Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 136 (1985)

Heft: 4

Artikel: Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984

Autor: Schmid-Haas, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-764469

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 21.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

136. Jahrgang April 1985 Nummer 4

Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984[1]

Von *Paul Schmid-Haas*
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

Oxf.: 48:561.24: (494)

1. Einleitung

Seit bald dreissig Jahren sind einige Standorte des Juras und des Mittellandes von einem Weisstannensterben betroffen. Diese Schäden haben langsam und stetig zugenommen. Daneben gibt es seit vielen Jahren einige wenige eng begrenzte Gebiete, in denen auch andere Baumarten geschädigt wurden und teilweise abstarben. Hier ist der Zusammenhang zwischen dem Schadstoffemittenten und dem meist kleinen Schadengebiet im allgemeinen offensichtlich. 1981 wurden erste Beobachtungen von aussergewöhnlichen Nadelverlusten an Fichten und Föhren gemacht. Bis vor drei Jahren gab es in der Schweiz aber noch kein Phänomen, das man als Waldsterben hätte bezeichnen können. Verbreitet auftretende neue Schäden wurden erst 1983 beobachtet. Im Herbst 1983 wurde deshalb eine Umfrage in allen Forstrevieren der Schweiz durchgeführt. Sie hat gezeigt, dass bereits etwa 14 % aller Waldbäume kränkelnd oder krank waren (1).

Um für das ganze Land einheitliche und möglichst objektive Angaben über den Gesundheitszustand des Waldes und seine Veränderung zu erhalten, wurde beschlossen, die Landesforstinventur ab 1984 durch eine periodisch zu wiederholende Waldschadeninventur zu ergänzen.

Die Sanasilva-Waldschadeninventur soll nur Resultate für die ganze Schweiz und grössere Regionen, nicht aber für die einzelnen Kantone liefern. Hingegen muss die Inventur in der Lage sein, Veränderungen im Gesundheitszustand relativ kurzfristig zu erfassen.

Das Bundesamt für Forstwesen und die Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen haben im Einvernehmen mit der Kantonsoberförsterkonferenz den allgemeinen Rahmen ausgearbeitet. Eine vorbereitende Kommission aus Fachleuten der Abteilung für Forstwirtschaft der ETHZ und der forstlichen Versuchsanstalt hat im Januar 1984 weitere Grundsätze festgelegt. Weil die Zeit

[1] Vortrag vom 4. Februar 1985 im Rahmen der forst- und holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH Zürich.

sehr knapp war und deshalb die Planung und Organisation der Aufnahmen grosse Probleme stellte, wurden die Aufnahmen für 1984 auf den öffentlichen und durch Strassen erschlossenen Wald beschränkt. Das Verfahren sollte in seinem methodischen Ansatz erlauben, die Inventur später auf das gesamte Waldareal auszudehnen. Um den Arbeitsaufwand in Grenzen zu halten, wurden ferner nur die allerwichtigsten Merkmale erfasst und die Probeflächen stark geklumpt.

Von allem Anfang an war vorgesehen, die Waldschadeninventur aufgrund der ersten Erfahrungen aus der Erhebung 1984 weiterzuentwickeln, die Aufnahmen auf die gesamte Waldfläche der Schweiz auszudehnen und die Methode unter Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse neuen Erkenntnissen anzupassen.

2. Aufnahmemethode

Der Wunsch nach streng repräsentativen Angaben über die Waldschäden führt zur Wahl eines Stichprobenverfahrens mit in einem systematischen Netz ausgelegten Probeflächen. Um in vorgegebener Zeit möglichst viele Probeflächen und Bäume erfassen zu können, werden mit Vorteil mehrere Probeflächen in Trakte zusammengefasst. In einem Rasternetz von 4 km x 4 km sind daher Trakte zu je acht permanenten Probeflächen ausgelegt worden, sofern die jeweiligen Rasterpunkte im öffentlichen und durch Strassen erschlossenen Wald liegen.

Die Trakte bestehen aus 8 in einem Rechteck von 200 x 300 m angeordneten Kreisflächen mit einem Radius von 12,62 m. In der Ebene ergibt das Probeflächen von 500 m², im geneigten Gelände reduziert sich diese Fläche mit dem Cosinus der Hangneigung. Damit kann der Anteil der unproduktiven Arbeitszeiten, die dem Aufsuchen der Probeflächen im Gelände dienen, auf ein vernünftiges Mass reduziert werden. Zudem erleichtert das Traktsystem die Kombination der terrestrischen Erhebung mit einer Luftbild-Stichprobenerhebung. Wichtig ist, dass die Probeflächen so angelegt sind, dass sie wieder aufgefunden und dass die gleichen Bäume immer wieder angesprochen werden können. Auf diese Weise kann die Entwicklung des Gesundheitszustandes viel genauer verfolgt werden, als wenn jedesmal neue Probeflächen und andere Bäume taxiert würden.

Fällt das Zentrum einer Probefläche in einen Jungwald, so wird der Gesundheitszustand nur generell angesprochen. Wenn das Probezentrum hingegen in einem Bestand mit einem Oberdurchmesser von mindestens 25 cm liegt, wird der Gesundheitszustand jedes einzelnen Baumes ab einem Brusthöhendurchmesser von 20 cm taxiert. Die Probebäume werden dauerhaft numeriert. Die Nummer zeigt in die Anspracherichtung, so dass wiederkehrende Ansprachen mit früheren exakt vergleichbar sind.

Die Waldschäden lassen sich vor allem an der Verlichtung der Baumkronen erkennen. Daher wird jede Baumkrone mit dem Feldstecher genau beobachtet und der relative Blatt- oder Nadelverlust in Prozenten des Kronenvolumens eines vollständig gesunden Baumes geschätzt. Zum Vergleich dienen dabei gesunde Bäume der gleichen Baumart und des gleichen Standortes. Mit Hilfe des Blatt- oder Nadelverlustanteils und einer allfälligen Vergilbung werden die Bäume bei der Auswertung nach deutschen Normen (2) den Schadstufen gesund, schwach, mittelstark oder stark geschädigt respektive abgestorben zugeordnet. Die übrigen, zusätzlich erhobenen Einzelbaum- und Probeflächenmerkmale kommen bei der Analyse der Resultate zur Sprache.

Von März bis Juni 1984 wurde die Aufnahmemethode entwickelt und erprobt. Insbesondere wurde dabei die an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg ausgearbeitete Methode der Ansprache der Baumkronen intensiv eingeübt. Die Durchführung der eigentlichen Inventur auf 371 Trakten fiel in die Monate Juli, August und September. Dabei wurden 27 000 Bäume in 1914 Probeflächen individuell angesprochen und weitere 565 Jungwaldflächen generell taxiert. Regelmässig wurden mit allen Taxatoren gemeinsame Übungen durchgeführt. 4 der insgesamt 20 im Aussendienst tätigen Mitarbeiter suchten bereits aufgenommene Probeflächen erneut auf und kontrollierten alle Angaben. Damit konnte sichergestellt werden, dass alle Aufnahmeequipen gleich taxiert haben und die Resultate innerhalb unseres Landes und mit denjenigen in der Bundesrepublik vergleichbar sind.

Die Kantone Fribourg, Bern und Aargau haben zusätzlich nach dem gleichen Verfahren Trakte im privaten und im unerschlossenen Wald aufgenommen. Ihre Ergebnisse werden im folgenden teilweise mitbenützt. Auch der Kanton Zürich hat eine sehr ähnliche Erhebung durchgeführt, wobei Einzelstichproben statt Trakte erfasst wurden.

Ein objektives und quantitatives Mass für den Gesundheitszustand des Baumes ist sein Zuwachs (3). Daher wurden an je einem Nadelbaum pro Probefläche ein Bohrspan entnommen und an je 5 Probebäumen genaue Durchmessermessungen für zukünftige Zuwachsermittlungen vorgenommen. Die Auswertung der Zuwachs- und Altersermittlungen wird allerdings erst später erfolgen.

Verdankungen. Bei vielen Problemen haben uns unsere deutschen Kollegen, insbesondere die Herren Schöpfer und Schröter aus Freiburg i.Br. sowie Franz, Kennel und Schreyer aus München uneigennützig beraten. Wertvolle Hilfe haben wir auch von den kantonalen Forstdiensten, von vielen Kollegen an der ETH Zürich, an der Meteorologischen Anstalt und an der Versuchsanstalt erhalten. Die Auswertungen erfolgten teilweise mit Hilfe der Programme der Abteilung Landesforstinventar und mit Dateien, welche die Gruppe für Datenverarbeitung für diesen Zweck erstellt hatte. Meine Mitarbeiter haben sich ausnahmslos voll für diese wichtige Aufgabe eingesetzt. Nur so war es möglich, die vielfältigen Probleme einigermassen zu bewältigen und die Arbeiten innerhalb eines Jahres weitgehend abzuschliessen. Allen sei an dieser Stelle herzlich für ihren Beitrag gedankt.

3. Allgemeine Schadensituation und bisherige Entwicklung

Die von uns anderweitig bereits veröffentlichten Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1984 dürften weitgehend bekannt sein (4), (5). Daher soll hier nur gerade das allerwichtigste wiederholt werden.

Bäume mit mehr als 10 Prozent Nadel-/Blattverlust gelten nach der in Deutschland ausgearbeiteten Norm als geschädigt. Bei der Berechnung von relativen Häufigkeiten werden die Bäume, ebenfalls nach deutschem Vorbild, mit den Stammgrundflächen gewichtet. Insgesamt sind nach dieser Definition 34 % aller taxierten Bäume geschädigt. Mässig und stark geschädigte Bäume mit einem Nadel-/Blattverlust von mehr als 25 % sind hingegen noch relativ wenig häufig (8 %). Bisher bekannte, am einzelnen Baum erkennbare Ursachen können die heute auftretenden Schäden nur zum kleinsten Teil erklären. Werden alle diese Bäume in der Schadenstatistik weggelassen, beträgt der Anteil der geschädigten Bäume noch 32 % statt 34 %.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Baumarten sind gross. Von den häufigsten acht Baumarten ist die Föhre mit 53 % geschädigter Bäume am schwersten betroffen, gefolgt von der Tanne mit 39 %, der Lärche mit 36 %, der Fichte mit 35 % und der Eiche mit 30 %. Den niedrigsten Anteil geschädigter Bäume finden wir bei Ahorn und Esche (17 %). Die Buche nimmt mit 25 % eine mittlere Stellung unter den Laubbäumen ein *(Tabelle 1)*.

Tabelle 1. Anteile geschädigter Bäume* und Mittelwerte des Blattverlustes.

