

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Band: 136 (1985)
Heft: 1

Artikel: Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffhausen : zur Methodik und Problematik der Erhebung auf Betriebsebene
Autor: Schlaepfer, Rodolphe / Mandallaz, Daniel / Commarmot, Brigitte
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764456>

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: 15.10.2024

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

Der Gesundheitszustand des Waldes im Revier Schaffhausen

Zur Methodik und Problematik der Erhebung auf Betriebsebene

Von *Rodolphe Schlaepfer, Daniel Mandallaz, Brigitte Commarmot,*
Rudolf Günter und Bruno Schmid

Oxf.: 524.634:181.45:(494.29)

Aus dem Fachbereich Forsteinrichtung, Institut für Wald- und Holzforschung
Eidgenössische Technische Hochschule
Zürich

1. Einleitung

Die objektive Beschreibung von Gesundheitszustand und -entwicklung des Waldes sowie die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Gesundheitszustand und biologischen und ökologischen Faktoren gehören zu den wichtigsten Aufgaben der Forstleute im Zusammenhang mit dem Problem Waldsterben. Dabei ist es sowohl für die Zielsetzung als auch für die Methodik einer Untersuchung von Bedeutung, ob Aussagen für den Einzelbaum, den Bestand, den Forstbetrieb, für die Region, den Kanton oder für das ganze Land gewünscht sind. Die bisher bekanntesten Inventurverfahren zur Erfassung des Gesundheitszustandes des Waldes, wie zum Beispiel die Sanasilva-Umfrage 1983 (*Bucher et al. 1984*) und das Landesforstinventar für die Schweiz (*Mahrer et al. 1984*) oder die Waldschadensinventuren 1983 in Bayern (*Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt 1983*) und in Baden-Württemberg (*Schöpfer und Hradetzky 1983*), wurden vor allem für grossräumige Erhebungen auf regionaler oder nationaler Ebene entwickelt. Methodisch gesehen sind die verschiedenen Verfahren, die in Deutschland und in der Schweiz angewendet werden, noch in einer experimentellen Phase.

Der Gesundheitszustand des Waldes ist heute nicht nur ein nationales oder kantonales Problem, sondern bereitet auch dem Betriebsleiter echte Sorgen. Das Waldsterben kann schwerwiegende Konsequenzen für sämtliche Bereiche der forstlichen Betriebsführung haben, insbesondere für den Waldbau, die forstliche Planung und die betriebswirtschaftlichen Erfolge. Der Waldbesitzer und der Betriebsleiter sollten deshalb nicht nur über den Ge-

sundheitszustand einer grösseren Waldregion informiert sein, sondern auch darüber, wie die Schadsituation in ihrem eigenen Betrieb aussieht.

Der vorliegende Artikel ist das Resultat einer kleinen Untersuchung des Fachbereichs Forsteinrichtung der ETH. Ziel dieser Untersuchung war es, den Gesundheitszustand des Waldes auf Betriebsebene zu schätzen und gleichzeitig im Hinblick auf weitere Arbeiten methodische Erfahrungen zu sammeln.

Folgende Fragestellungen dienten als Grundlage für die Planung der Erhebung:

- Lassen sich Gesundheitszustand und -entwicklung des Waldes auf Betriebsebene mit einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis und genügender Genauigkeit erfassen?
- Welche Rolle spielt der Beobachter als Fehlerquelle bei der Taxation der Schäden?
- Ist es möglich, auf Betriebsebene gewisse Zusammenhänge zwischen Gesundheitszustand und individuellen Baum- und Standortmerkmalen, wie zum Beispiel sozialer Stellung, Kronenlänge, Exposition, geographischer Lage usw. festzustellen?

Für die Untersuchung wurde das Revier «Schaffhausen» der Forst- und Güterverwaltung der Stadt Schaffhausen ausgewählt. Die Erhebung wurde nur terrestrisch durchgeführt. Die Aufnahmen erfolgten in der Zeit vom 15. Dezember 1983 bis 3. Februar 1984. Der Einbezug von Infrarot-Luftbildern als ergänzende Informationsquelle ist für einen späteren Zeitpunkt vorgesehen.

Alle Auswertungen wurden mit dem Statistik-Programm-Paket SAS (Statistical Analysis System) auf der IBM 3087 der Universität Zürich durchgeführt.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das 367 ha grosse Revier «Schaffhausen» der Forst- und Güterverwaltung der Stadt Schaffhausen umfasst die Distrikte Buchthalen, Solenberg, Wegenbach und Langgrund. Das Zentrum des Untersuchungsgebietes liegt rund 3,5 km nordöstlich des Stadtkerns von Schaffhausen, also in der Hauptwindrichtung des nächstgelegenen Ballungsgebietes.

Die Bestände stocken vorwiegend auf tiefgründigen, sauren Braunerden bis Parabraunerden. Der Untergrund besteht aus würmeiszeitlichen, kiesig-sandigen Grundmoränen des Rheingletschers. Das Revier weist eine unterschiedliche Topographie auf: Im westlichen Teil fällt es mässig steil gegen das von der Industrie genutzte «Herblingertal» ab, das gleichzeitig die Hauptverkehrsachse Schaffhausen—Thayngen bildet. Der mittlere und öst-

liche Teil ist eben bis mässig nach Osten geneigt und abwechslungsweise von Mulden und Kuppen durchsetzt. Das Untersuchungsgebiet liegt in einer Höhenlage zwischen 430 und 500 m ü.M.

Die Waldungen sind zur Hauptsache den anspruchsvollen Buchenwäldern zuzuordnen. Der Nadelholzanteil liegt bei 60 % des Vorrates oder 47 % der Stammzahl. Die Baumartenzusammensetzung nach Stammzahl ergibt folgendes Bild: 30 % Fichte (39 000 St.), 10 % Föhre (13 000 St.), 5 % Tanne (6500 St.), 2 % übriges Nadelholz; 42 % Buche, 5 % Eiche, 6 % übriges Laubholz. Die Entwicklungsstufen sind flächenmässig folgendermassen verteilt: 17 % Jungwuchs/Dickung, 12 % Stangenholz, 27 % Baumholz I, 32 % Baumholz II und 12 % Altholz.

3. Methoden

3.1 Aufnahmeverfahren

Aufgrund statistischer Überlegungen wurde für die Erhebung ein Stichprobenverfahren mit systematischer Probeflächenverteilung (Netzlinsenabstand 200 x 200 m, das heisst 1 SP/4 ha) gewählt. Von jedem Probeflächenzentrum aus wurden die 15 nächststehenden Nadelbäume (Fichten, Tannen und Föhren ab 8 cm BHD) nach ihrem Gesundheitszustand beurteilt. Die Aufnahmen beschränkten sich auf Bestände der Entwicklungsstufen Stangenholz oder älter, die einen Nadelholzanteil von mindestens 50 % aufwiesen. Rund 10 % der total 55 Probeflächen (6 SP) wurden permanent eingerichtet, so dass auf diesen Flächen Folgeaufnahmen möglich sind.

