

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	144 (1993)
Heft:	1
Artikel:	Zur Auswertung von Boniturdaten jährlich wiederholter Kronentaxation an Einzelbäumen
Autor:	Schwarzenbach, Fritz Hans / Oester, Bernhard
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-767076

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

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

Zur Auswertung von Boniturdaten jährlich wiederholter Kronentaxationen an Einzelbäumen

Erster Teil: Vergleiche zwischen zwei Zeitpunkten

Von *Fritz Hans Schwarzenbach* und
Bernhard Oester

FDK 531: 587.6: UDK 57.087.1

1. Grundlagen, Rahmen und Ziele

1.1 Vorgeschichte

Die Arbeit bildet Teil eines internationalen Forschungsprogrammes «Entwicklung und Anwendung biometrischer Verfahren in der Ökosystemforschung», das in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Statistik der Universität Dortmund durchgeführt wird. Im Rahmen dieses langfristig ausgerichteten Programmes sind unter anderem verschiedene methodische Studien zur Auswertung von Untersuchungen auf forstlichen Dauerbeobachtungsflächen abgeschlossen worden (W. Urfer, 1988, F. H. Schwarzenbach und W. Urfer, 1989, W. Urfer *et al.*, 1990). Im Zuge dieser Arbeiten hat sich die Frage gestellt, wie die Resultate periodisch durchgeföhrter Kronentaxationen unter Anwendung von Bewertungsverfahren (Bonitierungen) biometrisch ausgewertet werden können.

1.2 Ziele

Die vorliegende Studie hat vorerst zum Ziel, die methodischen Probleme zu klären, die sich bei der Auswertung von Boniturdaten aus zeitlich gestaffelten Erhebungen an permanenten Stichproben stellen. Die Ergebnisse dieser Abklärungen sollen anschliessend dazu dienen, einfache Verfahren der deskriptiven Statistik für die Analyse von Datensätzen aus der wiederholten Kronentaxation der gleichen Probebäume zu entwickeln. Aus methodischen Gründen werden dabei die Verfahren für den Vergleich zwischen zwei Er-

hebungen (erster Teil) und für die Auswertung von Beobachtungsreihen über drei oder mehr Zeitpunkte (zweiter Teil¹) getrennt dargestellt.

Die vorgeschlagenen Verfahren sollen einerseits dem Forstpraktiker erlauben, Boniturdaten aus zeitlich gestaffelten Wiederholungen von Kronentaxationen an geschädigten Einzelbäumen mit geringem zeitlichem Aufwand zu beurteilen und sich eine Vorstellung über den Verlauf der Kronenentwicklung zu bilden. Anderseits dienen die Ergebnisse als Grundlagen für die spätere Entwicklung und Anwendung biometrischer Methoden zur Analyse individuell erfasster Veränderungen.

Die beiden Arbeiten beschränken sich darauf, Methoden zur zahlenmässigen Verschlüsselung von Beobachtungsdaten (Schwarzenbach, 1977) in ihrer Anwendung auf wiederholte, zeitlich gestaffelte Bonitierungen der gleichen Individuen vorzustellen. Auf die Diskussion biometrischer Fragen wird weitgehend verzichtet: Zum einen werden die methodischen Probleme um die Auswertung kategorialer Daten seit einigen Jahren auf internationaler Ebene intensiv bearbeitet, so dass ein Überblick über den Stand der Forschung den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde. Zum andern laufen am Fachbereich Statistik der Universität Dortmund unter Leitung von Prof. Dr. W. Urfer mathematisch-statistische Untersuchungen zur Auswertung zeitlicher Folgen von Bonituren an permanenten Stichproben, denen nicht vorgegriffen werden soll.

1.3 Kronentaxation von Einzelbäumen im Rahmen der jährlichen Waldschadeninventuren (WSI) der Schweiz

Bei der jährlich durchgeführten Waldschadeninventur (WSI) werden in der Schweiz neben den terrestrischen Erhebungen auf nationaler Ebene in den drei Testgebieten Altdorf, Flims und Zofingen auch Kronentaxationen auf der Grundlage von Infrarot-Luftaufnahmen (IR-Luftbilder) im Massstab 1:3000 durchgeführt (*BUWAL/Eidgenössische Forstdirektion und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft/WSL, 1991*).

Oester (1991) hat sich eingehend mit den methodischen Fragen befasst, die sich bei der Beurteilung des Kronenzustandes von Einzelbäumen anhand von Infrarot-Luftbildern im Massstab von 1:3000 stellen. Dabei hat er den Zustand der Krone nach verschiedenen Gesichtspunkten untersucht und unter anderem die beiden Merkmale «Kronentransparenz» und «Kronenverfärbung» nach fünfstufigen Boniturskalen graduell bewertet. Ausserdem hat er ein Sammelmerkmal «Kronenzustand» mit fünf Bewertungsklassen eingeführt.

¹ Der zweite Teil erscheint in Heft 2 (1993) dieser Zeitschrift.