Baumart	*Geschädigte Bäume* %	*Standard-fehler* %	*Mittlerer Blattverlust* %	*Standard-fehler* %
Fichte	35	1	11,0	0,3
Tanne	39	2	12,7	0,5
Föhre	53	5	18,2	1,7
Lärche	36	5	11,9	1,2
Buche	25	2	8,2	0,3
Eiche	30	7	9,1	1,0
Ahorn	16	5	6,1	1,3
Esche	17	6	7,7	1,5
Alle Baumarten	34	1	11,2	0,2

Mit der Stammgrundfläche gewichtet

Die Schäden sind in der ganzen Schweiz vorhanden, mit Schwerpunkten in den inneralpinen Tälern und den höheren Lagen sowie einer tendenziellen Zunahme der Schäden von West nach Ost *(Abbildung 1)*. Der Jungwald (Bestände mit einem Oberdurchmesser < 25 cm) konnte noch auf einer Fläche von 84 % als gesund angesprochen werden.

Beängstigend ist nicht so sehr die gegenwärtige Lage, als viel mehr die ausserordentlich rasche Entwicklung des Waldsterbens in der Schweiz und in

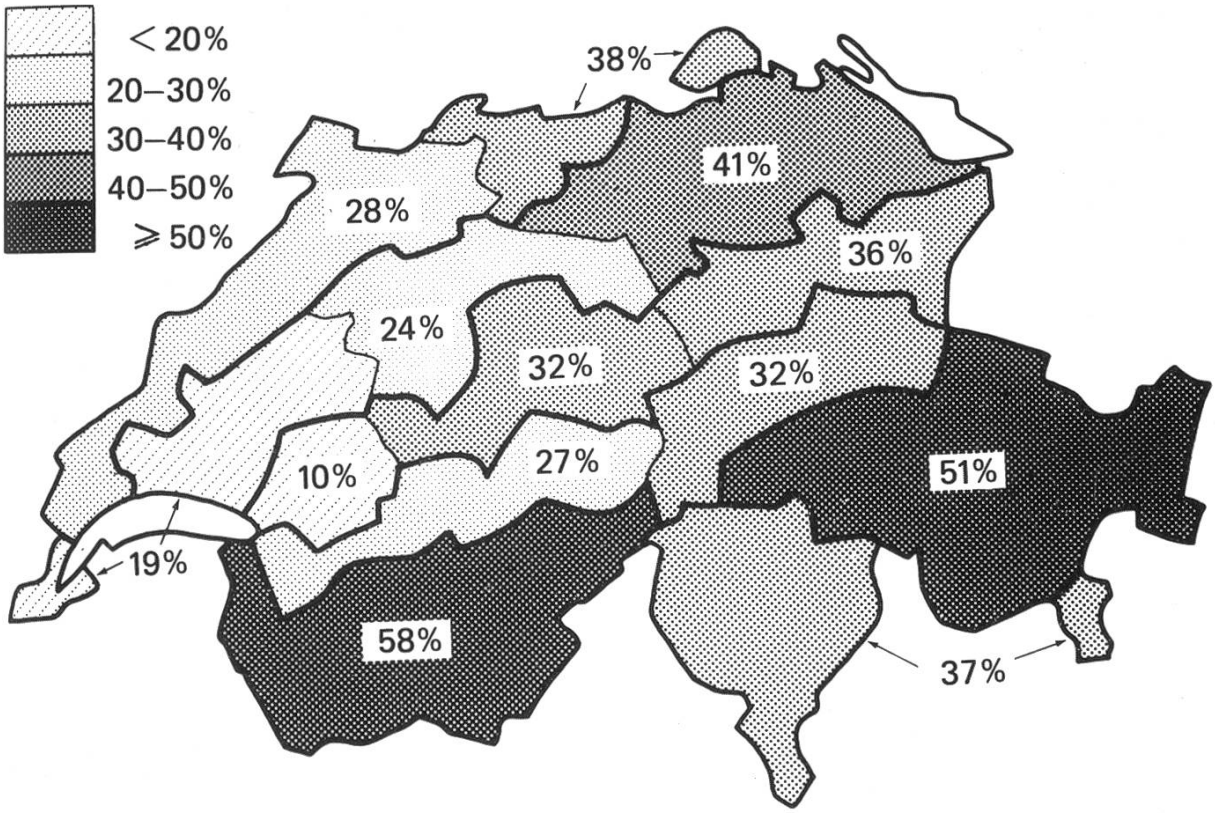


Abbildung 1. Prozentuale Anteile der geschädigten Bäume in den Forstregionen, für alle Baumarten (gewichtet nach der Stammgrundfläche).

Deutschland. In der Schweiz hat sich der Anteil der geschädigten Nadelbäume (ohne Lärchen) innerhalb eines Jahres mehr als verdoppelt, wenn mit den Resultaten des Landesforstinventars 1983 (6) oder der Sanasilva-Umfrage (1) verglichen wird. In Bayern und Baden-Württemberg, wo die Waldschäden früher als in der Schweiz, aber nicht vor 1980 eingesetzt haben (7), sind 1984 bereits 50 % bis 70 % der Bäume geschädigt, und der Anteil der mässig oder stark geschädigten Bäume steigt rasch an *(Abbildung 2)*. In den nördlichen Bundesländern ist das Schadenausmass ähnlich wie in der Schweiz (8). Auch in den Niederlanden ist 1984 eine nationale Waldschadeninventur durchgeführt worden (9). Sie hat $50^1/_2$% vitale und $49^1/_2$% in ihrer Vitalität herabgesetzte Waldflächen ausgewiesen. In Schweden (10), sind nach skandinavischer Norm im Süden

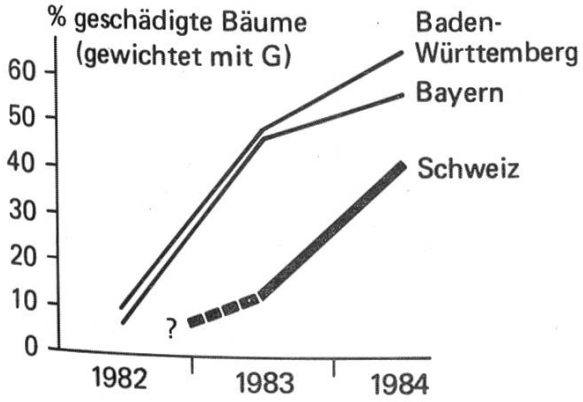


Abbildung 2. Die Entwicklung der Waldschäden in der Schweiz, in Bayern und Baden-Württemberg. Die Werte für die Schweiz beschränken sich auf die immergünen Nadelbäume in den 1983 durch die Landesforstinventur erfassten Landesteilen.

20 % und im Norden 40 % der Bäume geschädigt. In Mittel- und Südnorwegen sind in den 1984 erfassten Bezirken zwischen 10 und 50 % der Bäume leicht bis stark geschädigt (11). In Polen sind gemäss Waldschadeninventur 1983 durchschnittlich 22 % aller Bäume krank, wobei dieser Anteil in den Forstdirektionen zwischen 6 % und 55 % schwankt (12). Starke Waldschäden werden auch aus den Vogesen, den Ardennen, aus Österreich, der Tschechoslowakei und der DDR gemeldet, doch sind mir aus diesen Gebieten keine vergleichbaren Resultate von Inventuren bekannt.

4. Analyse des Gesundheitszustandes

4.1 Allgemeine Bemerkungen

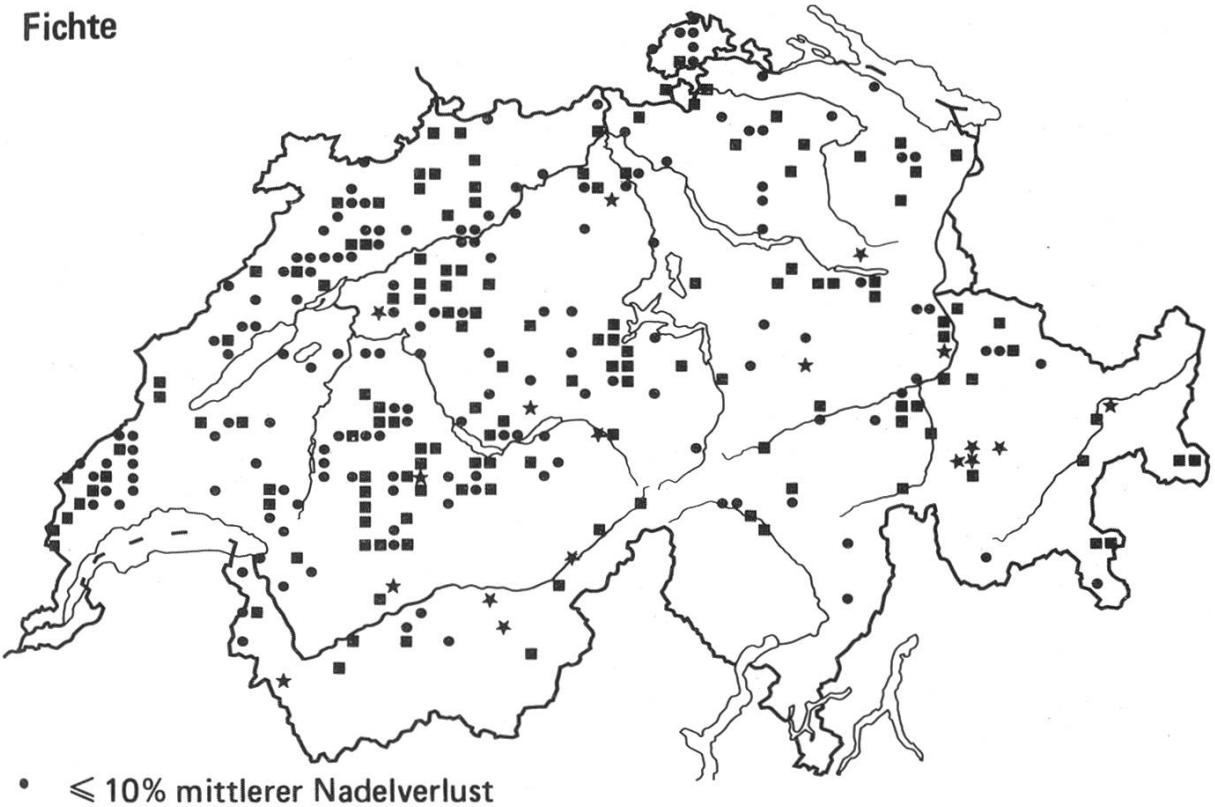
Im folgenden sollen nur noch arithmetische Mittelwerte der Blattverluste besprochen werden. Arithmetische Mittelwerte eignen sich besser für genauere Analysen als relative Häufigkeiten von meist willkürlich begrenzten Klassen. Für eine eingehende Untersuchung muss ferner jede Baumart für sich betrachtet werden. Um die komplexen Zusammenhänge möglichst klar herauszuschälen, wurden schrittweise multiple Regressionen gerechnet; zum besseren Verständnis wird im folgenden trotzdem möglichst jedes Merkmal für sich allein betrachtet.

