie erreicht.

Wie ist die Wirkung von Ozon auf andere Pflanzen und Baumarten im Vergleich zur Fichte?

Am Beispiel von Sommerweizen wurde gezeigt, dass die Photosynthesekapazität durch umweltrelevante Ozonbelastung vermindert und die Blattalterung beschleunigt wird, sowie dass die Assimilationsleistung unter chronischer Belastung absinkt. Zudem hat Ozon auch eine hemmende Wirkung auf Transportprozesse und Umlagerungen von Metaboliten. Es konnte gezeigt werden, dass höhere Ozonkonzentrationen sich auch auf den Metabolismus anderer Pflanzen auswirken. Die Effekte sind hier weniger deutlich und können je nach Pflanzenart sehr unterschiedlich ausfallen. Die beiden empfindlichsten Arten, Pappel und Rotklee, lassen bereits bei Ozonkonzentrationen von $50\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sichtbare Schäden erkennen, die sich als Nekrosen oder als Blattfall manifestieren. Auch bei den empfindlicheren Weisskleearten sind Ozonkonzentrationen, wie sie im Schweizerischen Mittelland während des Sommers oft auftreten, ausreichend, um sichtbare Schädigungen hervorzurufen.

Von den untersuchten Koniferen reagierte die Waldföhre am empfindlichsten. Sie zeigte bereits bei Ozonkonzentrationen von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3 Wochen) sichtbare Schadsymptome und auch Veränderungen von biochemischen Grössen des Primär- und Sekundärstoffwechsels. Eine sichtbare Reaktion der Fichte war erst bei wiederum höheren Konzentrationen von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und über längere Begasungsdauer (10–20 Wochen) festzustellen, obwohl die halbe Konzentration ausreichte, um bei Schutzenzymen im Innern der Fichtennadeln eine deutliche Reaktion hervorzurufen. In demselben Konzentrationsbereich ($200 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$; 6 Wochen) reagierte auch die Buche mit sichtbaren, braunen Nekrosen auf den Blättern. Die Ozonkonzentrationen, die bei der Fichte physiologische Reaktionen verursachten ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lagen im oberen Bereich der im Freiland auftretenden Konzentrationen. Anders verhält sich die Weissstanne, die weder auf der biochemischen noch auf der sichtbaren Ebene auf $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon reagierte. Ozonkonzentrationen von $100\text{--}200 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ sind umweltrelevant hohe Werte. Nicht realistisch hingegen ist die konstante Einwirkungsdauer und andere experimentelle Randbedingungen, so dass die Resultate mit natürlichen Verhältnissen schwer zu vergleichen sind.

Werden niedere Pflanzen wie Flechten durch die heutige Luftverschmutzung geschädigt?

Flechten verfügen über eine spezielle Lebensweise. Dadurch, dass die Nährstoff- und Wasseraufnahme ausschliesslich aus der Luft bzw. den Niederschlägen oder Depositionen erfolgt, welche auf den Flechtenkörper gelangen, ist dieser Organismus bedeutend

empfindlicher gegenüber schadstoffbelasteter Luft, als die meisten anderen Pflanzen. Diese sind über ein Wurzelwerk mit dem Erdreich als einem Puffer verbunden. Es konnten klare Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Flechten und der lufthygienischen Gesamtbelastung nachgewiesen werden. Auch auf der physiologischen Ebene konnten eindeutige Zusammenhänge zwischen den lufthygienischen Verhältnissen, und verschiedenen grundlegenden physiologischen Prozessen wie Photosyntheseintensität und Proteinsynthese nachgewiesen werden. Die schädigende Wirkung von Luftschadstoffen ist bei diesem Organismus leicht nachzuweisen.

Sind übermässige Stickstoffeinträge für ein beschleunigtes Wachstum verantwortlich?