Jeder Baum wurde von drei unabhängig voneinander urteilenden Taxatoren, die sich jedoch zu Beginn der Aufnahme gemeinsam in der Ansprache des Gesundheitszustandes geübt hatten, nach Schadstufen klassiert. Dabei erfolgte die Klassierung nach den von der EAFV für das LFI und die Sanasilva-Umfrage 1983 erarbeiteten Kriterien (Nadelverlust 0–10 %: gesund; 10–50 %: kränkelnd; 50–75 %: krank; > 75 %: absterbend; 100 %: tot). Zusätzlich wurden von jedem Baum die Baumart, der Brusthöhendurchmesser, die soziale Stellung und die Kronenlänge erfasst. Pro Probefläche wurden der Bestandestyp (nach Entwicklungsstufe, Mischung und Schlussgrad) sowie die Exposition und die Geländeform (Ebene, Senke, Hang oder Kuppe) bestimmt.

3.2 Statistische Methode für die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Gesundheitszustand und deskriptiven Merkmalen

Die statistische Auswertung der Ergebnisse basiert auf einem sogenannten logistischen Modell, welches den Baum als Beobachtungseinheit voraussetzt und eine Dichotomisierung der Schadstufen erfordert.

Es wurde eine Zusammenfassung der Schadstufen in die Klassen «gesund» und «nicht gesund» (= kränkelnd, krank, absterbend oder tot) vorgenommen. Für die Auswertung wurde jeweils der mediane Wert der Ansprachen der drei Taxatoren verwendet.

Die ganz unterständigen Bäume wurden von der Auswertung ausgeschlossen, da der Gesundheitszustand dieser Bäume wegen Berücksichtigung der ohnehin schlechten Wachstumsbedingungen von den Beobachtern systematisch besser eingestuft wurde.

Das logistische Modell ist formal der multiplen Regression ähnlich, berücksichtigt aber die binäre Struktur der Daten. Es beschreibt die individuelle Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Baum bei gegebenen explikativen Variablen für die Probefläche (Exposition, Geländeform, Bestandesdichte usw.) und für den Einzelbaum (Baumart, BHD, soziale Stellung, Kronenlänge) den Zustand «gesund» aufweist. Damit kann der Zusammenhang zwischen einem ganz bestimmten Faktor und dem Gesundheitszustand untersucht werden, wenn alle anderen Variablen gedanklich konstant gehalten werden.

Das Modell hat bisher nur deskriptiven Charakter und bedarf einer «kausalen» Erweiterung (wie zum Beispiel Boden- und Luftparameter). Wir sind aber der Meinung, dass es eine vielversprechende und in der Tat sehr erwünschte Flexibilität liefern kann.

Für eine ausführliche Diskussion siehe Anhang.

4. Resultate und Interpretationen

4.1 Allgemeiner Gesundheitszustand von Fichte, Föhre und Tanne im Revier Schaffhausen

Bei der Stichprobeninventur Winter 1983/84 wurden total 492 Fichten, 246 Föhren und 86 Tannen nach ihrem Gesundheitszustand klassiert.

Gemäss dieser Untersuchung sind im Forstrevier Schaffhausen noch 25 % aller Fichten, 9 % der Föhren und 10 % der Tannen, die älter als Stangenholzstufe sind, als gesund zu bezeichnen. Die Standardfehler dieser Schätzungen sind rund $\pm 2,5$ % für Fichte, $\pm 4,0$ % für Föhre und $\pm 5,6$ % für Tanne (siehe *Anhang 1*). Diese unterschiedlichen Genauigkeiten ergeben

sich aus den verschiedenen Stammzahlen pro Baumart und der Inhomogenität der Verteilungen im Gelände. So zeigt die räumliche Betrachtung der Verteilung des Gesundheitszustandes der Fichte, dass die Mehrzahl der Probe­flächen mit einem Anteil von mehr als 50 % gesunder Fichten im nördlichen Teil des Gebietes konzentriert ist. Gesamthaft für alle drei Baumarten beträgt der Anteil gesunder Bäume 19 % (Abbildung 1).

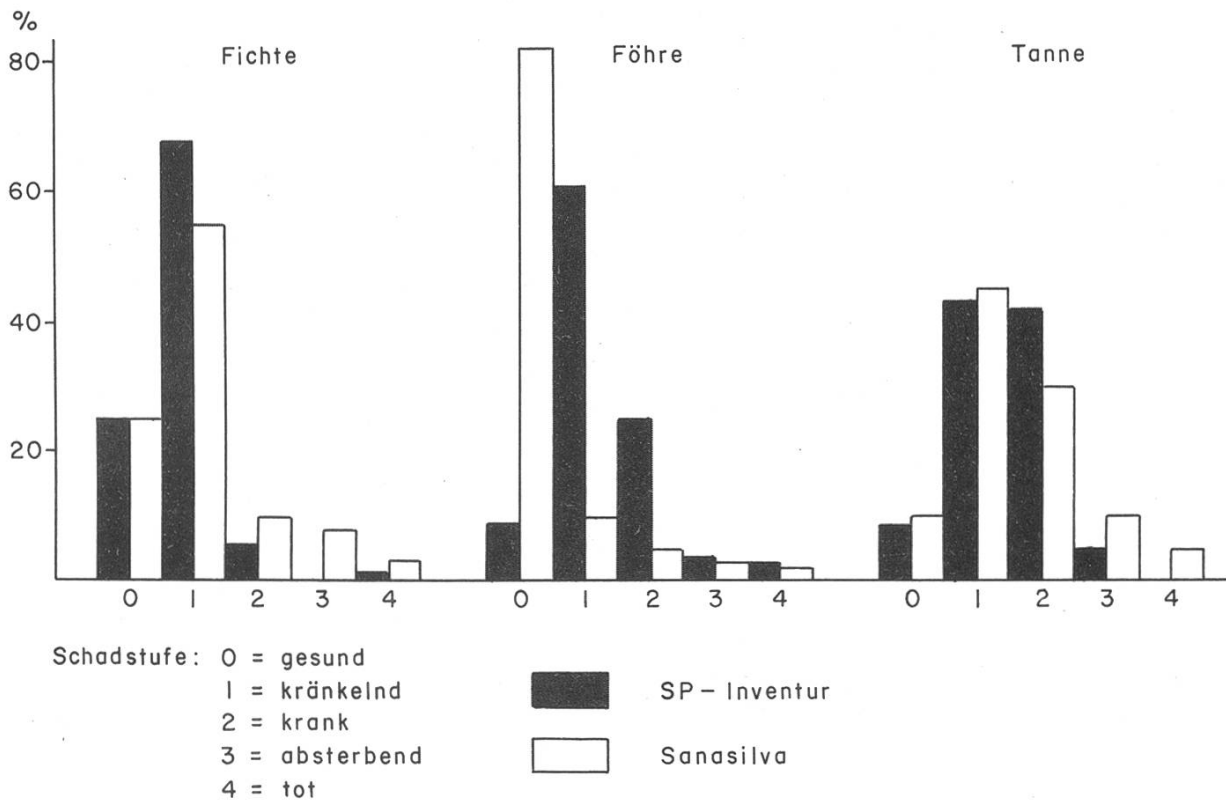


Abbildung 1. Vergleich der Inventurresultate mit der Sanasilva-Erhebung 1983 im Revier Schaffhausen.

Der Vergleich der Inventurresultate mit den im selben Jahr (Oktober 1983) vom örtlichen Forstdienst im Rahmen von Sanasilva in diesem Revier durchgeführten Schätzungen zeigt bei Fichte und Tanne eine gute Übereinstimmung. Beide Erhebungen ergaben einen gleich grossen Anteil an noch gesunden Bäumen.