4.2 Die regionale Verteilung der Schäden

Der mittlere Nadelverlust der Fichte beträgt 11 %. Die Trakte mit grossen mittleren Nadelverlusten der Fichte sind in den inneralpinen Tälern am häufigsten. Die geringsten Nadelverluste sind im Mittelland, im Jura und in den westlichen Voralpen zu beobachten. Die Unterschiede von Trakt zu Trakt sind aber in allen Landesgegenden recht gross *(Abbildung 3)*. Bei der Tanne beträgt der mittlere Nadelverlust 13 %. Die schwersten Schäden sind erstaunlicherweise nur teilweise in Gebieten zu finden, wo das Tannensterben schon seit Jahrzehnten bekannt ist (Teile des Juras und des Mittellandes), *(Abbildung 4)*. Die Buche zeigt in Teilen des Mittellandes kleinere Schäden als im Jura und in den Voralpen. Ihr mittlerer Blattverlust beträgt 8 % *(Abbildung 5)*.

Die Föhre weist einen mittleren Nadelverlust von 18 % auf. In nur wenigen Trakten sind mindestens 10 Föhren angesprochen worden, so dass sich bei dieser Baumart kein klares Bild über die geographische Verteilung des Schadens ergibt. Aus diesem Grund wird auch auf eine genauere Analyse der Schäden bei den übrigen Baumarten verzichtet.

Fichte



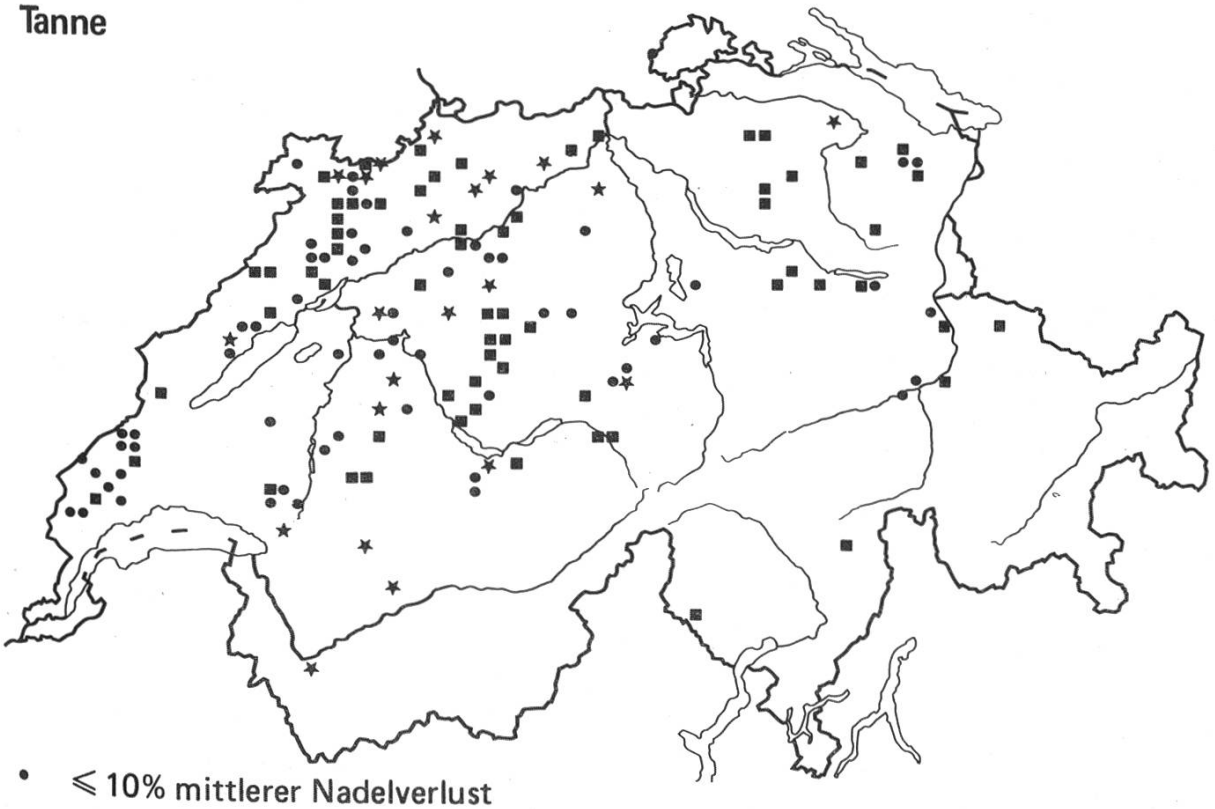
• ⩽ 10% mittlerer Nadelverlust

▪ 11–20% mittlerer Nadelverlust

* > 20% mittlerer Nadelverlust

Abbildung 3. Der mittlere Nadelverlust der Fichte in den Trakten, in denen mindestens 10 Fichten angesprochen worden sind.

Tanne



• ⩽ 10% mittlerer Nadelverlust

▪ 11–20% mittlerer Nadelverlust

* > 20% mittlerer Nadelverlust

Abbildung 4. Der mittlere Nadelverlust der Tanne in den Trakten, in denen mindestens 10 Tannen angesprochen worden sind.

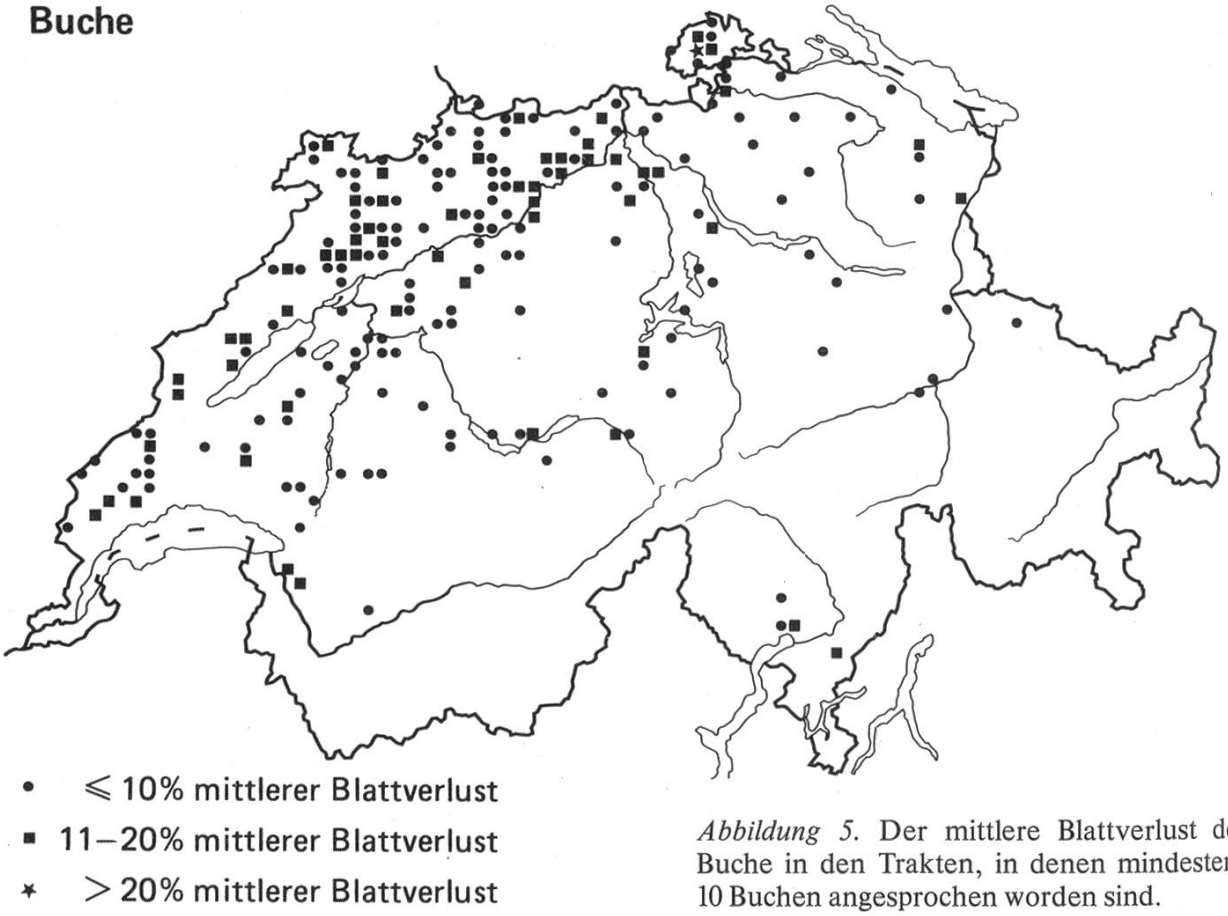


Abbildung 5. Der mittlere Blattverlust der Buche in den Trakten, in denen mindestens 10 Buchen angesprochen worden sind.

4.3 Standortsmerkmale

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Schäden von einigen wichtigen Standorts- und Bestandesmerkmalen werden unsere Resultate soweit als möglich den Resultaten der Waldschadeninventur Baden-Württemberg 1983 nach *Schöpfer* und *Hradetzky* (1984) (13), (14) gegenübergestellt.

Relief. Bei der Fichte sind die Schäden auf Kuppen und teilweise auch in Mulden wesentlich und statistisch signifikant grösser als in ebenen Lagen. Die Tanne zeigt die gleiche Tendenz, auch wenn hier die Unterschiede kleiner und nicht mehr statistisch signifikant sind. Bei Buche und den übrigen Baumarten sind die Unterschiede ebenfalls nicht statistisch signifikant *(Abbildung 6).* In Baden-Württemberg konnten keine wesentlichen Unterschiede beobachtet werden, hingegen wurden auch in Schweden auf Kuppen und in Hanglagen stärkere Schäden festgestellt als auf der Ebene.

Exposition. In west- und ostexponierten Lagen sind Fichten und Lärchen etwas stärker geschädigt als in nord- und südexponierten. Die Unterschiede sind aber nicht statistisch signifikant *(Abbildung 7).* In Baden-Württemberg waren die Westhänge bei allen Baumarten etwas stärker geschädigt als die anders exponierten Hänge, aber die Unterschiede waren auch dort nicht sehr gross.

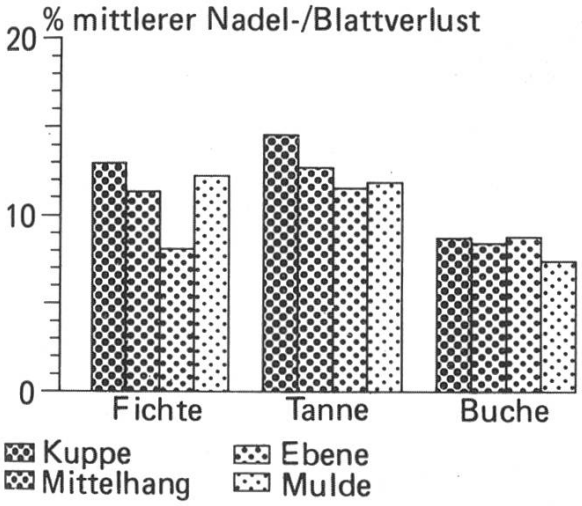


Abbildung 6. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche auf Kuppen, an Hängen, in Ebenen und Mulden.