1.4 Begriffe

Bonitierung:	<i>Synonyme: Taxation, Taxationsverfahren</i> Bewerten graduell abstufbarer Merkmale an ausgewählten Objekten.
Boniturwert:	<i>Synonyme: Bewertungsziffer, Taxationswert, Boniturnote</i> Zahlenmäßig verschlüsselte Codeziffer einer Bonitierungsklasse.
Boniturklasse:	<i>Synonyme: Bonitierungsklasse, Bonitierungsstufe, Boniturstufe</i> Bezeichnung der Klasse, der die Individuen mit einem bestimmten Boniturwert zugeordnet werden.
Boniturschlüssel:	<i>Synonyme: Bonitierungsschlüssel, Bewertungsschlüssel</i> Defitorisch festgelegtes Klassifikationsverfahren für die Zuordnung von Objekten zu einer Boniturklasse anhand graduell abstufbarer Ausprägungen eines Merkmals.

2. Daten

Für diese Untersuchung werden Daten aus der Interpretation von IR-Luftbildern 1:3000 übernommen, die Oester (1991) an Luftbildern aus den Jahren 1984/1991 für die Testgebiete Flims, Altdorf und Zofingen an Fichten und Buchen erhoben hat.

Angaben über die Methoden der Luftbildinterpretation und über das Testgebiet finden sich in der Spezialliteratur (Schwarzenbach *et al.*, 1986, Oester *et al.* 1990, Scherrer *et al.*, 1990, Oester, 1991, BUWAL und WSL, 1991).

3. Gliederung

In Kapitel 4 werden Bewertungsverfahren mit ihren verschiedenen Varianten aus methodischer Sicht diskutiert und zwei oft verwendete Formen der Bonitierung vergleichend charakterisiert.

Am Beispiel der wiederholten Bonitierung eines einzigen Merkmals, das in zwei aufeinanderfolgenden Jahren an den gleichen Individuen bewertet wird, lassen sich die allgemeinen Probleme diskutieren, die sich bei Analyse von Boniturdaten aus zeitlich verbundenen Stichproben ergeben (Kapitel 5).

Dabei wird vorerst ein bisher übliches Auswertungsverfahren diskutiert und anschliessend unter der Bezeichnung «Rasterverfahren» ein einfacher Auswertungsgang mit Methoden der deskriptiven Statistik eingeführt.

Eine Erweiterung dieses Verfahrens ist notwendig, wenn die Bewertung nach einem sogenannten «unecht eindimensionalen Bonitierungsschlüssel» (*Tabelle 7*) erfolgt ist. Die Auswertung derartiger Datensätze erfordert ein mehrstufiges Vorgehen, das am Beispiel einer wiederholten Taxation der gleichen Individuen erklärt wird (Kapitel 6).

4. Bewertungsverfahren

4.1 Anwendungen

Bewertungsverfahren zählen neben den Klassifikationsmethoden zu den wichtigsten Arbeitstechniken, die bei der Lösung von Ordnungsaufgaben in den biologischen Wissenschaften benutzt werden. Sie sind bei Forschern und Praktikern als leicht anwendbare und zeitsparende Verfahren sehr beliebt und werden deshalb auf vielen Anwendungsbereichen eingesetzt (*Tabelle 1*).

Tabelle 1. Anwendungen von Bonitierungsverfahren.

-
- Qualitätsbeurteilung von Getreidesorten
 - Ansprache kronenverlichteter Waldbäume
 - Beurteilen von Nutzpflanzen auf ihre Anfälligkeit gegenüber Pilzinfektionen
 - Bonitierung des Flechtenbesatzes an Bäumen in immissionsbelasteten Industriezonen
 - Feldtaugliche Erhebungsverfahren zur Bonitierung von Wildschäden in Laubmischwäldern
-

4.2 Bewertungskriterien und Bewertungsschlüssel

Für Bonituren werden Merkmale herangezogen, deren Ausprägungen als Stufen einer Bewertungsskala (Bonitierungsschlüssel, Boniturschlüssel) definiert werden können.

Der einfachste Fall liegt vor, wenn die Zuordnung nach einem Boniturschlüssel erfolgt, der sich auf ein einziges Merkmal mit mehreren, eindeutig abstufbaren Ausprägungen stützt. Im Rahmen unserer Arbeit wird dieser Zuordnungsschlüssel als «echt eindimensionaler Bewertungsschlüssel» bezeichnet.

Beispiel: Schlüssel für die Beurteilung der Intensität der Blütenfarbe bei einer rotblühenden Sorte der Zierpflanze *Cyclamen persicum* Mill.

Nicht selten werden jedoch in der Praxis Schlüssel benutzt, bei denen die Zuordnung zu den einzelnen Klassen aufgrund eines «Gesamteindruckes» vorgenommen wird, der sich auf die – intuitiv – erfasste Ausprägung eines Sammelmerkmals (= Kombination zwischen mehreren Einzelmerkmalen) stützt. Wird das Ergebnis dieser Gesamtbeurteilung mit einer einzigen Zahl verschlüsselt, so sprechen wir von einem «unecht eindimensionalen Bewertungsschlüssel».