Verglichen mit Durchschnittswerten aus Deutschland, sind die beiden Beobachtungsflächen Davos und Alptal deutlich weniger, Lägeren etwa gleich stark durch Stickstoff-Einträge belastet. Die am wenigsten durch Stickstoff-Eintrag belastete Fläche ist Davos. Hier zeigen die Fichten eine leicht mangelhafte Stickstoff-Versorgung. Die gemäss der Höhenlage sehr tiefe, seit jeher konstante Zuwachsraten deuten darauf hin, dass dieser Bestand keine einschneidenden Veränderungen hinnehmen musste. Eine ebenfalls konstante Zuwachsraten findet man im Alptal. Hier ist die N-Versorgung etwas besser, aber keineswegs übermässig. Bemerkenswert ist der fehlende Alterstrend zu reduziertem Wachstum an beiden Orten, was darauf hinweist, dass andere Faktoren, kaum das Baumalter, das Zuwachsniveau bestimmen. Am besten mit Stickstoff versorgt sind die Fichten an der Lägeren. Gemessen an den Grenzwerten der Waldernährungslehre sind aber auch hier die Nadelgehalte noch unterhalb des optimalen Bereiches. Die Zuwachsraten der Fichten sind da seit Beginn der Sechzigerjahre stark rückläufig. Auf den drei Flächen sind keine Anzeichen einer Stickstoff-Überdüngung festgestellt worden. Ob Stickstoffeinträge über Niederschläge oder Depositionen übermässig sind oder nicht, ist nur für den jeweiligen Wuchsort zu beurteilen. Je nach Bodentyp können gleich grosse Einträge für den Moment gut ausbalanciert werden oder aber ein Gleichgewicht gefährden.

Ist die Bodenversauerung soweit fortgeschritten, dass toxisch wirkende Schwermetalle die Bodenatmung beeinträchtigen?

In den obersten Horizonten des Waldbodens können heute gegenüber dem natürlichen Hintergrund zwei- bis dreifache Gehalte an Kupfer und Blei nachgewiesen werden, wodurch eine Reduktion der bakteriellen Bodenatmung in der Grössenordnung von 7% erwartet werden kann. Eine einschneidende Reduktion des Streuabbaues und damit verbunden eine mangelhafte Freisetzung von Nährelementen ist deswegen noch nicht zu befürchten, und wurde bislang auf den Beobachtungsflächen auch nicht festgestellt.

Führen die Nutzung des Waldes und der Eintrag von Säuren aus der Atmosphäre zu einem Absinken des Boden-pH, und folglich zu Problemen mit der Elementaufnahme?

Ein durch die Bestandesnutzung verursachter Nährstoffverlust ist bei den hierzulande üblichen Nutzungsmethoden nicht von Bedeutung. Eine Beeinträchtigung der Calcium- oder Magnesiumversorgung der Fichten durch Säureeintrag in den Boden scheint an keiner der drei Beobachtungsflächen ein Problem darzustellen. Auf den Flächen Lägeren und Alptal, welche ausreichend mit Calcium versorgt sind, kann Aluminium kaum toxisch werden. In Davos (Podsol), der einzigen Fläche wo das Verhältnis von Calcium zu Aluminium meist in einem ungünstigen Bereich liegt, ist die Versorgung der Fichtennadeln mit Calcium und Magnesium gut. Die z.T. sehr hohen Aluminiumgehalte in den Nadeln der Davoser Fichten sind ein Indiz dafür, dass punktuell die Aluminium-Konzentration in der Bodenlösung sehr hoch sein muss. Die Untersuchungen über die pflanzenverfügbaren Nährelemente in der Bodenlösung zeigen in Davos ein standortbedingtes, sehr knappes Angebot für Kalium, Calcium und Magnesium, das aber für eine ausgeglichene Ernährung der geringwüchsigen Hochlagenfläche ausreicht.

Liegen Mangelsituationen bestimmter Nährelemente vor?