Auffällig sind hingegen die grossen Abweichungen bei der Ansprache der Föhre. Während die Sanasilva-Erhebung noch 82 % als gesund einschätzte, ergab die Stichprobeninventur nur einen Anteil von 9 %; 61 % wurden als kränkelnd eingestuft. — Auch wenn man berücksichtigt, dass es sich bei den Sanasilva-Werten lediglich um eine Schätzung des örtlichen Forstdienstes handelt, sind die Unterschiede bei der Föhre doch gravierend. Die Abgrenzung von gesunden zu kränkelnden Föhren scheint also recht unsicher zu sein.

4.2 Einfluss des Beobachters

Von den 762 nicht unterständigen Bäumen wurden 522 oder 69 % durch die drei Beobachter gleich klassiert. Bei 239 Bäumen (31 %) wich jeweils die Beurteilung eines Beobachters von derjenigen der beiden andern ab.

Die Übereinstimmungen bei den einzelnen Baumarten können *Tabelle 1* entnommen werden.

Tabelle 1. Vergleich der Schadenbeurteilung zwischen 3 Beobachtern (Übereinstimmung zwischen den Ansprachen).

| | Übereinstimmung durch 3 Beobachter | Übereinstimmung durch 2 Beobachter | keine Übereinstimmung |
|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Fichte | 309 = 70 % | 131 = 30 % | 0 = 0 % |
| Föhre | 161 = 65 % | 84 = 34 % | 1 = 1 % |
| Tanne | 52 = 68 % | 24 = 32 % | 0 = 0 % |
| Total | 522 = 69 % | 239 = 31 % | 1 = 0 % |

Die Abweichungen zwischen zwei Beobachtern bei der Ansprache der Schadstufen wurden einem χ^2 -Test für Symmetrie (*Bishop et al. 1974*) unterzogen. Mit diesem Test kann ausgesagt werden, ob die unterschiedlichen Baumbeurteilungen nur zufällig oder signifikant voneinander abweichen. Es wurden lediglich die Werte der Schadstufen gesund, kränkelnd und krank untersucht, da in den übrigen Schadstufen zu wenig Beobachtungen vorliegen. Die Resultate dieses Tests sind in *Tabelle 2* enthalten.

Tabelle 2. Überprüfung der Abweichungen in der Schadenklassierung zwischen je zwei Beobachtern.

| Baumart | Schadstufe | Beobachter | | |
|---------|-----------------|------------|---------------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Fichte | gesund | 23,9 % | 34,7 % | 21,5 % |
| | kränkelnd | 67,8 % | 56,2 % | 69,2 % |
| | krank | 8,3 % | 9,1 % | 9,3 % |
| | Übereinstimmung | 1 ≈ 3 | 2 ≠ 1 2 ≠ 3 | 1 ≈ 3 |
| Föhre | gesund | 7,3 % | 6,9 % | 11,4 % |
| | kränkelnd | 56,9 % | 62,6 % | 61,2 % |
| | krank | 35,8 % | 30,5 % | 27,4 % |
| | Übereinstimmung | 1 ≈ 2 | 1 ≠ 3 | 2 ≈ 3 |
| Tanne | gesund | 12,8 % | 11,6 % | 9,3 % |
| | kränkelnd | 41,9 % | 44,2 % | 44,2 % |
| | krank | 45,3 % | 44,2 % | 46,5 % |
| | Übereinstimmung | | 1 ≈ 2 ≈ 3 | |

Fichte: Signifikant unterschiedliche Ansprachen wurden festgestellt einerseits zwischen Beobachter 1 und 2 (für gesund – kränkelnd), andererseits zwischen Beobachter 2 und 3 (ebenfalls gesund – kränkelnd), während die Abweichungen zwischen Beobachter 1 und 3 zufälliger Natur sind. Es lässt sich also sagen, dass Beobachter 2 bei der Beurteilung der Fichte hochsignifikant von den beiden andern abweicht. Betrachtet man die Schadstufenverteilung pro Beobachter, so fällt auf, dass Beobachter 2 einen grösseren Anteil an noch gesunden Fichten aufweist als die beiden andern.

Föhre: Die unterschiedlichen Ansprachen zwischen Beobachter 1 und 2 einerseits sowie zwischen Beobachter 2 und 3 andererseits sind als zufällig zu bezeichnen. Signifikant sind jene zwischen Beobachter 1 und 3, bei der Beurteilung sowohl zwischen «gesund – kränkelnd» als auch zwischen «kränkelnd – krank».

Tanne: Sämtliche Anspracheabweichungen zwischen den verschiedenen Beobachtern sind als zufällig zu bezeichnen. Es scheint, dass die Untersuchungsmerkmale für Tanne eindeutig nachzuvollziehen sind.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Unterschiede zwischen den Beobachtern bei den Zustandsansprachen für Fichte und Föhre zum Teil hochsignifikant sind. Vor allem die Trennung zwischen gesund und kränkelnd bei Fichte scheint Probleme zu bereiten. Hierzu ist zu bemerken, dass die Stufengrenze mit 10 % Nadelverlust schwierig zu erkennen ist; die Übergänge sind fließend, eine genaue Ansprache ist nur bei sorgfältiger Eichung und einiger Erfahrung möglich.

4.3 Zusammenhänge zwischen Gesundheitszustand und individuellen Baum- und Standortsmerkmalen

4.3.1 Allgemeine Ergebnisse

Nach eingehenden Untersuchungen wurden schliesslich folgende Faktoren als Probeflächen-Variablen in das logistische Modell einbezogen: Die geographischen Koordinaten x, y (Bezugspunkt Schaffhausen), ihr Produkt xy , die Exposition und die Geländeform. Die Höhe ü.M., der Mischungsgrad und die Bestandesdichte zeigten keine statistische Bedeutung und wurden deshalb im in den *Tabellen 3* und *4* dargestellten Modell nicht berücksichtigt. Die Entwicklungsstufe erscheint implizit im BHD der Einzelbäume. Als baumindividuelle Merkmale wurden die Baumart und der BHD (getrennt nach Baumart), für Fichten auch die soziale Stellung und die Kronenlänge einbezogen. (Für Tanne und Föhre erwiesen sich letztere als statistisch nicht von Bedeutung.)

Die Resultate der statistischen Auswertung sind in den *Tabellen 3* und *4* zusammengestellt.