Beispiel: Beurteilung des Gesundheitszustandes von Raps-Pflanzen, die im Rahmen von Sortenprüfversuchen mit dem Pilz *Phoma lingam* infiziert worden sind (Krüger, 1979, Urfer und Quebe-Fehling, 1984).

4.3 Eigenart der Bewertungsverfahren

Bewertungssysteme gehören mit den Klassifikationssystemen – wie sie etwa durch die Bestimmungsschlüssel für Pflanzen- oder Tierarten repräsentiert werden – zu den deterministischen Ordnungssystemen. Sie weisen folgende gemeinsame Eigenschaften auf:

- Die Unterscheidungsmerkmale und ihre Kategorien werden durch Definition festgelegt.
- Die Zuordnung eines Objekts zu einer bestimmten Ordnungskategorie erfolgt aufgrund unterschiedlicher Ausprägungen ausgewählter Merkmale.
- Die Kategorien des Unterscheidungsmerkmals werden sprachlich in einer geeigneten Form umschrieben, um die einzustufenden Objekte nach der Ausprägung des Trennmerkmals eindeutig einer bestimmten Klasse zuordnen zu können.
- Die Zuordnung eines Objekts zu einer Kategorie des Ordnungssystems erfolgt nach einem Bestimmungs- bzw. Bewertungsschlüssel. In der Regel wird dieser Schlüssel als hierarchisch strukturierter Entscheidungsbaum aus einfachen Fragen aufgebaut, die nur mit «ja» oder «nein» beantwortet werden können.
- Die Zuordnung eines Objektes nach deterministischen Bestimmungs- oder Bewertungsschlüsseln kann «richtig» oder «falsch» sein. Da die Klassierung eines Objektes vom subjektiven Entscheid des Taxators abhängt, lässt sich die Wahrscheinlichkeit für eine richtige Zuweisung nur anhand der Reproduzierbarkeit der Zuordnung abschätzen, wenn die Taxation von anderen Fachleuten wiederholt wird.
- Wenn ein Objekt überhaupt keiner Kategorie zugeordnet werden kann, so ist der Bestimmungs- bzw. der Bewertungsschlüssel abzuändern oder zu ergänzen.

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen deterministischer Ordnungssysteme besteht in folgendem Punkt:

- Klassifikationssysteme stützen sich auf qualitativ eindeutig unterscheidbare Merkmale, während bei Bewertungsverfahren die Ausprägungen der Unterscheidungsmerkmale graduell abgestuft und auf- oder absteigend geordnet werden.

4.4 Typen von Bewertungsverfahren

Die gebräuchlichen Typen der Bewertungsverfahren lassen sich in drei Untergruppen zusammenfassen (*Tabelle 2*).

Tabelle 2. Typologie der Bewertungsverfahren.

Bewertungsverfahren mit nominal definierten oder unregelmässig abgestuften Skalen

Ein einziges Merkmal

Zwei oder mehr Merkmale

Jedes Merkmal wird nach einem eigenen Schlüssel beurteilt.

Die Ergebnisse der Bonitierung werden nur für die einzelnen Merkmale ausgewertet.

Die Ergebnisse der Bonitierung der einzelnen Merkmale werden nachträglich zu einer Gesamtnote verknüpft.

Die Ausprägungen der verschiedenen Merkmale werden während der Beurteilung der Objekte direkt zu einer Gesamtnote zusammengefasst.

Rangfolgen

Ein einziges Merkmal

Zwei oder mehr Merkmale

Unabhängige Auswertung der einzelnen Rangfolgen

Additive Verknüpfung der Rangfolgen ohne Gewichtung der einzelnen Merkmale

Additive Verknüpfung der Rangfolgen mit Gewichtung einzelner Merkmale

Gruppierte Häufigkeitsverteilungen metrischer Daten

Ein einziges Merkmal

Gruppierung nach Klassen gleicher Breite

Gruppierung nach Quantilen

Zwei oder mehr Merkmale

Diskriminanzanalyse der Originaldaten als Grundlage für die Entwicklung einer Bewertungsskala

Der ersten Untergruppe werden jene Bewertungsverfahren zugeordnet, bei denen die Klassen entweder nominal definiert oder unregelmässig abgestuft sind.

Bei den Verfahren der zweiten Untergruppe werden die einzelnen Objekte nach den Ausprägungen der Merkmale in Rangfolgen gebracht.

In der dritten Untergruppe finden sich jene Fälle, bei denen Messwerte zu Gruppen zusammengefasst werden, denen man in auf- oder absteigender Folge die Bewertungsziffern zuordnet. Dabei können Klassen definierter Breite oder Klassen nach Quantilen gebildet werden.

4.5 Eigenart von Boniturschlüsseln

4.5.1 Zahlenmässige Codierung der Bewertungsstufen

Soweit die Kategorien einer Boniturskala mit verbalen Umschreibungen gegeneinander abgegrenzt werden, sind die zugeordneten Bewertungsziffern als Codezahlen für die numerische Verschlüsselung der definierten Klassen aufzufassen (F. H. Schwarzenbach, 1977). Die Bewertungsziffern haben die Funktion von Ordnungszahlen und werden in dieser Arbeit zur Unterscheidung von natürlichen Zahlen mit einem vorangestellten Asteriskus * besonders bezeichnet.