Abgesehen von einzelnen Auffälligkeiten ist die Ernährungssituation auf den NFP-Flächen und auch auf den untersuchten Wuchsorten im Raume Winterthur gut. Akute Mangelsituationen konnten keine festgestellt werden. Die Fichtenkollektive auf den drei Beobachtungsflächen zeigen keine Zusammenhänge zwischen der beobachteten Kronentransparenz und der Nährelementversorgung. Bezieht man das Wachstumsverhalten in diese Betrachtung mit ein, so könnten sich nur die Fichten an der Lägeren in einer kritischen Situation befinden. Hier wäre ein Zusammenhang mit der knappen Magnesiumversorgung denkbar. Der aus Deutschland bekannte Schadtyp der «Montanen Vergilbung», welcher auf eine mangelhafte Magnesiumversorgung auf sauren Böden mit hohem Stickstoffangebot zurückzuführen ist, kann hier nicht beobachtet werden.

Können spezielle Tannenherkünfte die Bestandesvitalität verbessern?

Die vermutete Eigenschaft, dass bestimmte Weiss-tannenherkünfte gegenüber Trockenheit und dadurch auch gegenüber Luftschadstoffen besonders widerstandsfähig sein sollten, konnte nicht gefunden werden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass es bei den untersuchten Herkünften, die allesamt nördlich des Alpenkammes beheimatet sind, keine genetisch fixierte Eigenschaft der Trockenresistenz gibt. Die in diesem Zusammenhang postulierte Widerstandsfähigkeit gegenüber gasförmigen Immissionen wird somit ebenfalls

hinfällig, weil keine der untersuchten Herkünfte über eine speziell fein abgestimmte Spaltöffnungsregulation verfügt, welche neben dem Wasserverlust auch die Schadgasbelastung minimiert hätte.

Konsequenzen für die Forschung

Der Forschung fehlen weitgehend gut aufgearbeitete Langzeitbeobachtungen in Ökosystemen, die es ermöglichen, Beobachtungen einzuordnen, zu bewerten und als problematische Veränderungen zu erkennen.

Für eine Beurteilung der Baumvitalität ist die Nadelverlustschätzung als alleiniges Merkmal nicht ausreichend. Es sind zu viele Faktoren, die sich verschiedenartig auf die Kronendichte auswirken, was die Nadelverlustzahlen zu einer zu wenig aussagekräftigen Grösse macht. Versuche sind möglichst realitätsnah anzulegen, so dass aus den Resultaten auch Erkenntnisse über Prozesse, wie sie in der Natur ablaufen, gewonnen werden können.

Forschungsvorhaben, die sich mit der Komplexität von Ökosystemen auseinandersetzen, haben nur bei einem interdisziplinären Ansatz Aussicht auf Erfolg. Eine solche Arbeitsweise verlangt kommunikationsfähige und zur Teamarbeit fähige, respektive gewillte Forscher. Der isoliert arbeitende Spezialist kann bei solchen Problemstellungen wenig einbringen. Verbessert werden könnte dies durch eine starke Aufwertung der übergreifenden, interdisziplinären Arbeitsweise.

Konsequenzen für die Politik

Die Resultate verlangen eine konsequente Weiterführung, bzw. Verschärfung der Luftreinhaltepolitik aus folgenden Gründen:

Für gewisse Pflanzenarten ist eine schädigende Wirkung der heutzutage anzutreffenden lufthygienischen Situation, vorab der Ozonbelastung, nachgewiesen. Zu erwähnen sind Flechten, Weissklee- und Rotkleesorten, Sommerweizen und Pappel.

Aufgrund von Ergebnissen ausländischer Fallbeispiele, wo Immissionen bereits Prozesse in Gang gesetzt haben, die auf lange Sicht die Böden verarmen lassen und die Grundwasserqualität nachhaltig beeinträchtigen, stellen die Immissionen ein ernstzunehmendes Gefährdungspotential dar. Je sensibler ein Ökosystem ist, man denke an Hochlagenstandorte, desto eher sind irreversible Reaktionen zu erwarten.

4 Waldschäden 1990 in Europa

Im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung hat die Arbeitsgruppe «Erfassung und Überwachung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Wälder in Europa» 1991 zwei Berichte veröffentlicht: einen ersten über die Ergebnisse der Waldschadeninventuren 1990 in Europa, den zweiten über eine Synthese der Kenntnisse zu den Ursachen der Waldschäden.