Tabelle 3. Übersicht der Auswertung mit logistischem Modell.

| Quelle | Freiheitsgrade | CHI-Quadrat | Überschreitungs- wahrscheinlichkeit |
|-----------------------------|----------------|-------------|--|
| Interzept | 1 | 1,69 | 0,19 |
| x | 1 | 0,10 | 0,76 |
| y | 1 | 3,92 | 0,05* |
| xy | 1 | 0,58 | 0,45 |
| Exposition | 3 | 10,11 | 0,02* |
| Terrain | 3 | 5,90 | 0,12 |
| Baumart | 2 | 24,10 | 0,0001*** |
| Soziale Stellung bei Fichte | 3 | 26,49 | 0,0001*** |
| BHD, getrennt nach Baumart | 3 | 34,44 | 0,0001*** |
| Kronenlänge bei Fichte | 2 | 11,70 | 0,003** |

Tabelle 4. Schätzung der Parameter.

| Parameter | Schätzung (1) | Standard- abweichung (1) | Überschreitungs- wahrscheinlichkeit |
|---------------------------------|------------------|--------------------------------|--|
| Interzept | -4,13 | 3,18 | 0,19 |
| x | 0,35 | 1,12 | 0,76 |
| y | 2,02 | 1,02 | 0,05 |
| xy | -0,25 | 0,34 | 0,45 |
| Exposition: | Nord | 0,58 | 0,23 |
| | Ost | -0,60 | 0,26 |
| | Süd | 0,18 | 0,27 |
| | West | -0,16 | — |
| Terrain: | Ebene | 0,44 | 0,21 |
| | Hang | 0,21 | 0,26 |
| | Krete | -0,72 | 0,36 |
| | Senke | 0,07 | — |
| Baumart: | Fichte | 1,59 | 0,81 |
| | Föhre | -4,10 | 0,99 |
| | Tanne | 2,51 | — |
| Soziale Stellung bei Fichte: | vorherrschend | 2,83 | 0,56 |
| | herrschend | -0,36 | 0,23 |
| | mitherrschend | -1,24 | 0,30 |
| | beherrscht | -1,23 | — |
| BHD | bei Fichte | -0,08 | 0,02 |
| | bei Föhre | 0,01 | 0,02 |
| | bei Tanne | -0,24 | 0,09 |
| Kronenlänge bei Fichte: | lang | 1,32 | 0,60 |
| | mittel | -0,15 | 0,32 |
| | kurz | -1,17 | — |

(1) Auf 2 Dezimalstellen gerundet.

(2) Der Wert des letzten Parameters ist gleich der Summe der Werte der anderen Parameter mit umgekehrtem Vorzeichen.

4.3.2 Zusammenhänge zwischen Probeflächenmerkmalen und Gesundheitszustand

Eine statistisch signifikante Beziehung konnte zwischen dem Gesundheitszustand der Bäume und der Exposition nachgewiesen werden: Ost-Exposition wirkt sich negativ aus, Nord-Exposition positiv (*Abbildung 2*).

Lokal scheint der Gesundheitszustand umso besser zu sein, je weiter nördlich ein Baum von Schaffhausen entfernt ist (je grösser der y-Parameter ist).

Für die signifikant stärkeren Schäden bei Ost-Exposition, ebenso für die mit zunehmender Distanz von der Stadt Schaffhausen abnehmenden Schäden lassen sich aufgrund der erhobenen Daten auch unter Berücksichtigung der Windverhältnisse keine einleuchtende Erklärungen finden.

Was die Geländeform anbelangt, so gibt es Anzeichen dafür, dass sich ebenes Gelände positiv auswirkt, im Gegensatz zur Kretenlage, die einen negativen Einfluss ausübt.

Die verstärkt auftretenden Schäden in Kretenlage dürften mit der stärkeren Windexponiertheit dieser Standorte zusammenhängen. Ähnliche Beobachtungen wurden auch in anderen Untersuchungen gemacht (*Spiecker 1984, Reichelt 1983*).

Bestandesdichte, Mischungsgrad und Höhe ü.M. sowie der Abstand in Ost-West-Richtung von Schaffhausen sind in bezug auf den Gesundheitszustand statistisch nicht signifikant.

Die häufige Beobachtung, dass mit abnehmender Bestandesdichte die Schäden zunehmen (zum Beispiel *Denstorf et al., 1984; Spiecker, 1983*), konnte nicht bestätigt werden. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass der Bestandesschluss in den meisten Probeflächen geschlossen oder gedrängt war. Nur in 3 von 55 Probeflächen war das Kronendach lückig.

4.3.3 Zusammenhänge zwischen Einzelbaummerkmalen und Gesundheitszustand

Baumart: Um eine Aussage über den Zusammenhang zwischen Baumart und Gesundheitszustand machen zu können, ist es notwendig, den BHD mitzuberücksichtigen.

Vereinfachend lässt sich folgendes sagen: ($>$ = «gesünder als»)

bei BHD 10–25 cm: $F_i > T_a > F_ö$

25–55 cm: $F_i > F_ö \approx T_a$

55 cm: $F_ö \approx F_i \approx T_a$

BHD: Während sich bei der Föhre kein Zusammenhang zwischen Gesundheitszustand und BHD nachweisen lässt, ist der Einfluss bei Fichte und Tanne hochsignifikant: Je dicker ein Baum ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass er geschädigt ist (*Abbildungen 2 bis 4*). Dieser Zusammenhang ist bei Tanne noch viel deutlicher als bei Fichte. Aus *Abbildung 2* kann man ablesen, dass der Anteil nicht gesunder Fichten bei einem BHD von 30