Ordnungszahlen bilden – formal gesehen – eine Skala mit gleichen Abständen. Boniturwerte verleiten daher zur Anwendung statistischer Verfahren, die für die Auswertung metrischer Daten entwickelt worden sind. Um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden, sollte daher nach R. J. Lorenz (1988) bei Verwendung numerisch codierter, ordinal skalierter Boniturschlüssel konsequent auf die Berechnung von Durchschnitten oder Streuungsmassen aus Boniturwerten verzichtet werden.

4.5.2 Einheitlichkeit des Bewertungskriteriums

Ein besonders wichtiger Punkt bei der Entwicklung eines Bonitierungsschlüssels bildet die Forderung nach der Einheitlichkeit (Eindimensionalität) des Bewertungskriteriums. Dieses Postulat ist logisch einleuchtend, setzt doch eine Bewertung voraus, dass sich die verschiedenen Ausprägungen des gewählten Merkmals nur graduell unterscheiden.

Diese selbstverständlich anmutende Forderung wird leider in der Praxis oft missachtet, wie am Beispiel der sogenannten «unecht eindimensionalen Bewertungsschlüssel» (*Tabelle 7*) gezeigt wird.

4.5.3 Zahl der Stufen

Ganz allgemein sind Bonitierungsschlüssel mit einer ungeraden Zahl von Stufen von Vorteil, wobei sich Schlüssel mit 5 Stufen in der Praxis der biologischen Forschung besonders bewährt haben.

4.5.4 Auswahl der Codezahlen

Bei der Festsetzung einer Boniturskala sind neben den Codeziffern zur numerischen Verschlüsselung der Bewertungsstufen auch Zahlenwerte für die

Bezeichnung fehlender Werte und von Sonderfällen vorzusehen. Bei fünfstufigen Bewertungsskalen werden mit Vorteil die fünf Stufen mit den Codeziffern *1 bis *5 (ein Asteriskus * dient zur Bezeichnung einer Codeziffer) charakterisiert. Fehlende Werte – ohne Hinweise auf die Ursache des Ausfalles – erhalten die Codeziffer *9; Sonderkategorien (zum Beispiel Individuen nicht taxierbar, Baum abgestorben, Baum gefällt, Baum nicht identifizierbar) können mit den Codeziffern *6 bis *8 belegt werden. Von der Verwendung der Codeziffer *0 wird abgeraten (Schwarzenbach, 1977).

5. Auswertung von Bonitierungen mit einem einzigen Merkmal (echt eindimensionaler Bonitierungsschlüssel)

5.1 Auswertung von zwei aufeinanderfolgenden Taxationen der gleichen Objekte

5.1.1 Datensatz

Ausgangspunkt für die Darstellung des Auswertungsverfahrens bildet ein Datensatz aus dem Testgebiet Altdorf (Kanton Uri). Oester (1991) hat auf IR-Luftbildern 1:3000 aus den Jahren 1984 und 1987 an 780 eindeutig identifizierbaren Buchen das Merkmal «Transparenz der Krone» beurteilt und nach

Tabelle 3. Bonitierungsschlüssel zur Bewertung der Kronentransparenz auf IR-Luftbildern 1:3000 (nach Oester 1991).

<i>Stufe</i>	<i>Auflösungsgrad</i>	<i>Beschreibung</i>
*1	Kompakt	Krone kompakt geschlossen Kein Einblick ins Kroneninnere Kronenrand in der Regel geschlossen
*2	Leicht aufgelöst	Krone leicht aufgelöst Geringer Einblick ins Kroneninnere Hauptäste noch nicht sichtbar Kronenrand noch geschlossen
*3	Durchscheinend	Krone deutlich aufgelöst Krone durchscheinend Man sieht deutlich ins Kroneninnere Äste sind sichtbar Aufgelöster Kronenrand
*4	Stark aufgelöst	Krone erscheint durchsichtig Partienweise Lücken im Kronendach Kronenrand ausgefranst
*5	Vollständig aufgelöst	Baumskelett meistens total entlaubt Zum Teil noch braune Nadeln vorhanden

einer fünfstufigen Skala bonitiert. Die Bewertungsskala darf als echter ein-dimensionaler Bonitierungsschlüssel angesprochen werden, wie die Stufenfolge in der Kolonne «Auflösungsgrad» der *Tabelle 3* zeigt.

Boniturdaten, die unter Verwendung ordinal skalierter Bewertungsschlüsse gewonnen worden sind, werden den einzelnen Klassen der Boniturskala zugeordnet. Die Häufigkeiten der Einzelwerte in den verschiedenen Klassen werden in absoluten Werten oder als prozentuale Anteile tabelliert. Histogramme oder Stabdiagramme eignen sich als grafische Darstellungen dieser Häufigkeitsverteilungen.

Häufigkeitsverteilungen von Boniturdaten sind stets als Aufteilungen einer Gesamtmenge in Teilmengen zu betrachten und lassen sich in Form von Kontingenztafeln darstellen.