Beobachtung von mehr als 250 000 Bäumen

25 Länder aus West- und Osteuropa haben 1990 eine Waldschadeninventur durchgeführt. Die systematischen Beobachtungen in diesen Ländern decken etwa 70 Prozent der 173 Millionen Hektaren des europäischen Waldes ab. Eine einheitliche Beobachtungsmethode ermöglicht einen Vergleich der Ergebnisse.

Der gegenwärtig einzig einsetzbare Massstab zur Beurteilung des Gesundheitszustandes eines Baumes ist die Schätzung des Blatt- oder Nadelverlustes, d.h. der Verlichtung der Krone. Deshalb wurde ein Photo-buch erstellt, das im Rahmen des Schweizer SANASILVA-Programmes durch die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf veröffentlicht wurde. Das in vielen europäischen Ländern angewandte Buch gibt den Beobachtern Referenzwerte an, dank denen sie den Kronenzustand beurteilen können.

In jenen Ländern, welche eine Waldschadeninventur durchführen, werden die Blatt-/Nadelverluste für mehr als 250 000 Bäume in 5%-Klassen geschätzt. Nach Meinung der Experten können Kronenverlichtungen von 25% Blatt-/Nadelverlust und weniger (Schadstufen 0 und 1) der natürlichen Variabilität zugeschrieben werden. Weil die Entwicklung der Schadstufen 2 bis 4 den Schadenumfang auf regionaler und lokaler Ebene widerspiegelt, wird ihr grosse Beachtung geschenkt (siehe Tabelle im Beitrag «Ergebnisse der Waldschadeninventur 1991» auf Seite 16).

Auch mit harmonisierten Beobachtungsmethoden müssen direkte Vergleiche zwischen den einzelnen Ländern sehr sorgfältig vorgenommen werden. Einer der Gründe, welche zur Vorsicht zwingen, ist die extreme Diversität der natürlichen Bedingungen in Europa sowie die grosse Mannigfaltigkeit der menschlichen Einflüsse auf den Wald. Der Gesundheitszustand einer Lärche oberhalb 2000 Meter über Meer in der Schweiz,

einer Korkleiche in Portugal oder einer Fichte an der Ostsee ist von verschiedenen natürlichen Bedingungen und menschlichen Einflüssen geprägt.