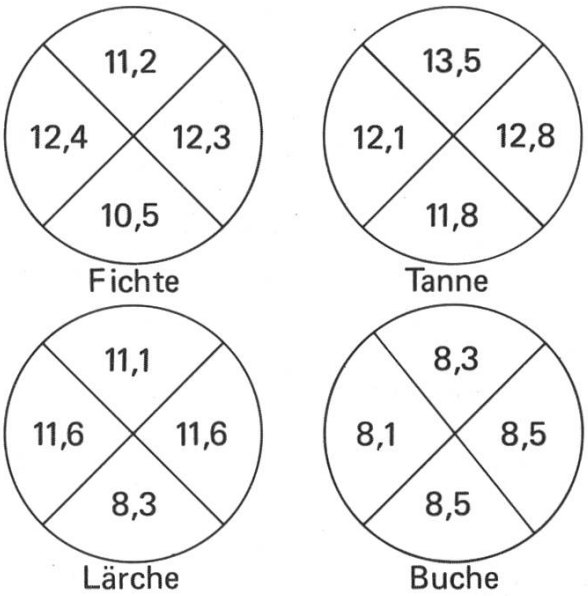


Abbildung 7. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne, Lärche und Buche in Abhängigkeit von der Exposition.

Hangneigung. Da die Hangneigung relativ eng mit der Höhe über Meer korreliert ist, wird der Schaden für die Fichte in seiner zweidimensionalen Abhängigkeit von diesen beiden Merkmalen dargestellt. Neben einer Zunahme des Schadens mit der Höhe über Meer ist ein deutlicher Anstieg des Schadens mit der Hangneigung erkennbar *(Abbildung 8)*. Die Zunahme des Schadens mit der Hangneigung wurde auch für Tanne, Föhre und Buche und ebenso in Baden-Württemberg und in Schweden festgestellt.

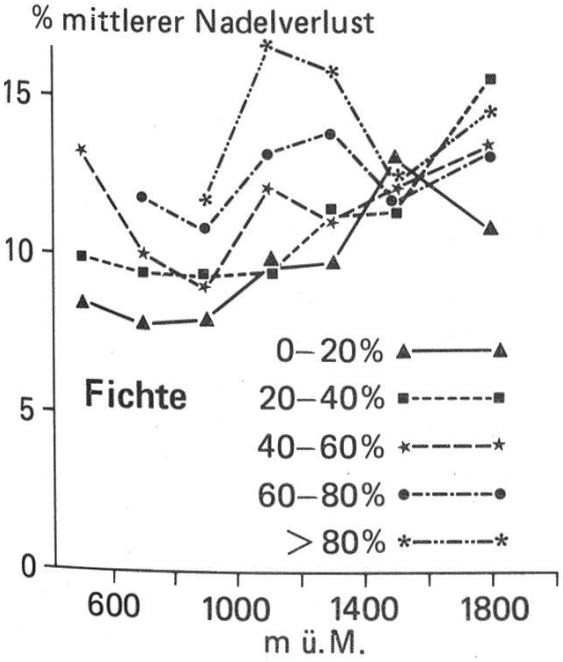


Abbildung 8. Der mittlere Nadelverlust der Fichte in Abhängigkeit von Höhe ü.M. und Geländeneigung.

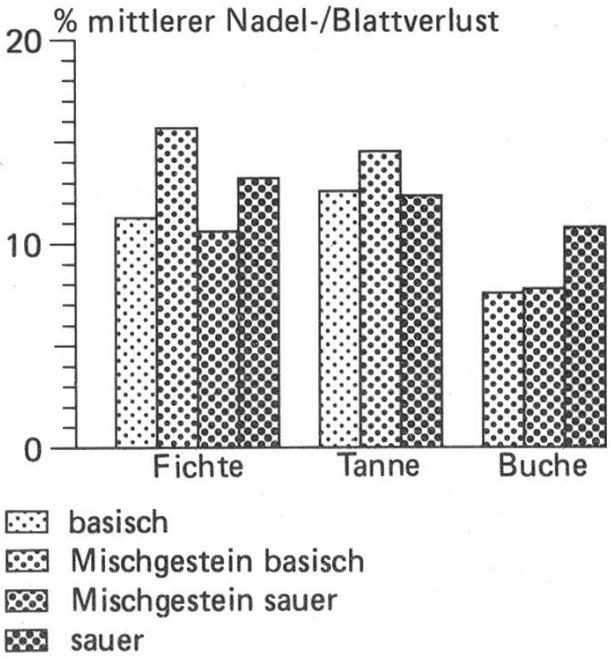


Abbildung 9. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche nach der Acidität des Grundgesteins.

Geologie/Boden. Die Acidität des Grundgesteins scheint keinen wesentlichen Einfluss auf das Ausmass des Schadens ausgeübt zu haben. Bei allen Baumarten sind die Schäden auf Kalk und auf saurem Grundgestein ungefähr gleich gross *(Abbildung 9)*. In Baden-Württemberg wurden ebenfalls keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Bodenart gefunden. Auf Sand-, Staub-, Lehm- und Tonböden waren die Schäden etwa gleich gross.

Bonität. Bei der Fichte ist der Nadelverlust von der Standortsgüte, geschätzt nach dem Bonitätsschlüssel von *W. Keller* (15), (16), abhängig. Eine genauere Analyse der Resultate zeigt allerdings, dass dieser Zusammenhang vor allem durch die starken Schäden in den inneralpinen Tälern bedingt ist. Bei Buche ist keine eindeutige Tendenz erkennbar, bei Tanne ist der Schaden auf den besten Standorten tendenzmässig sogar etwas grösser als auf den übrigen *(Abbildung 10)*. In Baden-Württemberg ist die Standortsgüte nicht mit der Grösse des Blattverlustes korreliert. Standorte mit sehr grosser Produktivität weisen etwa gleich grosse Schäden auf wie Standorte mit geringer Produktivität.

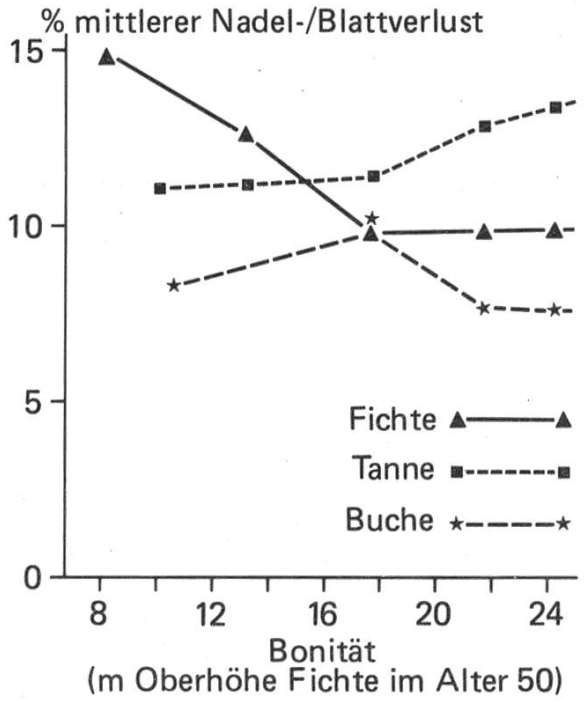


Abbildung 10. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche in Abhängigkeit von der Standortsbonität nach dem Bonitätsschlüssel W. Keller.

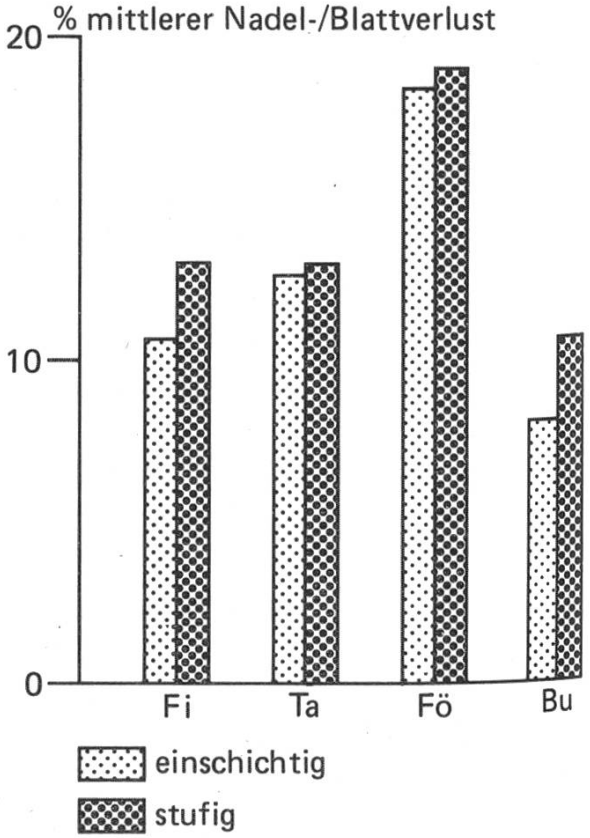


Abbildung 11. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne, Föhre und Buche in Abhängigkeit von der Bestandesstruktur.

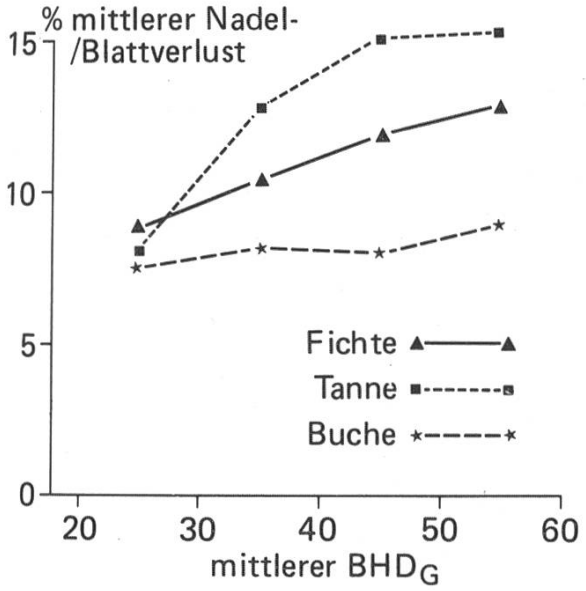


Abbildung 12. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche in Abhängigkeit vom mit der Stammgrundfläche gewogenen mittleren Durchmesser in Brusthöhe.