5.1.2 Vergleich von Boniturdaten aus zwei Taxationen

Um die Kronenentwicklung von Waldbäumen innerhalb einer bestimmten Zeit zu erfassen, werden die Beobachtungen an den Individuen einer Stichprobe am Anfang und am Ende der festgesetzten Zeitspanne einzeln bewertet. Als Grundlage für einen ersten Vergleich dienen die gruppierten Häufigkeitsverteilungen der Boniturwerte aus den beiden Erhebungen (*Tabelle 4*). Das Ziel der hier vorgestellten Auswertung besteht darin, aus den Differenzen zwischen einer Anfangs- und einer Endverteilung die Veränderung der Kronentransparenz innerhalb der Stichprobe von 780 Buchen während des vorgegebenen Zeitintervalls zu charakterisieren.

Um diese Aufgabe zu lösen, bieten sich verschiedene Wege an. Ein erster Ansatz (Verfahren A) entspricht dem bisher üblichen Auswertungsgang.

In beiden Jahren fallen nach *Tabelle 4* alle 780 untersuchten Buchen in die vier Bonitierungsklassen «Klasse K*1» bis «Klasse K*4». Die «Klasse K*5» bleibt in beiden Jahren unbesetzt. Ein Vergleich der beiden Häufigkeitsverteilungen zeigt, dass sich die Kronentransparenz in der Zeitspanne von 1984 bis 1987 insofern verändert hat, als die Zahl der Bäume in der Boniturskla-

Tabelle 4. Kronentransparenz bei Buchen (Testgebiet Altdorf, n = 780). Häufigkeitsverteilung der Boniturwerte 1984 und 1987.

Stichprobe	Bonitursklassen					Summe
	*1	*2	*3	*4	*5	
Altdorf 1984	318 41 %	376 48 %	84 11 %	2 +	0 -	780 100 %
Altdorf 1987	303 39 %	340 44 %	135 17 %	2 +	0 -	780 100%

Die Symbole K*1 bis K*5 bezeichnen die fünf Klassen der Boniturskala zur Beurteilung der Kronentransparenz nach dem Schlüssel in *Tabelle 3*.

«K*1» um 15 und in «K*2» um 36 abgenommen, in «K*3» aber um 51 zugewonnen hat, während die Klassen «K*4» und «K*5» eine unveränderte Besetzung aufweisen.

Aus diesen Beobachtungen könnte der Schluss gezogen werden, dass sich die Kronentransparenz der 780 untersuchten Buchen von 1984 bis 1987 nur unwesentlich geändert habe. Addiert man nämlich die Zahl der Veränderungen in den drei Klassen «K*1» (-15), «K*2» (-36) und «K*3» (+ 51), so erhält man eine Summe von nur 102 Bäumen (13 %), deren Kronentransparenz in den beiden Jahren unterschiedlich beurteilt worden ist.

Bei dieser einfachen Art der Auswertung wird unter Umständen ein erheblicher Informationsverlust in Kauf genommen: Übersehen wird nämlich die Möglichkeit, dass sich die Kronentransparenz der einzelnen Bäume in den mittleren Klassen im positiven wie im negativen Sinn verändern kann. Treten innerhalb der Stichprobe gleichzeitig Verschiebungen in beiden Richtungen auf, so überlagern sich bei der Summation der Einzelwerte die Plus- und Minusveränderungen. Dadurch wird die echte Dynamik des untersuchten Ökosystems verdeckt und das Ausmass der wahren Veränderungen unter Umständen erheblich unterschätzt.

Um diesen möglichen Informationsverlust zu vermeiden, ist ein anderes Verfahren (Verfahren B, «Rasterverfahren») entwickelt worden, das auf folgendem Ansatz beruht: Die Kronenentwicklung jedes Einzelbaumes wird durch das Paar der Boniturwerte aus den beiden Jahren 1984 und 1987 charakterisiert. Diese Zahlenpaare bilden die Grundlage, um die einzelnen Bäume der Stichprobe in die Felder einer zweidimensionalen Rastertabelle (*Tabelle 5*) dermassen einzutragen, dass in der Summenspalte am rechten Rand der Tabelle die Werte aus der Häufigkeitsverteilung für 1984, in der Summenzeile am Fuss der Tabelle die Zahlen der Häufigkeitsverteilung für 1987 resultieren (*Tabelle 4*).

Tabelle 5. Kronentransparenz bei Buchen (Stichprobe Altdorf, n = 780): Kombinationen der individuellen Boniturwerte 1984/1987.

	K*1	K*2	K*3	K*4	K*5	Werte 1984
K*1	178	123	17	—	—	318
K*2	114	184	78	—	—	376
K*3	11	33	39	1	—	84
K*4	—	—	1	1	—	2
K*5	—	—	—	—	—	—
Werte 1987	303	340	135	2	—	780

Die Symbole K*1 bis K*5 bezeichnen die fünf Klassen der Boniturskala zur Beurteilung der Kronentransparenz nach dem Schlüssel in *Tabelle 3*.