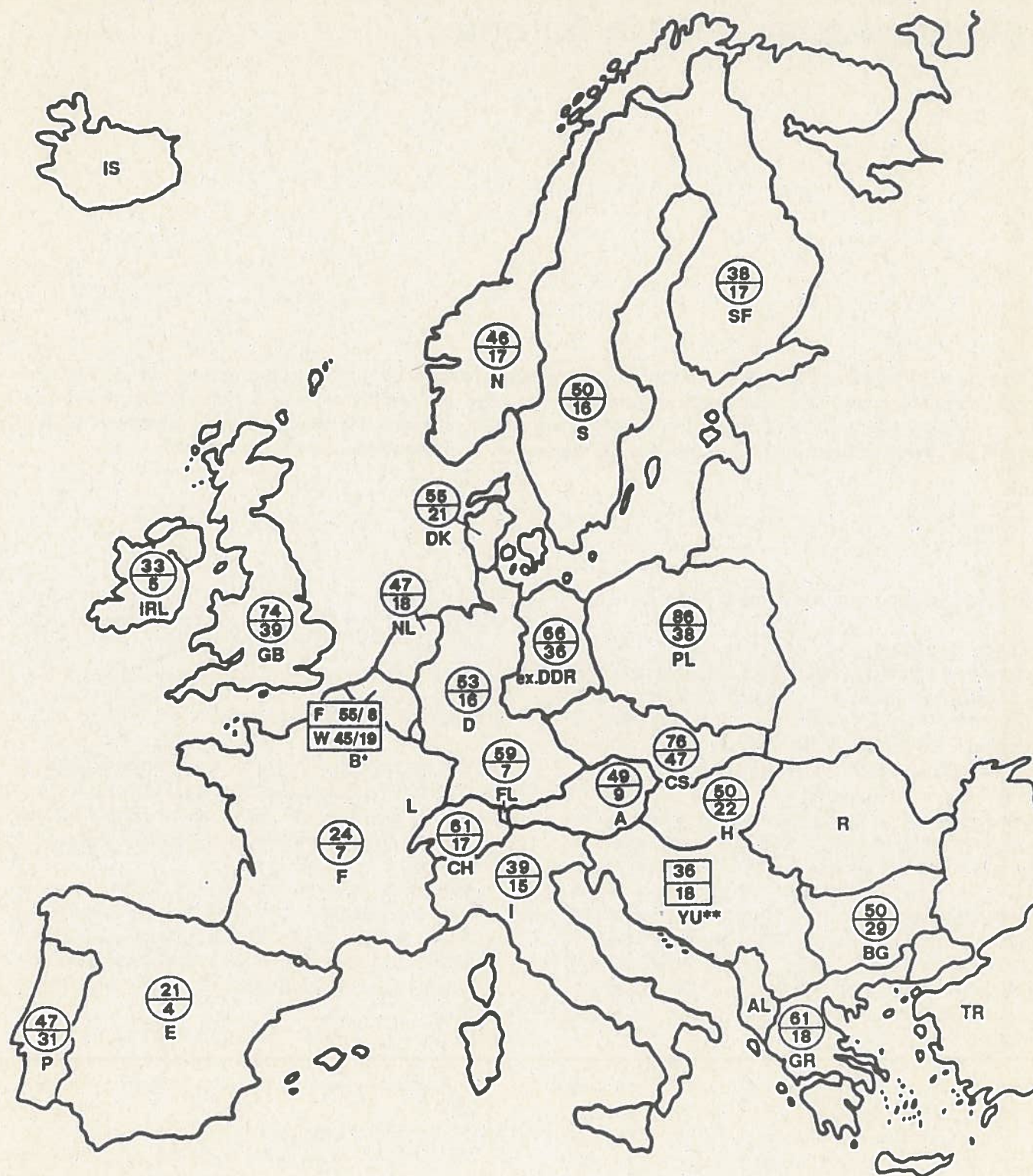
Ergebnisse der Inventur

Mit der notwendigen Vorsicht beim direkten Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Länder, ist es mit den Resultaten der Inventur 1990 möglich, Regionen oder Länder mit unterschiedlicher Schadenintensität auszu-scheiden:

- Länder mit sehr grossen Waldschäden (mehr als 30% der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4, alle Baumarten, in abnehmender Reihenfolge): Weiss-russland, Tschechoslowakei, Vereinigtes Königreich, Polen, Lettland, Deutschland (östlicher Teil), Portugal.
- Länder mit grossen Waldschäden (mehr als 20% Bäume in den Schadstufen 2 bis 4): Bulgarien, Italien (Toskana), Kaliningrad-Region, Ungarn, Dänemark, Litauen.
- Länder mit mittelschweren Waldschäden (zwischen 10 und 20% der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4): Belgien-Wallonien, Jugoslawien (Slowenien), Niederlande, Griechenland, Finnland, Norwegen, Schweiz, Schweden, Deutschland (westlicher Teil), Italien.
- Länder mit wenigen Waldschäden (weniger als 10% der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4): Österreich, Belgien-Flandern, Frankreich, Italien (Bozen), Ukraine, Spanien.

Der Vergleich der Ergebnisse der Inventur 1990 mit jener von 1989 zeigt folgende Entwicklung des Gesundheitszustandes der europäischen Wälder:

- mässige Zunahme (mehr als plus 10%) der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4:
Nadelbäume: Tschechoslowakei, Portugal, Deutsch-



Nationale Inventuren

- 38 Anteil Bäume in den Schadstufen 1-4 (%)
17 Anteil Bäume in den Schadstufen 2-4 (%)

Regionale Inventuren

- 36 Anteil Bäume in den Schadstufen 1-4 (%)
18 Anteil Bäume in den Schadstufen 2-4 (%)

*B: Wallonien/Flandern

**YU: Slowenien

Ergebnisse der Waldschadeninventuren 1990 in Europa.