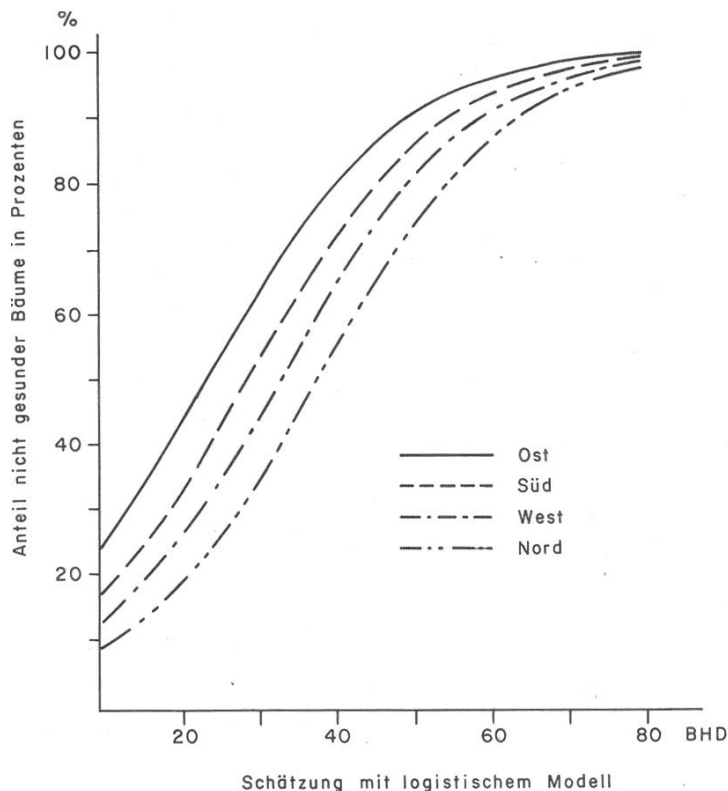


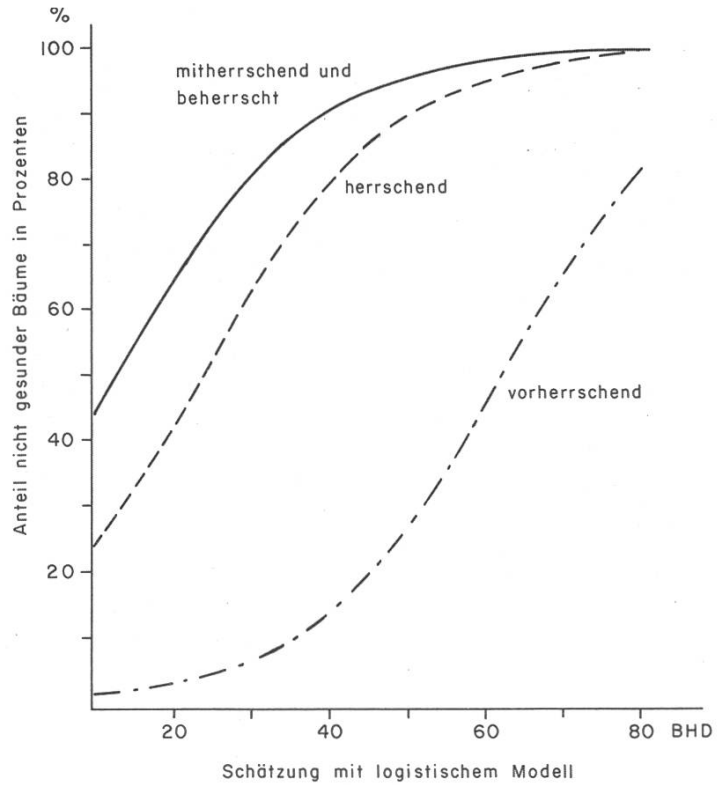
Abbildung 2. Beziehung zwischen Exposition, BHD und Gesundheitszustand bei Fichte. (Herrschende Fichten mit mittlerer Kronenlänge auf ebenem Terrain im Zentrum des Aufnahmegebietes).

cm je nach Exposition zwischen 35 % und 63 % liegt, während er bei einem BHD von 50 cm zwischen 72 % und 89 % schwankt. Diese Aussage bezieht sich auf herrschende Bäume mit mittlerer Kronenlänge.

Die starke Zunahme der Schäden bei Fichte und Tanne mit zunehmendem Durchmesser ist nicht überraschend, wenn man berücksichtigt, dass der BHD stark mit dem Alter korreliert ist. Dass ältere Bestände anfälliger sind und eher Krankheitssymptome aufweisen als junge Bestände, ist eine allgemein bekannte Feststellung (Denstorf 1984, Kennel 1984, Moosmayer et al. 1984, Reichelt 1983).

Soziale Stellung: Bei Föhre und Tanne ist kein Einfluss der sozialen Stellung auf den Gesundheitszustand feststellbar, wohl aber bei Fichte. Während zwischen mitherrschenden und beherrschten Fichten kein Unterschied bemerkbar ist, ist der Gesundheitszustand herrschender und vorherrschender Fichten bei sonst gleichen Bedingungen deutlich besser. Nach *Abbildung 3* sind zum Beispiel bei einem BHD von 30 cm schon 79 % der mitherrschenden und beherrschten Fichten nicht mehr gesund, während es bei den herrschenden 63 %, bei den vorherrschenden 6 % sind. Bei einem BHD von 50 cm sind es 95 % der mitherrschenden und beherrschten, 89 % der herrschenden und 26 % der vorherrschenden. Die grosse Differenz zwischen herrschenden und vorherrschenden Fichten muss allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da nur sehr wenige Fichten als vorherrschend angesprochen worden sind. Dennoch lässt sich für unsere Untersuchung feststellen: je besser die soziale Stellung einer Fichte ist, desto besser ist (bei sonst gleichen Bedingungen) ihr Gesundheitszustand.

Abbildung 3. Beziehung zwischen sozialer Stellung, BHD und Gesundheitszustand bei Fichte. (Fichten mit mittlerer Kronenlänge auf ebenem Terrain mit Ost-Exposition im Zentrum des Aufnahmegebietes).



Kronenlänge: Einzig bei der Fichte lässt sich ein signifikanter Einfluss der Kronenlänge auf den Gesundheitszustand nachweisen: Je länger die Krone, desto besser der Gesundheitszustand der Fichte. *Abbildung 4* zeigt, dass bei einem BHD von 30 cm 28 % der langkronigen, herrschenden, ost-exponierten Fichten nicht mehr gesund sind, während es bei den Bäumen mit mittlerer Kronenlänge bereits 63 %, bei den kurzkronigen sogar 82 % sind. Bei

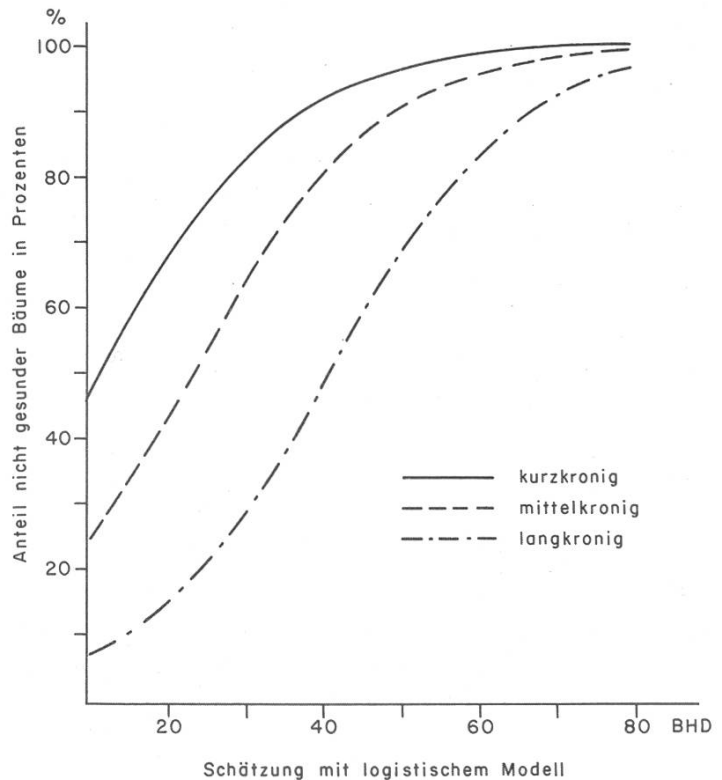


Abbildung 4. Beziehung zwischen Kronenlänge, BHD und Gesundheitszustand bei Fichte. (Herrschende Fichten auf ebenem Terrain mit Ost-Exposition im Zentrum des Aufnahmegebietes).

einem BHD von 50 % sind die Anteile nicht gesunder Fichten 67 % bei den langkronigen, 89 % bei den mittelkronigen und 95 % bei den kurzkronigen. Angesichts der geringen Anzahl langkroniger Fichten ist auch hier die Differenz zwischen mittel- und langkronig mit Vorsicht zu betrachten.

Die positive Wirkung sowohl einer besseren sozialen Stellung als auch einer langen Krone auf den Gesundheitszustand bei Fichte zeigt, dass Bäume, deren allgemeine Vitalität und Stabilität gefördert wurden, auch widerstandsfähiger gegenüber dem «Waldsterben» sind. Diese Feststellung machte Spiecker (1983 und 1984) auch für die Tanne, was sich jedoch durch unsere Untersuchung nicht bestätigen lässt. Allerdings muss auch hier der relativ geringe Stichprobenumfang für die Tanne berücksichtigt werden.

4.3.4 Überprüfung des logistischen Modells

Das Modell wurde mit einem Chi-Quadrat-Verfahren überprüft. Die qualitative Übereinstimmung war allgemein recht gut. In über 90 % der Proben war keine signifikante Abweichung zwischen dem Modell und den erhobenen Daten feststellbar. Der Anhang enthält eine detaillierte Diskussion.