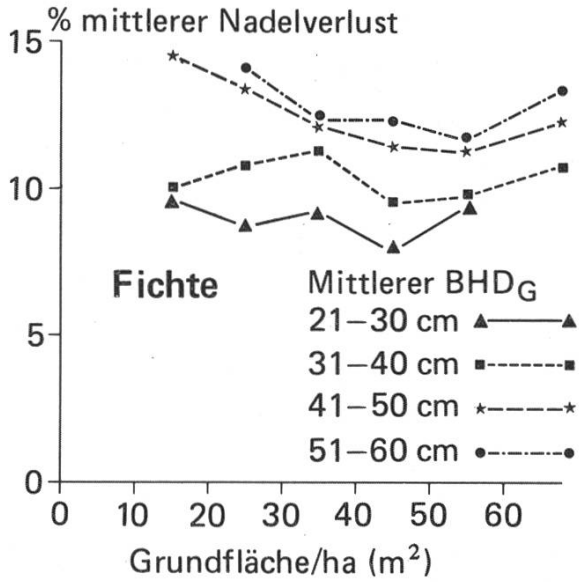


Abbildung 13. Der mittlere Nadelverlust der Fichte in Abhängigkeit vom mittleren Durchmesser in Brusthöhe und der Grundflächenhaltung (Bestandesdichte).

4.4 Bestandesmerkmale

Struktur. In einschichtigen Beständen sind Fichten und Buchen weniger stark geschädigt als in stufigen. Bei Tanne und Föhre sind die Unterschiede gering *(Abbildung 11)*. In Baden-Württemberg waren Fichten und Tannen in einschichtigen Beständen weniger stark geschädigt als in stufigen.

Alter, mittlerer Durchmesser. Da die Bohrspäne noch nicht ausgewertet sind, fehlen uns vorderhand Angaben über das Bestandesalter. Der mittlere Durchmesser pro Probefläche oder der Oberdurchmesser sind dafür nur ein relativ schlechter Ersatz. Immerhin zeigt sich auch so, dass ältere Bestände von Fichte und Tanne etwas grössere Schäden aufweisen *(Abbildung 12)*. Den gleichen Trend zeigen auch die deutschen und die schwedischen Ergebnisse. Allgemein ist zu beachten, dass die grössten Unterschiede in den ersten 7 Jahrzehnten auftreten. Überalterte Fichten- und Tannenbestände weisen zwar einen etwas grösseren Schaden auf als 80- bis 100jährige, dieser Unterschied ist aber eher gering.

Bestandesdichte. Mässig dichte Fichtenbestände weisen einen etwas kleineren Schaden auf als gut durchforstete und lockere Bestände. Dieser Unterschied ist jedoch gering und nur bei älteren Beständen festzustellen *(Abbildung 13)*. Deutlicher ist dieser Unterschied bei Buche in allen untersuchten Altersklassen *(Abbildung 14)*. In Baden-Württemberg, wo offenbar grössere Unterschiede im Kronenschluss vorkommen als bei uns, sind die Unterschiede bei der Tanne auffallend gross.

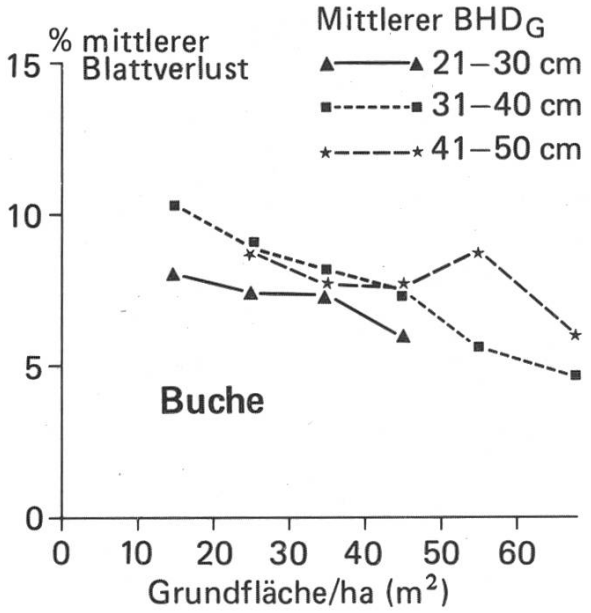


Abbildung 14. Der mittlere Blattverlust der Buche in Abhängigkeit vom mittleren Durchmesser in Brusthöhe und der Grundflächenhaltung (Bestandesdichte).

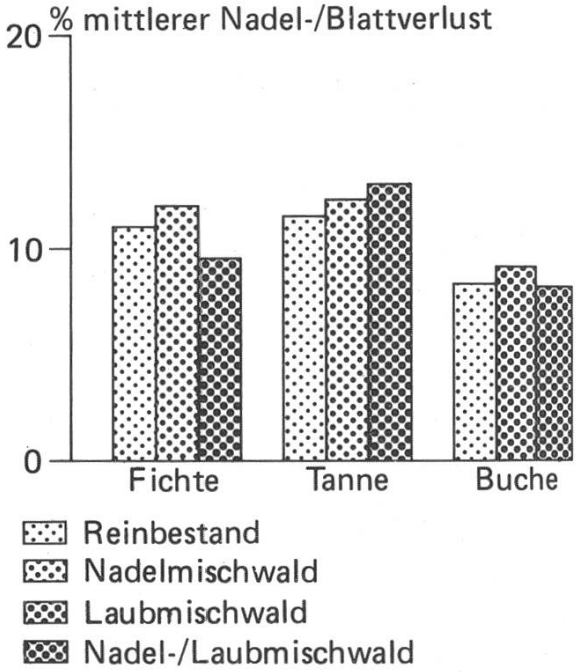


Abbildung 15. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche nach der Bestandesmischung.

Bestandesmischung. Die Fichte ist tendenzmässig im Nadellaubmischwald etwas weniger stark geschädigt als im Rein- und Nadelholzmischbestand. Bei den anderen Nadelbäumen sind die Unterschiede statistisch nicht signifikant. In der Schweiz kann daher die Aussage nicht bestätigt werden, wonach Fichten und Tannen in Mischung mit Laubbäumen stärker geschädigt seien als in Reinbeständen *(Abbildung 15).*

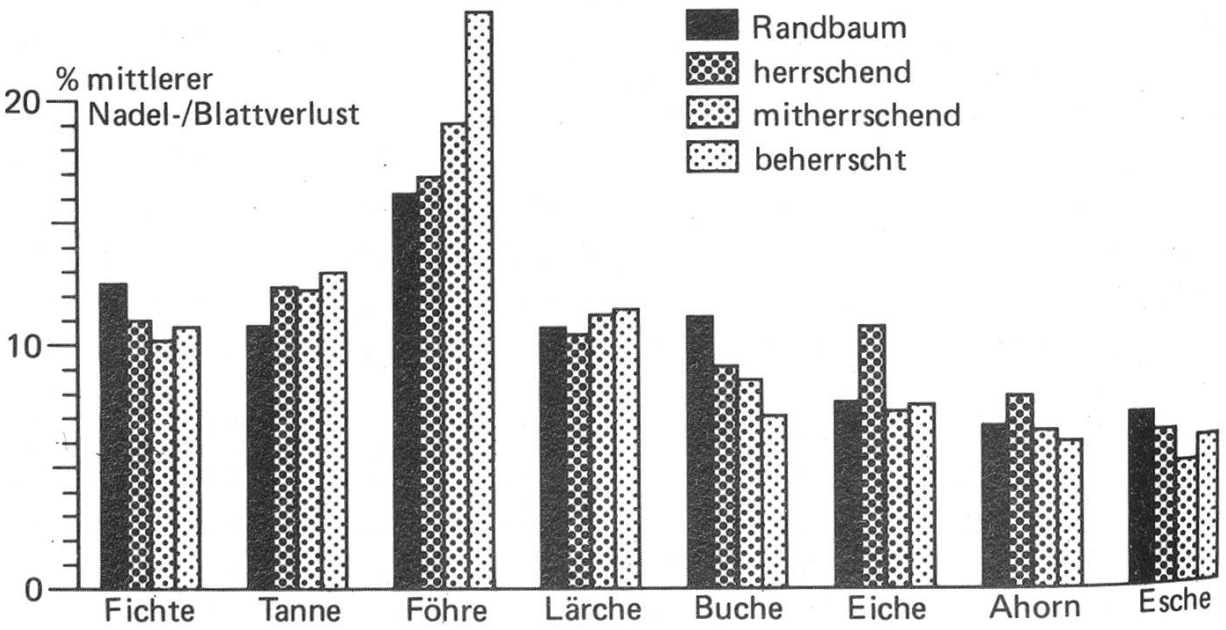


Abbildung 16. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust bei den wichtigsten Baumarten in Abhängigkeit von der sozialen Stellung des Baumes.

Stellung im Bestand. Bei Fichte und Buche weisen die Randbäume die grössten Schäden auf; bei beiden Baumarten sind die herrschenden Bäume etwas stärker geschädigt als die mitherrschenden. Bei Tanne und Föhre ist das Umgekehrte der Fall. Mitherrschende Bäume sind bei diesen beiden Baumarten stärker geschädigt als Randbäume *(Abbildung 16)*. All diese Unterschiede sind statistisch signifikant und können daher nicht dem Zufall zugeschrieben werden. In Baden-Württemberg zeigten sich für Tanne und Föhre ähnliche Unterschiede. Mitherrschende Tannen und Föhren waren deutlich stärker geschädigt als vorherrschende. Bei Fichte und Buche konnten dort keine Unterschiede festgestellt werden. Randständige Bäume wurden in Baden-Württemberg nicht speziell ausgeschieden.

5. Hypothesen über die Ursache des Waldsterbens im Lichte der Resultate der Waldschadeninventur 1984

5.1 Mögliche ursächliche Zusammenhänge

Die Waldschadeninventur hatte objektive Angaben über den Gesundheitszustand des Waldes sowie seine Entwicklung und damit Grundlagen für politische Entscheidungen zu liefern. Im folgenden soll versucht werden, die Inventurresultate weiterführend auszunützen, um verschiedene Annahmen über die Ursachen der Waldschäden zu klären. Dabei wird geprüft, welche Hypothesen mit den Beobachtungen kompatibel sind.

Ganz allgemein können mit Beobachtungen vorerst nur statistische Zusammenhänge nachgewiesen werden, weil die Korrelation zwischen zwei Merkmalen A und B noch keine direkte Ursache-Wirkungsbeziehung beweist. Anderseits muss es aber eine oder mehrere Ursachen geben, die einen derartigen statistischen Zusammenhang bewirken. Merkmal A kann Merkmal B oder Merkmal B kann Merkmal A beeinflussen. Wenn zum Beispiel in Süddeutschland die Schäden bei der Tanne in lockeren Beständen besonders gross sind, dürfen wir daraus nicht folgern, dass die Tanne in lockeren Beständen besonders gefährdet sei. Da das Tannensterben in Süddeutschland schon viele Jahre besteht, sind die am stärksten geschädigten Bestände vielleicht darum aufgelokkert, weil bereits viele Bäume schwer geschädigt und deshalb geschlagen worden sind. Die nachgewiesene statistische Beziehung löst in diesem Fall also die Frage nicht, ob lockere Bestände zu grösseren Schäden geführt haben. Noch viel schwieriger sind die Fälle aufzuklären, bei denen ein dritter Faktor sowohl Merkmal A als auch Merkmal B beeinflusst hat. Das kann zu statistisch engen Zusammenhängen zwischen A und B führen, ohne dass die beiden Merkmale ursächlich direkt miteinander verknüpft sind. Sehr häufig sind die ursächlichen Zusammenhänge jedoch offenkundig.