Anteile der Schadstufen 1 bis 4 (inklusive «Warnstufe») und 2 bis 4 (nur Stufen «mittelstark geschädigt» und «stark geschädigt oder abgestorben»), alle Baumarten (Ausnahmen: nur Nadelbäume in Irland und in Liechtenstein).



Ergebnisse der Waldschadeninventuren 1990 in der Sowjetunion.

Anteile der Schadstufen 1 bis 4 (inklusive «Warnstufe») und 2 bis 4 (nur Stufen «mittelstark geschädigt» und «stark geschädigt oder abgestorben»), alle Baumarten (Ausnahme: nur Nadelbäume in Estland). Inventuren wurden ebenfalls in den Regionen Murmansk, Arkhangelsk und Sankt Petersburg durchgeführt. Die entsprechenden Prozentzahlen sind noch nicht bekannt.

land (östlicher Teil), Vereinigtes Königreich, Ungarn. Laubbäume: Deutschland (östlicher Teil), Portugal, Weissrussland.

- leichte Zunahme (zwischen plus 5 und plus 10%) der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4:
Nadelbäume: Polen, Schweiz.
Laubbäume: Ungarn, Griechenland, Polen, Vereinigtes Königreich, Italien (Bozen), Schweiz.
- leichte Abnahme (zwischen minus 5 und minus 10%) der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4:
Nadelbäume: Estland, Irland, Liechtenstein, Dänemark.
Laubbäume: kein Land.
- mässige Abnahme (minus 10% und mehr) der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4:
Nadelbäume: Weissrussland, Kaliningrad-Region.
Laubbäume: kein Land.

Beobachtet man die Entwicklung des Gesundheitszustandes der verschiedenen Baumarten, fällt die gleiche, generelle Tendenz zur Verschlechterung auf. Die meisten Länder melden eine Zunahme der Bäume in den Schadstufen 2 bis 4 für folgende Baumarten: Fichte, Tanne, Föhre und Buche. Für die Eiche, die am stärksten geschädigte Baumart, ist die Entwicklung unterschiedlich: Verbesserung des Zustandes in sechs, Verschlechterung in drei Ländern.

Entwicklung 1986 bis 1990:

Trend zur Zunahme der Waldschäden

Viele Länder erfassen seit Anfang der achtziger Jahre den Gesundheitszustand ihrer Wälder. Die Arbeitsgruppe für die Erfassung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Wälder hat ihre Harmonisierungsarbeit 1985 in Angriff genommen. Zur Zeit liegen zahlenmässige Ergebnisse für acht Länder oder Regionen für die Zeitspanne 1986–1990 und für neun Länder oder Regionen für diejenige zwischen 1987 und 1990 vor.

Aus diesem Grund ist es aufschlussreich, die Entwicklung der Waldschäden während einer längeren Periode, die 4 oder 5 Inventuren umfasst, zu betrachten. Eine jährliche Schwankung der Kronenverlichtungen sollte nicht individuell beurteilt werden, sondern im Rahmen der chronologischen Serie der seit 1986 durchgeführten Waldschadeninventuren.

Es lässt sich ein allgemeiner Trend zur Zunahme der als Blatt-/Nadelverluste manifesten Waldschäden feststellen.

Eine starke jährliche Zunahme der geschädigten Bäume (durchschnittlich mehr als 5% pro Jahr, Schadstufe 2 bis 4) wurde in folgenden Ländern beobachtet:

- Nadelbäume: Bulgarien, Tschechoslowakei, Deutschland (östlicher Teil), Belgien-Wallonien, Vereinigtes Königreich und Finnland.
- Laubbäume: Deutschland (östlicher Teil).