Aus dieser Zusammenstellung (*Tabelle 5*) lassen sich vorerst folgende Ergebnisse herauslesen:

- In der Diagonale von links oben nach rechts unten (kursivgedruckte Werte) finden sich die Häufigkeiten für jene Baumkronen, die bei beiden Erhebungen die gleiche Boniturnote erhalten haben. Insgesamt sind 402 von 780 Baumkronen (52 %) in den Jahren 1984 und 1987 den gleichen Klassen zugewiesen worden.
- Baumkronen, die in den Feldern *rechts* von der hervorgehobenen Diagonale stehen, sind von 1984 bis 1987 durchscheinender geworden. Zusammengenommen sind es 219 Bäume (28 %).
- Baumkronen, die den Feldern *links* von der hervorgehobenen Diagonale zugeordnet sind, weisen 1987 eine weniger durchscheinende Krone auf. Alles in allem sind es 159 von 780 Bäumen (20 %).
- Nach den zweidimensional dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Boniturwerte 1984 und 1987 haben sich während dieser Zeitspanne nicht weniger als 378 Baumkronen (48 %) in ihrer Transparenz verändert.

Die Analyse der Daten nach dem zweiten Verfahren deckt die erhebliche Dynamik innerhalb der Stichprobe von 780 Bäumen auf. Lässt sich aus den Resultaten nach dem ersten Verfahren nur eine Veränderung der Kronentransparenz bei 13 % der Buchen vermuten, so belegt der zweite Ansatz eine Veränderungsquote von nicht weniger als 48 %.

Außerdem lässt sich die Entwicklung wesentlich differenzierter beschreiben. So stehen etwa den 219 Bäumen (28 %), deren Krone innerhalb der Beobachtungsperiode durchscheinender geworden ist, insgesamt 159 Buchen (20 %) gegenüber, deren Kronentransparenz sich verbessert hat.

5.1.3 Anwendung des Zeichentests

Man ist versucht, im Zuge der explorativen Datenanalyse den Unterschied zwischen den 219 Baumkronen mit zunehmender Transparenz («Rechtsverschiebung») und den 159 Individuen mit abnehmender Transparenz («Linksverschiebung») nach dem *Zeichentest* zur Prüfung einer Stichprobe auf Symmetrie (Diem, 1968) zu vergleichen. Aus logischen Gründen ist aber im vorliegenden Fall die Anwendung dieses verteilungsfreien Prüfverfahrens fragwürdig: Die Nullhypothese des Zeichentests setzt nämlich voraus, dass positive und negative Abweichungen nach dem Zufallsprinzip mit gleicher Häufigkeit auftreten.

In unserem Beispiel ist die Nullhypothese nicht erfüllt. Wie leicht einzusehen ist, können sich Bäume aus der Boniturklasse K*1 nur in Richtung zunehmender Transparenz, Individuen aus der Kategorie K*5 theoretisch nur in Richtung abnehmender Durchsichtigkeit verändern. Um dieser Schwierigkeit Herr zu werden, müssen daher bei der Datenanalyse in geeigneter Weise die Wahrscheinlichkeiten einer Rechts- bzw. Linksverschiebung für Bäume

der verschiedenen Boniturklassen berücksichtigt werden. Dazu werden die Daten der *Tabelle 5* neu zusammengestellt, indem man drei Untergruppen «A», «B» und «C» bildet (*Tabelle 6*).

Tabelle 6. Vergleich der Kronentransparenz 1984/1987 unter Einbezug der Chancen von Rechts- und Linksverschiebungen.

A) Untergruppe «Bäume mit Chance für eine Rechtsverschiebung»

	<i>K*1</i>	<i>K*2</i>	<i>K*3</i>	<i>K*4</i>	<i>K*5</i>	<i>Summe</i>	<i>%</i>
Denkbar	318	376	84	2	–	780	100
Erfasst	140	78	1	–	–	219	28

B) Untergruppe «Bäume mit Chance für eine Linksverschiebung»

	<i>K*1</i>	<i>K*2</i>	<i>K*3</i>	<i>K*4</i>	<i>K*5</i>	<i>Summe</i>	<i>%</i>
Denkbar	–	376	84	2	–	462	100
Erfasst	–	114	44	1	–	159	34

C) Untergruppe «Bäume mit Chance für eine Rechts- oder Linksverschiebung»

	<i>K*1</i>	<i>K*2</i>	<i>K*3</i>	<i>K*4</i>	<i>K*5</i>	<i>Summe</i>	<i>%</i>
Denkbar	–	376	84	2	–	462	100
R-Versch.	–	78	1	–	–	79	17
L-Versch.	–	114	44	1	–	159	34
Summe R+L	–	192	45	1	–	238	51

Eine «Rechtsverschiebung» entspricht einer Zunahme der Kronentransparenz.

Eine «Linksverschiebung» entspricht einer Abnahme der Kronentransparenz.

In den Zeilen «denkbar» sind die Zahlen der Bäume aufgeführt, die für eine Verschiebung in der angegebenen Richtung in Frage kommen. Die Symbole «K*1» bis «K*5» bezeichnen die Boniturklassen für das Merkmal «Kronentransparenz» nach dem Boniturschlüssel in *Tabelle 3*.