Mittlere jährliche Niederschlagsmenge. Um zu prüfen, ob die Schäden vor allem in niederschlagsarmen Gegenden auftreten, wurde aus den Werten der meteorologischen Annalen für jeden Trakt das langfristige Mittel des jährlichen Niederschlages interpoliert.

Bei Fichte zeigt sich eine Tendenz zu etwas grösseren Schäden in Regionen mit weniger als 1000 mm Niederschlag. Alle übrigen Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Insbesondere ist bei der Buche keinerlei Beziehung zwischen dem Blattverlust und der jährlichen Niederschlagsmenge festzustellen *(Abbildung 17).*

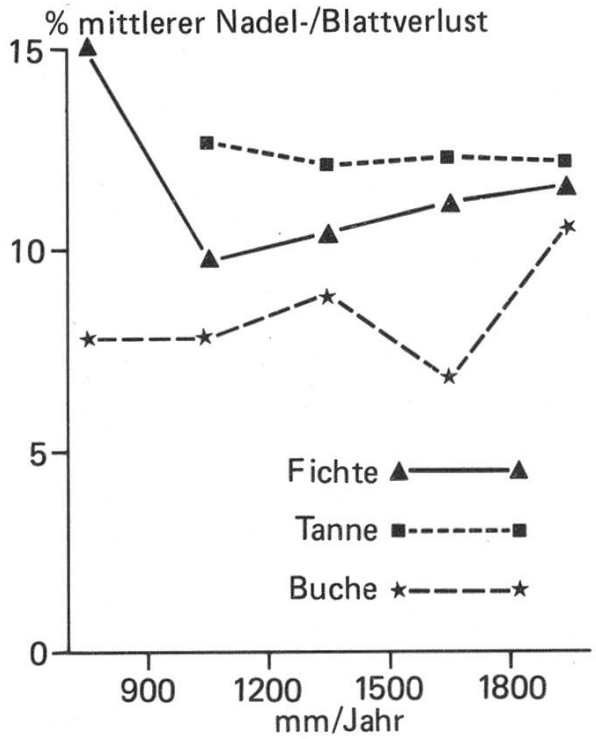


Abbildung 17. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche in Abhängigkeit vom langjährigen mittleren jährlichen Niederschlag.

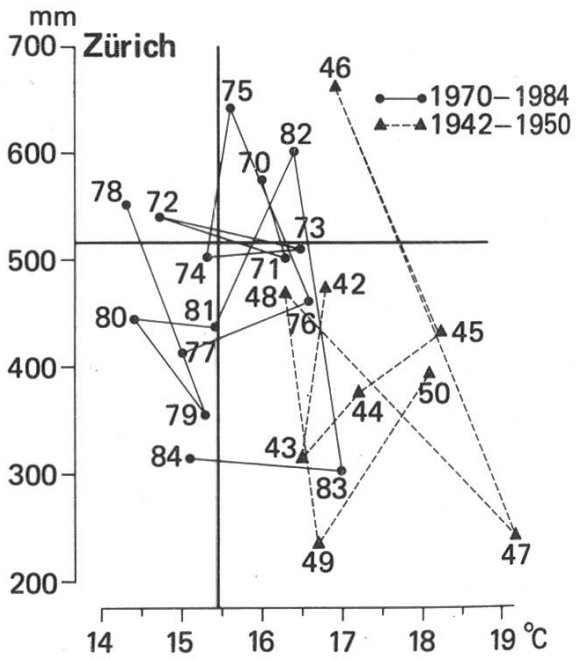


Abbildung 18. Mittlere Temperaturen und Niederschlagsmengen in den Monaten Mai bis August in den Jahren 1970 bis 1984 und 1942 bis 1950 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten, SMA Zürich.

Trockenjahre. Cramer (17) zeigt an Beispielen aus Deutschland, dass Perioden von aufeinander folgenden warmen und trockenen Sommern immer wieder zu grossen Waldschäden geführt haben.

Wenn für Zürich die Niederschlagsmengen und die Mitteltemperaturen der Monate Mai bis August der letzten Jahre mit den langjährigen Mitteln verglichen werden, erkennt man, dass wir uns seit 1970 in einer relativ warmen Periode befinden, wobei aber die Niederschläge in dieser Zeit nicht wesentlich vom langjährigen Mittel abweichen. Verglichen mit den letzten Kriegs- und ersten Nachkriegsjahren mit grossen, durch Wärme und Trockenheit bedingten Waldschäden und Borkenkäferkalamitäten, befinden wir uns mit Ausnahme

der letzten beiden Sommer in einer geradezu kühlen und nassen Periode *(Abbildung 18)*. Nur gerade die Sommermonate 1983 und 1984 waren bedeutend trokkener als im langjährigen Mittel. Dies trifft für alle Regionen unseres Landes zu, insbesondere aber auf die inneralpinen Täler, die Alpensüdseite und die nördlichsten Randregionen der Schweiz *(Abbildung 19)*.

Der Einfluss dieser trockenen Sommermonate auf die Entwicklung der Waldschäden lässt sich nicht erfassen, auch wenn es denkbar ist, dass der trokkene Sommer 1983 in grossen Gebieten die Schäden verschlimmert hat. In diesem Fall bestände wenigstens die Hoffnung, dass sich die unheilvolle Entwicklung der letzten Jahre in kommenden feuchteren Jahren verlangsamen könnte. Anderseits traten auf der Alpennordseite schon wiederholt ähnlich trockene Sommer ohne vergleichbare Waldschäden auf. Die beiden Sommerperioden allein können die auftretenden Waldschäden daher nicht erklären.

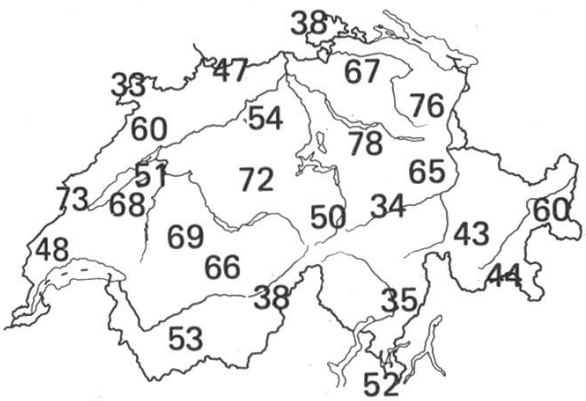


Abbildung 19. Niederschlagsmengen in den Sommermonaten Juni, Juli und August 1983 in Prozenten des langjährigen Mittels der betreffenden Station SMA.

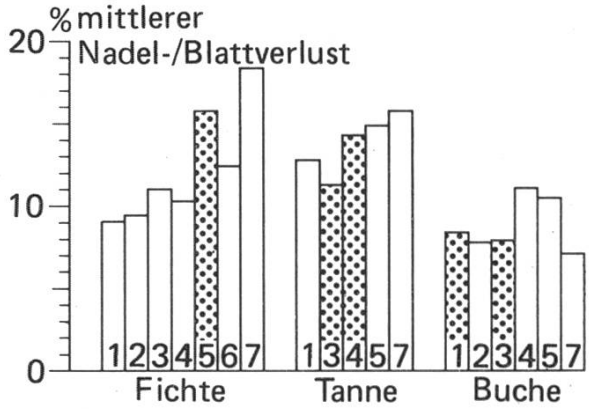


Abbildung 20. Der mittlere Blatt-/Nadelverlust von Fichte, Tanne und Buche in den Klimaxgesellschaften mit herrschender Buche (1), Eiche (2), Tanne/Buche (3), Tanne (4), Fichte (5), Lärche (6) und Föhre (7). Die punktierten Säulen zeigen die Blatt-/Nadelverluste auf denjenigen Standorten, auf denen sie natürlich herrschend sind.

5.3 Die unerkannte Epidemie (Insekten, Pilze, Viren u.a.)

Der Beginn der Waldschäden in begrenzten Regionen Süddeutschlands und ihre rasche Ausbreitung nach allen Himmelsrichtungen seit 1980 legt den Gedanken an eine Epidemie nahe. Dieser Vermutung ist entgegenzuhalten, dass nur wenige Krankheiten und Schädlinge bekannt sind, die viele verschiedene Arten befallen. Es ist bisher auch kein Schädling gefunden worden, der diese weitverbreiteten und rapid zunehmenden Schäden hätte verursachen können. Immerhin sollte bei geschädigten Nadelbäumen vor allem auf das Vorhandensein von Schüttepilzen, bei Buchen auf die Rindennekrose geachtet werden (18).

Falsche Baumartenwahl. Eine nicht standortsgemässe Baumartenwahl sei schuld am Waldsterben. Auch diese Hypothese ist überprüfbar: Nach *Kuoch* (19), (20) sowie *Ellenberg* und *Klötzli* (21) können in der Schweiz Gebiete unterschieden werden, in denen die Eiche, die Buche, die Tanne, die Buche und die Tanne, die Fichte, die Lärche oder die Föhre natürlich herrschend sind. Beim Vergleich der Blattverluste fällt vor allem auf, dass sie keineswegs dort am geringsten sind, wo die betreffende Baumart natürlich dominiert *(Abbildung 20)*. Die Nadelverluste der Fichte sind in den natürlichen Verbreitungsgebieten der Buche und Tanne und sogar der Eiche bedeutend niedriger als im natürlichen Verbreitungsgebiet der Fichte. Bei Buche und Tanne sind die Unterschiede in Blatt- oder Nadelverlust kleiner als bei der Fichte und nicht signifikant. Falsche Baumartenwahl hat mit dem Waldsterben offenbar nichts zu tun.

Überalterung. Junge Bestände sind zwar weniger geschädigt als alte. Aber weder in der Schweiz noch in Baden-Württemberg konnte festgestellt werden, dass überalterte Bestände bedeutend stärkere Schäden aufweisen als alte, noch nicht überalterte Bestände. Ob sich dieses Bild für die Schweiz ändern wird, wenn der private und der unerschlossene Wald miterfasst werden, bleibt einstweilen noch offen. In den kantonalen Erhebungen Bern, Fribourg und Aargau konnte das nicht belegt werden.