Bedeutende Zunahmen (zwischen 2 und 5% mehr geschädigte Bäume pro Jahr) wurden gemeldet aus:

- Nadelbäume: Jugoslawien, Italien (Bozen), Ungarn, Schweden, Irland, Luxemburg und Belgien-Flandern.
- Laubbäume: Italien (Bozen), Bulgarien, Luxemburg, Dänemark, Vereinigtes Königreich, Ungarn, Finnland.

Diesen Verschlimmerungen steht nur die bedeutende Verbesserung des Zustandes der Laubbäume in Spanien gegenüber.

In allen anderen Ländern betragen die Änderungen des Anteils Bäume in den Schadstufen 2 bis 4 im Maximum plus oder minus 2% jährlich. Auch wenn dies nicht unerheblich ist, hat diese Entwicklung wenig Bedeutung gegenüber den jährlichen Fluktuationen. Bei einer schwachen, aber ausdauernden Verschlechterung kann sie jedoch Besorgnis erregen und zeigen, dass die Beobachtung des Gesundheitszustandes des Ökosystems Wald langfristig erfolgen muss.

Schadenursachen: Die Rolle der Luftverschmutzung

Der zweite Bericht der Arbeitsgruppe «Erfassung und Beobachtung der Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Wälder in Europa» stellt eine Synthese der aktuellen Kenntnisse über die Ursachen der Waldschäden dar.

Die Synthese befasst sich vor allem mit der Rolle der Luftverschmutzung beim Phänomen «Waldsterben». Der Auftrag an die Exekutivbehörde der Konvention über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverschmutzung lautete in diesem Sinne.

Die Arbeitsgruppe formulierte die 13 untenstehend aufgeführten Schlussfolgerungen. Die Rolle der biotischen (z.B. Insekten) oder der abiotischen (z.B. Boden, Klima) Faktoren im Ursachenkomplex ist in diesen Schlussfolgerungen nicht explizit erwähnt; sie darf aber nicht verschwiegen werden. (Auszug aus der Synthese des Berichtes über die Ursachen-/Wirkungsbeziehungen im Phänomen «Waldsterben», veröffentlicht von der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen, 1991)

1. Das Phänomen «Waldsterben» hat vermutlich Auswirkungen, welche weiter reichen als lediglich auf die Holzproduktion. Der Wald übt grundlegende Funktionen aus (z.B. Erhalt der genetischen Vielfalt, Lebensraum für Fauna und Flora, Landschaftsschutz, Erholung). Er hat eine wichtige Rolle im Wasserhaushalt, und jede Störung wird Änderungen der hydrologischen Prozesse und des Wasserkreislaufes bewirken. In Gebirgsregionen könnte dadurch die Stabilität der Hänge gefährdet werden. Dabei sind doch Lawinen- und Rutschverbauungen teuer und oft schwer zu verwirklichen. Zudem ha-

ben Wälder einen nicht zu unterschätzenden ästhetischen Wert, welcher bei der Abschätzung der entstandenen Schäden zu berücksichtigen ist.