Die Untergruppe «A» umfasst alle Bäume der Boniturklassen K*1 bis K*4, bei denen eine Rechtsverschiebung in der zweidimensionalen Rasterdarstellung eintreten könnte. Da sich in der Kategorie K*5 keine Werte befinden, entspricht die Summe der Klassen K*1 bis K*4 der Gesamtzahl der untersuchten Buchen. Von diesen 780 Bäumen weisen 219 (28 %) im Jahre 1987 eine stärker durchscheinende Krone als 1984 auf.

In der Untergruppe «B» werden alle Buchen der Klassen K*2 bis K*5 zusammengefasst, die eine Chance für eine Linksverschiebung haben. Die Klasse K*1 fällt in diesem Falle weg. Von den 462 Bäumen der Untergruppe «B» weisen 159 (34 %) eine Verschiebung nach links auf. Der Vergleich der beiden Untergruppen «A» und «B» zeigt, dass – prozentual gesehen – der Anteil der Linksverschiebungen mit 34 % gegen 28 % leicht überwiegt.

Der Untergruppe «C» werden alle Bäumen zugeordnet, die potentiell sowohl die Chance einer Rechts- wie auch einer Linksverschiebung haben. In diese Untergruppe fallen die 462 Bäume der Klassen K*2 bis K*4, von denen 79 (17 %) Rechts- und 159 Linksverschiebungen aufweisen. Akzeptiert man für diesen Fall die Zufallshypothese, dass die Rechts- und Linksverschiebungen gleich häufig auftreten, so können die beiden Zahlen 79 und 159 im Zeichentest auf die Symmetrie der Stichprobe verglichen werden. Nach Diem (1968) liegen die Vertrauensgrenzen für $P_{\text{zweiseitig}} = 0,01$ und $n = 79 + 159 = 238$ bei den Schwellenwerten 98 und 140. Die beobachteten Werte befinden sich weit ausserhalb dieser Grenzen. Das Ergebnis darf daher als vorläufige Unterstützung der Annahme interpretiert werden, dass in der Untergruppe «C» von 1984 bis 1987 der Anteil der Buchenkronen mit verbesserter Transparenz gegenüber den Bäumen mit erhöhter Durchsichtigkeit überwiegt.

Der Zeichentest wird im vorliegenden Fall nur dazu benutzt, die Boniturwerte unterhalb und oberhalb der Diagonale auf die Symmetrie ihrer Verteilung zu prüfen. Damit wird jedoch der Informationsgehalt der Matrix nur sehr beschränkt ausgeschöpft: Für weiterführende Untersuchungen wäre deshalb auf Verfahren zur Analyse von Kontingenztafeln zurückzugreifen.

6. Auswertung von Bonitierungen mit «unecht eindimensionalem Bonitierungsschlüssel»

6.1 Ansatz über ein Mehrschrittverfahren

Bei unecht eindimensionalen Bonitierungsschlüsseln werden zwei oder mehr Merkmale, die sich qualitativ eindeutig unterscheiden, in die Beurteilung der Objekte einbezogen und über eine einzige Zahlenreihe codiert. Ein Beispiel einer derartigen Skala findet sich in *Tabelle 7*.

Tabelle 7. Hierarchischer Aufbau eines unecht eindimensionalen Bonitierungsschlüssels.

Codezahl	Hierarchiestufe 1	Hierarchiestufe 2	Hierarchiestufe 3
	Ausprägungen Merkmal A	Ausprägungen Merkmal B	Ausprägungen Merkmal C
*1	lebend	ungeschädigt	–
*2	lebend	geschädigt	leicht geschädigt
*3	lebend	geschädigt	mittelstark geschädigt
*4	lebend	geschädigt	stark geschädigt
*5	tot	–	–

Merkmal der Hierarchiestufe 1: Ausprägungen «lebend» und «tot».
 Merkmal der Hierarchiestufe 2: Ausprägungen «ungeschädigt» und «geschädigt».
 Merkmal der Hierarchiestufe 3: Ausprägungen «leicht geschädigt», «mittelstark geschädigt» und «stark geschädigt».

Vergleiche zwischen zeitlich aufeinanderfolgenden Stichproben aus Taxationen mit unecht eindimensionalen Schlüsseln erfordern ein Mehrschrittverfahren mit Teilanalysen, welche der Hierarchie der verschiedenen Merkmale folgen, die bei der Beurteilung verknüpft worden sind. Die Möglichkeit einer Auswertung mit multivariaten Verfahren bildet Gegenstand einer laufenden Untersuchung und wird daher im Rahmen dieser Arbeit nicht diskutiert.

Bei einer Bonitierung nach dem Schema der *Tabelle 7* werden drei sich gegenseitig ausschliessende Kriterien verwendet. Das Merkmal der obersten Hierarchiestufe umfasst die beiden Kategorien «lebend» und «tot». Auf der zweiten Hierarchiestufe steht das Kriterium «Schädigung» mit den beiden Klassen «ungeschädigt» und «geschädigt». Das Merkmal der dritten Hierarchiestufe wird durch die drei Ausprägungen «leicht geschädigt», «mittelstark geschädigt» und «stark geschädigt» repräsentiert.