4.4 Zeitaufwand

Für die Aufnahme einer temporären Probefläche im Gelände, inklusive Verschiebung zwischen den Probeflächen, wurden durchschnittlich 35 Minuten, für die einer permanenten Probefläche 45 Minuten benötigt. Gesamthaft nahmen die Feldarbeiten der Dreier-Gruppe für die Inventur des Gesundheitszustandes des 367 ha grossen Reviers (Aufnahme von 6 permanenten und 49 temporären Probeflächen) 5 Tage in Anspruch.

Eine Kosten-Nutzen-Analyse der in Schaffhausen angewandten Erhebungsmethode kann erst durchgeführt werden, wenn die Ergebnisse von Untersuchungen in anderen Betrieben vorliegen.

5. Schlussfolgerungen

Zur Erfassung des Gesundheitszustandes und der -entwicklung des Waldes auf Betriebsebene gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die optimale Erhebungsmethode ist abhängig von den Informationen, die dem Betrieb bereits durch andere Inventuren zur Verfügung stehen und von den Kosten, die die Erhebung verursachen darf. Sind zum Beispiel in einem Betrieb die Stammzahlen pro Baumart durch eine Vollkluppierung bekannt, so muss die Erhebung des Gesundheitszustands nur noch Auskunft über die prozentuale

Verteilung der Bäume auf die verschiedenen Schadstufen geben. Eine solche Erhebung kann relativ einfach sein. Soll aber die Waldschadenserhebung, getrennt nach Baumarten, die absoluten Stammzahlen pro Schadstufe liefern, wird sie intensiver und somit teurer sein. Im Fall «Schaffhausen» wurde eine Methode gewählt, die vor allem auf die Schätzung des Anteils «nicht gesunde Fichten» ausgerichtet ist, die aber gleichzeitig die Untersuchung gewisser Zusammenhänge erlaubt.

Die Resultate der Erhebung zeigen, dass der Gesundheitszustand des Nadelholzes in den Entwicklungsstufen Stangenholz und älter im Revier Schaffhausen im Winter 1983/84 sehr schlecht war: Rund 75 % der Stammzahl der Fichten, 90 % der Föhren und 90 % der Tannen waren nicht mehr gesund. Die Differenzen, die bei der Schadensbeurteilung zwischen den drei Taxatoren aufgetreten sind, zeigen, dass es nötig ist, bei der Planung einer Erhebung auch die praktische Durchführung der Ansprache gut vorzubereiten. Dazu gehört sowohl die Formulierung möglichst objektiver Aufnahmekriterien als auch die Schulung der Taxatoren. Die statistisch gesicherten Zusammenhänge zwischen dem Gesundheitszustand eines Baumes einerseits, BHD, Kronenlänge und sozialer Stellung andererseits, bilden nützliche Entscheidungsgrundlagen für den Waldbau. Man denke zum Beispiel an die Beobachtung, dass bei langkronigen Fichten der Gesundheitszustand im allgemeinen besser ist als bei kurz-kronigen.

Die Untersuchung hat zwar viele nützliche Resultate geliefert, aber auch eine Menge neuer Fragen aufgeworfen. Es müssen noch andere Untersuchungen gemacht werden, um abzuklären, welches die geeignetste Methode zur Erhebung des Gesundheitszustandes des Waldes auf Betriebsebene ist. Insbesondere muss noch geprüft werden, wieviele Probeflächen erforderlich sind, welche Form und welche Art der Probefläche am geeignetsten ist und wie das Verhältnis zwischen der Anzahl temporärer und der Anzahl permanenter Probeflächen sein muss. Die Frage nach der Genauigkeit der erhaltenen Schätzwerte ist nicht ohne weiteres zu beantworten und verlangt noch einige statistische Überlegungen. Im Hinblick auf die Ansprache des Gesundheitszustandes der Bäume muss noch untersucht werden, ob es besser ist, den Baum von allen Seiten zu beurteilen (wie es im Fall «Schaffhausen» gemacht wurde), oder ob eine Ansprache von nur einer Seite statistisch effizienter ist. Eine andere offene Frage ist die, welche standörtlichen Merkmale, die möglicherweise in Beziehung zum Waldsterben stehen, zusätzlich aufgenommen werden sollen. Um die Eignung der gewählten Methoden zur Beurteilung der Entwicklung des Gesundheitszustandes zu prüfen, müssen wir auf die Folgeaufnahmen warten. Ebenfalls noch abzuklären ist die Frage, wie sich die IR-Luftbilder am besten mit den terrestrischen Aufnahmen kombinieren lassen.

Diese und andere Fragen werden gegenwärtig vom Fachbereich Forsteinrichtung in Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen des Instituts für

Wald- und Holzforschung, mit der EAFV und der forstlichen Praxis, im Rahmen eigener Untersuchungen sowie im Rahmen verschiedener anderer Projekte (Sanasilva, NFP 12, NFP 14) bearbeitet.

An dieser Stelle möchten wir Herrn R. Fehr, Forstmeister der Stadt Schaffhausen, Herrn Schudel, dem Förster des Reviers, sowie den Behörden der Stadt Schaffhausen dafür danken, dass sie uns ihre Waldungen für unsere Untersuchung zur Verfügung gestellt haben.

Résumé

L'état de santé des forêts du triage de Schaffhouse

Méthodes et problèmes concernant l'échantillonnage au niveau de l'entreprise

Dans le but d'étudier l'état et le développement sanitaire au niveau de l'entreprise forestière, et, parallèlement, les associations potentielles entre l'état de santé et les caractéristiques aussi bien stationnelles que propres à l'arbre individuel, la chaire d'aménagement des forêts de l'EPFZ a effectué à Schaffhouse un inventaire par échantillonnage. L'influence de l'observateur sur la classification de l'état sanitaire fut également l'objet d'une étude particulière.

A partir de chaque point d'un réseau d'échantillonnage systématique, les 15 résineux les plus proches furent classés selon leur état sanitaire, et ce par 3 observateurs indépendants. Les paramètres concomitants tels que essence, dhp, position sociale, longueur de cime, exposition, relief etc. furent également relevés.

L'analyse statistique repose en partie sur l'utilisation d'un modèle de régression logistique et donne les résultats suivants:

- D'une façon générale seulement 19 % des arbres peuvent être considérés comme sains (épicéa, sapin, pin confondus). 75 % des épicéas, 90 % des sapins et pins révèlent déjà des signes de dépérissement.
- Certaines différences de taxation entre les observateurs sont statistiquement hautement significatives.
- L'état sanitaire dépend significativement de l'exposition, du relief et de la latitude, alors qu'il n'y a pas d'évidence pour une dépendance en fonction de la densité, du degré de mélange, de l'altitude et de la longitude.
- Le dhp a un effet très significatif sur l'état sanitaire du sapin et de l'épicéa (détérioration marquée pour les gros arbres), de même que la position sociale et la longueur de cime chez l'épicéa (une bonne position sociale et une longue cime influencent positivement l'état sanitaire), alors que pour le sapin et le pin une évidence statistique pour une telle association n'est pas établie.