2. Beim Phänomen «Waldsterben» handelt es sich nicht um ein einheitliches Problem; es können mannigfaltige Einwirkungen beobachtet werden, wobei einige räumlich begrenzt und durch spezifische Symptome geprägt sind. In vielen Fällen ist das «Waldsterben» baumarten- und standortspezifisch.
3. Die Angaben über den Umfang der Kronenverlichtungen und -verfärbungen, welche auf nationaler Ebene erfasst werden, genügen nicht, um Schlüsse zu den Auswirkungen der Luftverschmutzung auf den Zustand der Wälder zu ziehen. Die in Europa angewandten Beobachtungs- und Überwachungsmethoden liefern in diesem Zusammenhang ein gutes Bild, sind aber zur Klärung des Ursachen-/Wirkungs-Komplexes ungeeignet.
4. Die Luftqualität und die Immissionen verändern sich zeitlich und räumlich. Gebiete, welche Waldschäden aufweisen, sind unterschiedlichen Konzentrationen von Schadstoffen ausgesetzt. Zudem ist der Einfluss eines Schadstoffes nicht überall gleich.
5. Die Schadstoffe wirken nicht einzeln. Oft sind an einem Ort verschiedene Schadstoffe anzutreffen. Ihr Zusammenwirken kann andere Wirkungen haben als die gleiche Konzentration jedes einzeln wirkenden Schadstoffes (Synergismus).
6. Das Ausmass der Depositionen an Schadstoffen ist im Wald grösser als im offenen Feld. In gewissen Fällen können die Depositionen mindestens dreimal höher sein.
7. Der direkte Einfluss der Luftverschmutzung hat, ausser in Zentraleuropa, vermutlich im Phänomen «Waldsterben» nicht die wichtigste Rolle gespielt, auch wenn er der wichtigste Faktor auf regionaler Ebene sein könnte. Der direkte Einfluss gewisser Schadstoffe hat die Empfindlichkeit der Bäume gegenüber anderen Stressfaktoren wahrscheinlich erhöht. Jedoch werden seit einigen Jahren die direkten Einflüsse des Ozons als zusätzlichen potentiellen Stressfaktor für Bäume betrachtet, welche ozonempfindlich sind.
8. Der indirekte Einfluss in Form von sauren Depositionen ist mit zahlreichen Fällen von beobachteten Schäden in Verbindung gebracht worden. Die Schwefel- und Stickstoffimmissionen haben die Böden übersauert; dabei wurde die Freisetzung des Aluminiums gefördert. Dieses hat in einigen Fällen ökotoxische Konzentration erreicht. Die Bodenversauerung wurde von einem Verlust an basischen

Kationen begleitet; das so entstandene, manchmal grossräumige Ungleichgewicht in der Baurnährung hat häufig zu Nadel- und Blattverfärbungen geführt.

9. Die indirekten Einflüsse hoher Ozonkonzentrationen könnten in weiten Gebieten Westeuropas eine vorzeitige Alterung der am häufigsten vorkommenden Baumarten auslösen; dabei werden die Bäume gegenüber anderen Stressfaktoren (Schädlinge, Klima, Boden) empfindlicher. Von allen, auch in den entlegensten Waldgebieten erfassten Schadstoffen, ist Ozon jene mit der grössten Phytotoxizität, bei gleicher Konzentration und Dauer der Exposition.
10. Stickstoffdepositionen auf Böden und auf oberirdischen Bestandteilen von Pflanzen spielen bei vielen Fällen von Waldschäden eine Rolle. Das grössere Stickstoffangebot fördert das Wachstum und den Bedarf an Nährstoffen. Falls diese fehlen, kann ein Mangel entstehen. Zudem kann in gewissen Fällen die Zunahme der Stickstoffdepositionen mit einer grösseren Empfindlichkeit gegenüber Frösten und einer verminderten Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingen (vor allem Insekten und Pilzen) verbunden sein.
11. Es wurde bis jetzt keine generelle Abnahme der Wuchsleistung der europäischen Wälder festgestellt, auch wenn eine gewisse Verlangsamung auf lokaler oder regionaler Ebene beobachtet wurde. Viele Erscheinungsformen des Phänomens «Waldsterben» können zur Zeit nicht mit einer Wachstumsverminderung verbunden werden.
12. Die Vorhersagen bezüglich Klimaveränderung lassen grosse Sorgen aufkommen, da seit langer Zeit bekannt ist (das haben neueste Forschungen ebenfalls belegt), dass Wälder empfindlicher gegenüber ausserordentlichen klimatischen Ereignissen geworden sind. Es ist durchaus möglich, dass die Luftverschmutzung diese Empfindlichkeit gesteigert hat und dass das Zusammenwirken zwischen Klimaveränderung und Luftverschmutzung neue Phasen von Waldsterben auslösen könnte.
13. In vielen Regionen gefährdet die Luftverschmutzung die langfristige Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung. Diese Regionen sind bekannt, und es darf keine Anstrengung zur Reduktion der Luftverschmutzung unterlassen werden. Anderswo ist die Rolle der Luftverschmutzung weniger anschaulich, sie stellt jedoch einen Stressfaktor für den Wald dar.