Bestandesaufbau und -struktur. Die Hypothese, dass zu gleichförmige Bestände schuld am raschen Fortschreiten der Waldschäden seien, muss ebenfalls verworfen werden. Stufige Bestände sind heute im Gegenteil bereits etwas stärker geschädigt als einschichtige. Zudem weisen dichte Bestände tendenziell eher etwas kleinere Schäden auf als lockere. Durchforstungen schützen offenbar nicht vor Schäden. Daraus darf allerdings auch noch nicht der gegenteilige Schluss gezogen werden, dass gut durchforstete Bestände anfälliger seien als nicht gepflegte. Die Resultate unserer Inventur geben wenig Hinweise auf die Auswirkungen der Bestandesgeschichte auf die Schäden. Möglicherweise sind in früheren Jahrzehnten regelmässig und gut durchforstete Bestände vitaler und weniger geschädigt als ungepflegt aufgewachsene. Nur die Aufnahme der Schäden in langfristig verfolgten ertragskundlichen Versuchsflächen und in seit längerer Zeit angelegten Kontrollstichproben könnte darüber vielleicht etwas genauer Auskunft geben.

Die Frage, ob Mischbestände oder Reinbestände anfälliger seien, musste offen bleiben, da sich die Resultate in Baden-Württemberg und der Schweiz zu widersprechen scheinen. Die Unterschiede sind offenbar nicht gross.

Die verschiedenen Hypothesen, nach denen die Waldschäden auf waldbauliche Mängel zurückgeführt werden müssten, werden durch Resultate der Waldschadeninventur jedenfalls weitgehend widerlegt.

Saurer Regen. Seit Jahrzehnten werden riesige Mengen von Schwefelsäure und anderer Säuren durch den Wind verfrachtet und mit dem Regen abgelagert. Trotz der guten Pufferung unserer Waldböden werden diese dadurch immer saurer. Damit verändern sich der Chemismus und die Biologie des Bodens.

Die Hypothese von *Ulrich* (22) besagt, dass die Versäuerung der Böden die Waldschäden wesentlich mitverursacht. Durch das Absinken des pH-Wertes des Bodens werden im Boden gebundene Aluminium- und Schwermetall-Ionen freigesetzt und diese können in zu hohen Konzentrationen dann zu Vergiftungserscheinungen führen.

Diese Hypothese kann die regionale Verteilung der Schäden nur teilweise erklären. Besonders die Tatsache, dass die Schäden praktisch unabhängig von der Acidität des Grundgesteins sind und dass sie auf Kalk und saurem Grundgestein gleichzeitig aufgetreten sind, ist mit dieser Hypothese schwierig zu verstehen. Zudem sollten eigentlich grosse zeitliche Verschiebungen in der Reaktion von Fichten, Föhren und Buchen erwartet werden. Trotzdem muss die Hypothese von Ulrich weiterhin ernsthaft überprüft und vermutlich auch modifiziert werden. Die in Frage stehenden Prozesse im Boden werden noch viel zu wenig genau durchschaut.

Gasförmige, flüssige und feste Schwebestoffe. Eine der am häufigsten vertretenen Hypothesen nimmt an, dass die schädigende Luftverschmutzung vor allem im Inland produziert wird und es sich dabei in erster Linie um Schwebestoffe handle. Die Baumkronen kämmen diese aus, reinigen die Luft und vergiften sich dabei selbst. Als wichtigste Schadstoffe werden Schwefeldioxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe angenommen, regional auch Fluor und Chlor. Tatsächlich kennt man die verheerende Wirkung von SO_2 zur Genüge. Am bekanntesten sind die riesigen Schadflächen im Erzgebirge. Anderseits sind die gemessenen SO_2-Konzentrationen bei uns im allgemeinen unterhalb der Toleranzwerte und in den letzten Jahren eher rückläufig (23), (24). Die geographische Verteilung der Schäden ist nur bei der Tanne andeutungsweise so, wie man sie nach den Untersuchungen der Luftbewegungen von *Gassmann* und *Gensler* (25) und den Nadelanalysewerten von Schwefel, Chlor und Fluor nach *Landolt, Bucher* und *Kaufmann* (26) erwarten müsste. Die SO_2-Konzentrationen sind im Winter im Nebel und unter einer tiefliegenden Hochnebeldecke am grössten. Die Schäden müssten dementsprechend im Mittelland am grössten sein und mit zunehmender Höhe über Meer und Entfernung von den Ballungszentren tendenziell abnehmen.

Mit der Hypothese des Auskämmens von Schadstoffen aus der Luft sind viele der festgestellten Zusammenhänge erklärbar. Auf Kreten können die Schäden von Fichte und Tanne deshalb am grössten sein, weil die Bäume dem Wind und damit den Schadstoffen dort am stärksten ausgesetzt sind. Auch an

steilen Hängen sind die Kronen stärker windexponiert als in flachen Lagen; zudem kann dort starkes Nebeltreiben zu erhöhten Ablagerungen führen. Die etwas stärkeren Schäden der Fichte in west- und ostorientierten Lagen könnten durch die vorherrschenden Winde erklärt werden. In unserem topographisch derart vielgestaltigen Land ist es nicht weiter verwunderlich, dass diese Unterschiede nicht grösser sind, weil die lokalen Windsysteme in jedem Tal andere Richtungen bevorzugen. Mit dieser Hypothese ist ferner erklärbar, dass stufige und lockere Fichten- und Buchenbestände etwas stärker geschädigt sind als einschichtige und dichte Bestände mit ihrem viel geschlosseneren Kronendach.

Die kleinere Gefährdung der Fichte im Laub-Nadelmischbestand ist mit der Hypothese kompatibel, sofern die Schädigung im Sommer stattfindet.

Randbäume und herrschende Bäume absorbieren bedeutend mehr Stoffe aus der Luft als mitherrschende und beherrschte Bäume. Es entspricht daher dieser Hypothese, wenn exponierte Fichten und Buchen stärker geschädigt sind als die übrigen. Bei Tanne und vor allem bei Föhre sind jedoch die den Schadstoffen viel weniger ausgesetzten mitherrschenden und beherrschten Bäume stärker geschädigt als Randbäume und herrschende Bäume. Bei diesen Baumarten müssen andere Einflüsse stärker sein.

Photooxidantien (0_3, PAN und andere). Während die regionale Verteilung vieler Schadstoffe wie Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und verschiedener Abgase von Industrien und Kehrichtverbrennungsanlagen ähnlich sein dürften wie diejenigen von Schwefeldioxid, sind die Photooxidantien völlig anders verteilt *(Tabelle 2)*, (23), (24).

Tabelle 2. Immissionskonzentrationen (Jahresmittelwerte).

Region	SO_2 ($\mu g/m^3$)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)
Alpine Gebiete (über 2000 m ü.M.)	2–3	2–3	60–80
Ländliche Gebiete	8–12	20–30	40–70
Agglomerationen	30–40	30–50	30–50
Stadtzentrum	50–70	60–140	20–30

Für Ozon ist gerade im Gebiet der grössten Ballungszentren ein Konzentrationsminimum zu erwarten, weil es einerseits erst unter der Einwirkung von Sonnenlicht entsteht und zweitens in den Ballungszentren und entlang der Verkehrsachsen rascher wieder abgebaut wird als in Luft mit weniger Stickstoffmonoxid. Über die tatsächliche Verteilung der Ozonkonzentration in der Schweiz ist leider nur sehr wenig bekannt. Aus den wenigen NABEL-Stationen und den vereinzelten kantonalen Stellen, an denen Ozon gemessen wird, kann bei weitem nicht genau genug auf die mittlere Konzentration und die Belastungsspitzen in unseren Waldgebieten geschlossen werden. Es ist aber nach der Beurteilung von Gassmann und Gensler (25) zumindest möglich, dass die

regionale Verteilung von Ozon und eventuell auch anderen Photooxidantien einigermassen der geographischen Schadenverteilung bei der Fichte entspricht. Auch wenn unseres Wissens die Photooxidantien in den letzten Jahren nicht derart massiv zugenommen haben, dass damit allein das massive und bei vielen Baumarten gleichzeitige Auftreten der Waldschäden erklärt werden könnte und zudem das charakteristische Bild von Ozonschäden an Blättern nur selten festgestellt worden ist, bleiben Photooxidantien die am ernsthaftesten weiter zu prüfende Schadstoffgruppe.

Andere schädliche anthropogene Einwirkungen. Jeden Tag werden neue Stoffe produziert, entweichen neue Verbindungen aus unseren Kaminen. Wir wissen davon aber viel zu wenig, um entsprechende Hypothesen überprüfen zu können. Radioaktivität, elektromagnetische Wellen und andere Emissionen scheinen keinen genügend grossen Einfluss auf pflanzliches Leben auszuüben, der die Waldschäden erklären könnte.

5.6 Kombinierte Hypothesen

Trockenheit und Immissionen. Verschiedene Immissionen können die Zell- und Blattoberflächen schädigen oder den Schliessmechanismus der Blattöffnungen stören. Damit kann der Baum die Transpiration nicht mehr genügend einschränken und die Trockenheit daher schlechter ertragen. Die Kombination von starker Luftverschmutzung und trockenen Sommern könnte daher das rasche Auftreten der Waldschäden wenigstens einigermassen erklären.

Temperaturstürze und Immissionen. Photooxidantien können durch Oxidationsprozesse die Wachsschicht auf den Nadeln angreifen und zur Rissbildung führen. Ozon und andere Photooxidantien greifen auch in den Zellmembranen an und verändern deren Durchlässigkeit. *Rehfuess* (27) vermutet, dass Schwefeldioxid und eventuell Salpetersäure des Regenwassers dann Magnesium und andere Nährelemente aus den Nadeln auswaschen, so dass auf gewissen Standorten Mangelerscheinungen auftreten können. Der Magnesiummangel der Nadeln könnte die physiologische Aktivität und insbesondere die Kälteresistenz der betroffenen Bäume herabsetzen. In diesem Zusammenhang seien an Versuche von *Theo Keller* erinnert: Die experimentelle Begasung mit Schwefeldioxid hat die Frostresistenz von Fichten empfindlich herabgesetzt (28).

Der grösste Temperatursturz unseres Jahrhunderts hat nach Gensler vom 31. Dezember 1979 auf den 2. Januar 1980 stattgefunden. Die Tagesmitteltemperatur fiel in diesen zwei Tagen um mehr als 20 Grad. Rehfuess hat kurze Zeit nach diesem Ereignis ausserordentlich starken Nadelfall festgestellt. In Süddeutschland sind zu dieser Zeit starke Waldschäden aufgetreten. In der Schweiz sind weitverbreitete Waldschäden aber erst einige Jahre später festgestellt

worden. Die Liste der Tage, deren Temperatur um mehr als 10 Grad niedriger war als am Vortag (29), zeigt, dass in den letzten Wintern gehäuft grosse Temperaturstürze vorkamen. Sie waren aber bei weitem nicht so gross wie 1980. Da bei uns damals noch keine grossen neuen Waldschäden auftraten, kann die Hypothese von Rehfuess nur aufrecht erhalten werden, wenn die schädigenden Substanzen in den letzten Jahren sehr viel konzentrierter waren als 1980. Für Schwefeldioxid trifft das nicht zu, bei Ozon ist das recht ungewiss. Die Nadelanalysen von Landolt, Bucher und Kaufmann (26) haben im allgemeinen keinen Magnesiummangel in den Nadeln ergeben, bei Fichte war der Nadelverlust ausgerechnet in den Regionen am grössten, wo der Magnesiumgehalt der Nadeln am höchsten war.