Résumé: *D. Mandallaz*

- Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt*, 1983: Bayerische Waldschadensinventur 1983. Arbeitsanweisung.
- Bishop, Y., Fienberg, S., Holland, P.*, 1974: Discrete Multivariate Analysis. Chapter 8. MIT, Cambridge.
- Bucher, J. B., Kaufmann, E., Landolt, W.*, 1984: Waldschäden in der Schweiz 1983 (Teil I). Interpretation der Sanasilva-Umfrage und der Fichtennadelanalysen aus der Sicht des forstlichen Immissionsschutzes. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 135, 4: 271–287.
- Cochran, W. G.*, 1977: Sampling techniques, Wiley, New-York.
- Cox, D. R.*, 1977: Analysis of Binary Data. Chapman and Hall, London.
- Denstorf, O., Heeschen, G., Kenneweg, H.*, 1984: Ergebnisse der grossräumigen Inventur von Waldschäden 1983 mit Farb-Infrarot-Luftbildern im südlichen Schleswig-Holstein. *Allg. Forst- und Jagdztg.*, 155, 6: 126–131.
- Forst- und Güterverwaltung der Stadt Schaffhausen*: Waldwirtschaftsplan Revier Schaffhausen. Zwischenrevision 1979.
- Information der Bayerischen Staatsforstverwaltung 4/83*. Sonderheft: Waldsterben – Waldschadensinventur 1983.
- Kendall, M., Stuart, A.*, 1978: The Advanced Theory of Statistics. Vol. II. Griffin & Co, London.
- Kennel, E.*, 1984: Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1983 in Bayern. *Allg. Forstzeitschr.* 39, 14/15: 350–351.
- Mahrer, F., Brassel, P., Stierlin, H. R.*, 1984: Erste Ergebnisse zum Waldsterben aus dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI). *Schweiz. Z. Forstwes.*, 135, 4: 289–306.
- Moosmayer, H. U., Schöpfer, W., König, E.*, 1984: Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1983 in Baden-Württemberg. *Allg. Forstzeitschr.*, 39, 14/15: 345–349.
- Reichelt, G.*, 1983: Untersuchungen zum Nadelbaumsterben in der Region Schwarzwald-Baar-Heuberg. *Allg. Forst- und Jagdztg.*, 154, 4/5: 66–75.
- Schöpfer, W., Hradetzky, J.*, 1983: Zielsetzungen, Methoden und Probleme der terrestrischen Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983. *Mitt. Forstl. Versuchs- und Forschungsanst. Baden-Württemberg*, 107.
- Spiecker, H.*, 1983: Zusammenhänge zwischen sozialer Stellung, Kronenlänge, Kronenschluss und der Gesundheit von Weisstannen. *Allg. Forstzeitschr.*, 38, 17: 442–443.
- Spiecker, H.*, 1984: Erfassung erkrankter Waldbäume bei der Forsteinrichtung und Folgerungen für die Planung. *Allg. Forstzeitschr.*, 39, 14/15: 369–371.

Anhang: Statistische Grundlagen

1. Versuchsplanung und Fehlerrechnung

Um eine zweckmässige Planung der Erhebung zu gewährleisten, wurde folgendes Teilziel formuliert: Gewünscht ist eine Schätzung \hat{P} des Anteils P an gesunden Fichten des Forstbetriebes, wobei der Vertrauensbereich 95 % der Schätzung 5 % (an gesunden Fichten) sein soll. Dabei sollen die Kosten der Erhebung so klein wie möglich gehalten werden.

Aufgrund der Annahme, dass bei der Fichte die Ansprache «gesund» binomial verteilt ist und rund 30 % der Stammzahl des Betriebes Fichten sind, wurde abgeleitet, dass rund 60 Probeflächen à 15 Bäume nötig sind, um das oben formulierte Teilziel zu erreichen.

Leider ist es uns noch nicht möglich, die im Versuch erreichte Genauigkeit der Schätzung des Anteils an gesunden Fichten einwandfrei zu prüfen. Da wir nicht eine

zufällige Einzelbaumstichprobe gewählt haben, sondern eine Stichprobe mit Gruppen von 15 Bäumen, kann das beobachtete Merkmal «gesunder Baum» nicht generell als binomial verteilt betrachtet werden. Hinzu kommt, dass die Stichprobe systematisch ist, so dass eine richtige Fehlerrechnung nur unter Kenntnis der räumlichen Verteilung der untersuchten Grössen möglich ist.

Die angegebenen Vertrauensgrenzen wurden nach dem Verfahren von Cochran für zufällige Klumpenstichproben errechnet. In der Regel weisen systematische Netze eine kleinere Varianz auf, so dass die auf rund 5 % geschätzte Standardabweichung für den Anteil (25 %) gesunder Fichten (Kap. 4.1) die gestellten Anforderungen im nachhinein zu erfüllen scheint (Cochran 1977, Ka. 8).

2. Statistische Auswertung

2.1 Allgemeines

Für die Auswertung sind im wesentlichen zwei Strategien möglich: Man kann entweder die Probefläche oder den Baum als Beobachtungseinheit definieren. Im ersten Fall entstehen Schwierigkeiten wegen der relativ kleinen Stichprobengrösse (sowohl Anzahl Probeflächen als auch Anzahl Bäume pro Probe), der Vermengung von Faktoren wie Alter (BHD), sozialer Stellung, Kronenlänge und zum Teil Baumart. Eine Stratifizierung ist aufgrund der kleinen Häufigkeiten nicht möglich. Aus diesen Gründen wurde der vorliegenden Untersuchung ein sogenanntes logistisches Modell zu Grunde gelegt, welches den Baum als Beobachtungseinheit voraussetzt und eine Dichotomisierung der Schadstufen erfordert. In einer ersten Einteilung wurden die Schadstufen in die Klassen «gesund» und «nicht gesund» (= «kränkelnd», «krank», «absterbend» oder «tot») zusammengefasst, in einer zweiten in die Klassen «gesund bis kränkelnd» und «krank, absterbend oder tot». Dabei wurde jeweils der mediane Wert der Ansprachen der drei Taxatoren verwendet.

Es zeigte sich, dass mit den vorliegenden Daten im Rahmen der zweiten Einteilung keine vernünftige differenzierte Modellierung möglich war, was teilweise auf die relativ kleine Anzahl stark geschädigter Bäume und auf die geringe räumliche Ausdehnung des untersuchten Gebietes zurückgeführt werden kann. Deshalb beschränken wir uns hier auf die Besprechung der Auswertung aufgrund der ersten Einteilung. Wir möchten es auch nicht unterlassen, auf die nicht vollständig eliminierbare Willkür in der Auswahl eines jeden Modells und auf die noch beschränkte Aussagekraft preliminärer Auswertungen hinzuweisen. Zahlreiche Modelle wurden durchgerechnet, um schliesslich zu einem sowohl mathematisch/statistisch wie auch biologisch vernünftigen, einfachen Modell zu gelangen. Im nachhinein scheinen weitere Auswertungen von Waldschadeninventuren das gewählte Auswertungsverfahren zu bestätigen. Das Modell hat bisher nur deskriptiven Charakter und bedarf einer «kausalen» Erweiterung (zum Beispiel Boden- und Luftparameter).

2.2 Das logistische Modell

Notation:

Y_{ij} sei eine binäre Zufallsvariable, welche den Wert 0 annimmt, wenn der Baum i in der Probe j gesund ist; sonst hat sie den Wert 1.