Nährstoffmangel und Immissionen. Wie bereits erwähnt, können Immissionen zu Membranschädigungen und damit zu erhöhtem Auswaschen von Nährstoffen führen. Auch die Erhöhung der Bodenacidität kann zu Ernährungsstörungen Anlass geben. Die Analyse der 1983 in der ganzen Schweiz gesammelten Fichtennadeln haben nach Landolt, Bucher und Kaufmann (26) keine Hinweise auf zu kleine Konzentrationen von Nährstoffen geliefert. Damit ist diese Hypothese wohl nicht sehr glaubhaft.

Epidemien und Immissionen. Immissionen können die Anfälligkeit der Bäume gegen irgendwelche Krankheiten und Schädlinge erhöht haben. Bisher konnten bei uns jedoch noch keine weitverbreiteten und gefährlichen Erreger nachgewiesen werden.

Zusammenfassung und Folgerungen

Mit sorgfältig instruiertem, qualifiziertem Personal wurde 1984 eine Schadeninventur in den öffentlichen und durch Strassen erschlossenen Wäldern der Schweiz durchgeführt. Um eine im ganzen Land einheitliche und auch international vergleichbare Taxierung sicherzustellen, wurde die Arbeit der Aufnahmeequipen immer wieder genau kontrolliert.

Diese Inventur hat gezeigt, dass mit Ausnahme des noch etwas gesünderen Jungwaldes bereits ein Drittel des Waldes geschädigt ist. Alle Baumarten sind betroffen, am stärksten die Föhren, am wenigsten Ahorn und Eschen. Alarmierend ist vor allem, dass sich die Zahl der geschädigten Bäume innerhalb eines Jahres mehr als verdoppelt hat. Die bereits weiter fortgeschrittene Entwicklung in Süddeutschland lässt für die Zukunft Schlimmes erahnen.

Es gibt vorläufig offenbar keine Hypothese, die für sich allein alle beobachteten Zusammenhänge und Unterschiede erklären könnte. Alle Hypothesen, welche die Waldschäden falschen waldbaulichen Massnahmen oder nur der Witterung zuschreiben, können verworfen werden, da sie mit den Beobachtungen nicht übereinstimmen. Immissionen müssen eine massgebliche Ursache für die Waldschäden sein, da man das Geschehen ohne Immissionen fast nicht erklären kann. Anderseits scheinen Immissionen allein ebenfalls nicht alle Beobachtungen erklären zu können. Schon eher kann das Geschehen durch Hypothesen erklärt werden, die den Einfluss von Immissionen mit der Witterung der letzten Jahre und allenfalls mit Epidemien kombinieren. Immissionen scheinen zu bewirken, dass Bäume Trockenheit, Temperaturstürzen und Infektionen schlechter widerstehen können.

Diese kombinierten Hypothesen müssen in detaillierteren Studien noch genauer untersucht werden, damit klar wird, welche Wirkungen wesentlich und welche weniger wichtig sind.

Eine differenzierte Betrachtung der Inventurresultate für die einzelnen Baumarten konnte zwischen einigen möglichen und nicht mehr haltbaren Hypothesen unterscheiden. Aber noch viel ist zu tun, um die gegenwärtige Entwicklung zu verstehen und vor allem, um genauer festzustellen, welche Immissionen am schädlichsten sind. Bis dahin ist es dringend notwendig, den Ausstoss aller das Waldsterben möglicherweise verursachenden Pflanzengifte drastisch zu reduzieren, wenn die Bedrohung unserer Umwelt und damit unserer eigenen Existenz noch rechtzeitig abgewendet werden soll.

Résumé

L'état de santé des forêts suisses en 1984

En 1984, un inventaire des dégâts a eu lieu dans les forêts publiques suisses desservies par des chemins. Il a été exécuté par un personnel qualifié et soigneusement instruit. Pour garantir des relevés uniformes dans tout le pays et comparables avec l'étranger, on a contrôlé le travail des équipes de manière suivie et précise.

L'inventaire montre qu'à l'exception des jeunes peuplements encore en meilleure santé, un tiers de la forêt a subi des dommages. Toutes les essences sont atteintes; le pin l'est le plus, l'érable et le frêne le moins. Il est inquiétant de constater que, par rapport à l'année précédente, le nombre des arbres endommagés a plus que doublé. Compte tenu de l'avance du phénomène en Allemagne du Sud, on peut s'attendre au pire. L'inventaire de 1984 donne une idée claire de l'état de santé de la forêt suisse; parallèlement à d'autres relevés, il souligne le caractère dramatique de l'évolution.

Pour le moment, aucune hypothèse ne permet d'expliquer toutes les différences et interdépendances observées. On peut réfuter comme ne concordant pas avec les faits observés toutes les explications imputant les dégâts à des erreurs du traitement sylvicole

ou uniquement aux conditions météorologiques. Les immissions constituent une cause déterminante, car sans elles le phénomène est presque inexplicable, mais elles ne permettent pas à elles seules de comprendre toutes les observations.

Les hypothèses les plus plausibles sont celles qui combinent l'effet des immissions avec celui des conditions météorologiques des dernières années ou, le cas échéant, avec des épidémies. Les immissions semblent réduire la résistance des arbres à la sécheresse, aux chutes de température et aux infections. Il s'agit d'analyser plus à fond ces hypothèses combinées en vue de distinguer entre les effets essentiels et accessoires.

Le dépouillement et l'analyse des résultats de l'inventaire par essence a permis de distinguer entre les hypothèses à retenir et à éliminer. Mais il reste beaucoup à faire pour comprendre l'évolution actuelle et déterminer quelles immissions sont les plus nuisibles. En attendant, il est urgent de procéder à une réduction massive des émissions de toutes les substances phytotoxiques susceptibles de causer le dépérissement des forêts, de manière à écarter à temps ce danger menaçant notre environnement et notre existence.

Der Aufsatz wird auch auf Französisch als Bericht EAFV erscheinen.

Literatur

(1) *Bucher, J.B., Kaufmann, E., Landolt, W.:* Waldschäden in der Schweiz – 1983 (I. Teil), Schweiz. Z. Forstwes. *135* (1984), 271–287

(2) Zur Diagnose und Klassifizierung der neuartigen Waldschäden 1984, Farbbild-Heft der Allgemeinen Forstzeitschrift, BLV-Verlagsgesellschaft München (1984), 24 S.

(3) *Schweingruber, F.H., Lontic, R., Winkler-Seifert, A.:* Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte 253 (1983). 29 S.

(4) Ergebnisse der Sanasilva-Waldschadeninventur 1984, Bundesamt für Forstwesen und Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Bern und Birmensdorf, 1984, 27 S. Bezugsquelle: Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *Bibliothek,* 8903 Birmensdorf

(5) *Schmid-Haas, P., Hämmerli, F., Walther, G.:* Die Schweizerische Waldschadeninventur 1984. In: Schriftenreihe der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Heft 1, 1985, 12 S.

(6) *Mahrer, F., Brassel, P., Stierlin, H.R.:* Erste Ergebnisse zum Waldsterben aus dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI), Schweiz. Z. Forstwes. *135* (1984), 289–306

(7) *Schröter, H.:* Entwicklung des Gesundheitszustandes von Tannen und Fichten auf Beobachtungsflächen der FVA in Baden-Württemberg. Allg. Forst- und Jagdztg. *154* (1983), 123–130

(8) *Breloh, P.:* Übersicht über die Ergebnisse der Waldschadensituation 1984. In: Schriftenreihe der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Heft 1, 1985

(9) De vitaliteit van het Nederlandse bos in 1984. Staatsbosbeheer, Utrecht, Rapportnr. 1984-26, 29 S.

(10) *Bengtson, G.:* De första resultaten fran skogsskadeinventeringen 1984, 13 S. (noch nicht publiziert)

(11) *Tveite, G.:* persönliche Mitteilung

(12) *Bernardzki, E.:* Waldbauliche Aspekte des Waldsterbens in Polen. Vortrag November 1984, nicht publiziert

(13) *Schöpfer, W., Hradetzky, J.:* Zielsetzungen, Methoden und Probleme der terrestrischen Waldschadeninventur Baden-Württemberg 1983. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 111 (1984), 41 S.

(14) *Schöpfer, W., Hradetzky, J.:* Analyse der Bestockungs- und Standortsmerkmale der terrestrischen Waldschadeninventur Baden-Württemberg 1983. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 110 (1984), 148 S.

(15) *Keller, W.:* Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitteilungen, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *54* (1978), 5–98
(16) *Keller, W.:* Una chiave di feracità auxometrica semplice per i soprasuoli forestali delle regioni al sud delle Alpi. Mitteilungen, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *55* (1979), 181–232
(17) *Cramer, H.H, Cramer-Middendorf, M.:* Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Schadensperioden und Klimafaktoren in mitteleuropäischen Forsten seit 1851. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer *37* (1984), 208–334
(18) *Flückiger, W., Braun, S., Flückiger-Keller, H.:* Untersuchungen über Waldschäden in der Nordwestschweiz. Schweiz. Z. Forstwes. *135* (1984), 391–444
(19) *Kuoch, R., Amiet, R.:* Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen. Mitteilungen, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *46* (1970), 159–328
(20) *Kuoch, R.:* Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weisstanne. Mitteilungen, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *30* (1954), 133–260
(21) *Ellenberg, H., Klötzli, F.:* Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, *48* (1972), 587–930
(22) *Ulrich, B., Mayer, R., Khanna, P.K.:* Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, *58* (1979), 291 S.
(23) Luftbelastung 1983. Schriftenreihe Umweltschutz, Nr. 30, Bern (1984), 37 S.
(24) Waldsterben und Luftverschmutzung. Eidg. Departement des Innern, Bern (1984), 125 S.
(25) *Gassmann, F., Gensler, G.:* Waldschäden und Transportwege von Luftschadstoffen. Neue Zürcher Zeitung, 26./27. Januar 1985, S. 35/36
(26) *Landolt, W., Bucher, J.B., Kaufmann, E.:* Waldschäden in der Schweiz – 1983 (II. Teil), Schweiz. Z. Forstwes. *135* (1984), 637–653
(27) *Rehfuess, K.-E.:* Walderkrankungen und Immissionen – Eine Zwischenbilanz. Allgemeine Forstzeitschrift (1983), 601–610
(28) *Keller, Th.:* Folgen einer winterlichen SO_2-Belastung für die Fichte. Gartenbauwissenschaft *46* (1981), 170–178
(29) *Gensler, G.:* persönliche Mitteilung