\vec{a}_j sei ein Vektor von explikativen Variablen, welche die Probefläche beschreiben, zum Beispiel geographische Lage, Exposition, Geländeform, Bestandesdichte usw.

\vec{b}_{ij} sei ein Vektor von explikativen Variablen, welche den Einzelbaum beschreiben, zum Beispiel Baumart, soziale Stellung, BHD, Kronenlänge.

Das logistische Modell beschreibt die individuelle Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Baum bei gegebenen explikativen Variablen \vec{a}_j und \vec{b}_{ij} den Zustand 0 = «gesund» aufweist, folgendermassen:

$$(1) \quad P_{ij} = P [Y_{ij} = 0 \mid \vec{a}_j, \vec{b}_{ij}] = \frac{\exp (\vec{a}_j \cdot \vec{\beta} + \vec{b}_{ij} \cdot \vec{\gamma})}{1 + \exp (\vec{a}_j \cdot \vec{\beta} + \vec{b}_{ij} \cdot \vec{\gamma})}$$

wobei $\vec{\beta}$ und $\vec{\gamma}$ unbekannte Parametervektoren sind, von derselben Dimension wie \vec{a}_j beziehungsweise \vec{b}_{ij} , und \cdot das Skalarprodukt bedeutet.

An dieser Stelle müssen wir einige wichtige methodologische Punkte hervorheben.

1. Die Beobachtungen Y_{i_1j} und Y_{i_2j} ($i_1 \neq i_2$) sind, bei gegebenen \vec{a}_j , \vec{b}_{i_1j} und \vec{b}_{i_2j} , voneinander unabhängig. Es ist somit theoretisch möglich, Konkurrenzfaktoren zwischen Bäumen via explikative Variablen teilweise zu modellieren (geschieht zum Teil durch soziale Stellung und Kronenlänge).

2. Die \vec{b}_{ij} (bei zufälligen Stichproben auch die \vec{a}_j) sind streng genommen ebenfalls Zufallsvariablen. Die statistische Auswertung setzt sie jedoch als gegeben voraus. Diese Annahme können wir dadurch rechtfertigen, dass der Gesundheitszustand als ausgezeichnete «Response-Variable» Vorrang hat und viel schneller variiert als die anderen Grössen \vec{b}_{ij} (die \vec{a}_j sind konstant). Alternative Auswertungsmöglichkeiten via log lineare Modelle sind vorhanden, führen aber zu grösseren Interpretationsschwierigkeiten und im vorliegenden Fall auch noch zu numerischen Problemen (leere Zellen).

3. Die vorliegenden Daten erlauben aufgrund ihrer Struktur keine Schätzung von Wechselwirkungen.

4. Gleichung (1) lässt sich wie folgt umformen:

$$\log \left(\frac{P_{ij}}{1 - P_{ij}} \right) = \vec{a}_j \cdot \vec{\beta} + \vec{b}_{ij} \cdot \vec{\gamma}$$

Das logistische Modell ist somit formal der multiplen Regression ähnlich, berücksichtigt aber die binäre Struktur der Daten. Eine Komponente des Parameters, zum Beispiel β_k , beschreibt den Einfluss des zugehörigen Faktors, wenn alle anderen Faktoren gedanklich konstant gehalten werden und ausgeglichen sind. Diese letzte Tatsache ist vor allem bei korrelierten explikativen Variablen für die Interpretation von grosser Bedeutung, wie dies bei der vorliegenden Studie der Fall ist (zum Beispiel BHD und soziale Stellung sind positiv korreliert). Die Parameter werden via Maximum Likelihood geschätzt. Der interessierte Leser sei auf das ausgezeichnete Buch von D. R. Cox (Analysis of Binary Data, 1977) verwiesen.

3. Überprüfung des Modells

Eine statistische Überprüfung des Modells erfolgte mit einem Chi-Quadrat-Verfahren (Goodness of fit):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^2 (O_{kj} - E_{kj})^2 / E_{kj}$$

wobei j über die N Proben geht und k über die 2 Gesundheitszustände (Cox, 1977). O_{kj} beziehungsweise E_{kj} sind die beobachteten beziehungsweise die geschätzten Häufigkeiten. Wenn das Modell richtig ist, so ist χ^2 asymptotisch zwischen zwei Chi-Quadrat-Verteilungen verteilt, mit den Freiheitsgraden $N-p$ und N , wobei p die Anzahl geschätzter Parameter im Modell ist. Dieser Test entspricht also nicht ganz dem üblichen Fall (Kendall and Stuart, 1978, S. 450–455).

Im vorliegenden Fall wird E_{kj} wie folgend berechnet:

$$E_{kj} = \sum_{i=1}^{n_j} 1 \hat{P}_{ij,k}$$

wobei $\hat{p}_{ij,k}$ die baumindividuell geschätzte Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass Baum Nr. i in der Probe j den Gesundheitszustand k aufweist. Die Schätzung beruht auf dem logistischen Modell (Formel 1 in 2.2) und auf den geschätzten Parametern für die Faktoren x , y , Exposition, Geländeform sowie Baumart, soziale Stellung, Kronenlänge und BHD gemäss *Tabelle 4*.

Für diese Untersuchung erhalten wir einen χ^2 -Wert von 103,7 mit Freiheitsgraden zwischen 35 und 55 ($N = 55$, $P = 20$), was auf hochsignifikante Abweichungen vom Modell hindeutet. Bei näherer Betrachtung fällt jedoch sofort auf, dass allein 2 Proben (Nr. 33 und 58) einen Beitrag von rund 30 an den χ^2 -Wert leisten. Diese zwei Proben weisen extreme Schadenanteile auf, dies jedoch bei qualitativ akzeptabler Übereinstimmung der Häufigkeiten (11 versus 13,6 beziehungsweise 9 versus 11,3). Diese Ausreisser sind daher vorwiegend numerischer Natur. Zudem liefern vier weitere Proben (9, 7, 13, 28) zusammen einen χ^2 -Wert von rund 24. Bei Nr. 7 und 13 waren überdurchschnittlich viele Abweichungen zwischen den Ansprachen der Beobachter festzustellen, Nr. 9 bestand nur aus gesunden Fichten (eine eindeutige Ausnahme). Der χ^2 -Wert ohne diese 6 von 55 Proben sinkt auf 50, mit Freiheitsgraden zwischen 29 und 49. Die Diskrepanz zwischen dem Modell und den Daten ist somit nicht unbedingt statistisch gesichert.

Wie aufgrund der grossen Datenmenge (757 Beobachtungen) und der – angesichts der Komplexität des Problems – Einfachheit des Modells zu erwarten war, müssen wir uns mit Abweichungen zwischen Daten und Modell abfinden. Diese Abweichungen halten sich jedoch qualitativ in Grenzen und sind für über 90 % der Proben nicht einmal statistisch signifikant und somit für die Interpretation der allgemeinen Tendenz von sekundärer Bedeutung: Dies bestätigte eine zweite Auswertung ohne die oben erwähnten Ausreisser überzeugend. Es scheint somit, dass das logistische Modell, vor allem im Hinblick auf künftige Erweiterungen mit Boden- und Luftparametern, einen vernünftigen Ansatz bietet.