Bei der Auswertung wird vorerst die Gesamtstichprobe in die beiden Teilstichproben «lebende Bäume» und «tote Bäume» aufgeteilt. Im zweiten Schritt bildet man aus der Teilstichprobe «lebende Bäume» die beiden Untergruppen «gesunde Bäume» und «kranke Bäume». Im dritten und letzten Schritt werden die Individuen der Gruppe «kranke Bäume» nach Krankheitsgrad den drei Klassen «leicht», «mittel» und «schwer» zugeordnet.

6.2 Auswertung am Beispiel «Kronenzustand von Buchen 1984 und 1987»

Als Beispiel dient wiederum der Datensatz von 780 Buchen des Testgebietes Altdorf, mit individuellen Bonitierungen der gleichen Bäume anhand der IR-Luftbilder 1:3000 aus den beiden Jahren 1984 und 1987. Das Zuordnungskriterium «Kronenzustand» stützt sich auf den Gesamteindruck ab, der sich bei simultaner Berücksichtigung mehrerer Einzelmerkmale ergibt. Für die Zuordnung wird ein unechter eindimensionaler Bonitierungsschlüssel mit fünf Stufen nach dem Schema von *Tabelle 7* verwendet.

Die Ergebnisse werden vorerst nach dem Rasterverfahren (siehe Kapitel 5) tabelliert und beurteilt (*Tabelle 8*).

Eine erste Durchsicht der Daten führt zu folgenden Ergebnissen:

Alles in allem werden 403 (52 %) von 780 Bäumen in beiden Jahren gleich eingestuft. Von den gesunden Bäumen (K*1) im Jahre 1984 bleiben 194 (57 %) unverändert, 123 (36 %) rutschen in die Schadenklasse K*2 und 24 (7 %) in die Schadenklasse K*3 ab. Von den 439 Buchen, die 1984 den Schadenklassen K*2, K*3 oder K*4 angehören, bleiben 209 (47 %) unverändert, 162 (37 %) haben sich um eine bis zwei Stufen verbessert, 68 (16 %) um eine Schadenstufe verschlechtert.

Die Daten der *Tabelle 8* werden in drei Schritten weiter analysiert (*Tabelle 9*).

Tabelle 8. Kronenzustand von Buchen 1984 und 1987.

1984 1987	K*1	K*2	K*3	K*4	K*5	Summe
K*1	194	123	24	—	—	341
K*2	109	164	67	—	—	340
K*3	15	37	44	1	—	197
K*4	—	—	1	1	—	2
K*5	—	—	—	—	—	—
Summen	318	324	136	2	—	780

Zeilen: Erhebung 1984

Spalten: Erhebung 1987

In der Summenspalte am rechten Rand finden sich die Werte für 1984.

In der Summenzeile am unteren Rand finden sich die Werte für 1987.

Die Symbole K*1 bis K*5 bezeichnen die Boniturklassen des Merkmals «Kronenzustand»:

K*1 gesund

K*2 leicht geschädigt

K*3 mittelstark geschädigt

K*4 stark geschädigt

K*5 abgestorben

Tabelle 9. Mehrschrittverfahren am Beispiel «Kronenzustand von Buchen».

Schritt 1:			
Jahr	tot	lebend	Summe
1984	780	780	780
1987	—	780	780

Schritt 2:

Jahr	gesund	geschädigt	Summe
1984	341	439	780
1987	318	462	780

Schritt 3:

Jahr	K*2	K*3	K*4	Summe
1984	340	97	2	439
1987	324	136	2	462

K*2 leicht geschädigt

K*3 mittelstark geschädigt

K*4 stark geschädigt

Tabelle 10. Aufteilung der Stichproben «lebende Bäume».

1984	gesund:	341	geschädigt:	439
1987	gesund:	318	geschädigt:	462

Im ersten Schritt wird für die beiden Stichproben 1984 und 1987 vorerst festgestellt, wie sich die Bäume auf die beiden Gruppen «lebende Bäume» (K*1 bis K*4) und «tote Bäume» (K*5) aufteilen. Nach *Tabelle 9* sind weder 1984 noch 1987 tote Buchen beobachtet worden, so dass in beiden Jahren die Stichprobe «lebende Bäume» 780 Individuen umfasst.

Im zweiten Schritt werden die Stichproben «lebende Bäume» aus den Jahren 1984 und 1987 in die beiden Untergruppen «gesunde Bäume» (K*1) und «geschädigte Bäume» (K*2 bis K*4) aufgegliedert (*Tabelle 10*):

Im dritten Schritt werden die Stichproben aus beiden Jahren «geschädigte Bäume» auf die drei Schadenklassen aufgeteilt.

Der Anteil der lebenden Bäume liegt in beiden Jahren bei 100 %. Die Zahl der gesunden Buchen nimmt von 341 (44 %) im Jahre 1984 auf 318 (41 %) im Jahre 1987 ab. Die Anteile zwischen den Klassen K*2, K*3 und K*4 der geschädigten Bäume verändern sich von 1984 bis 1987: In absoluten Zahlen von 340 : 97 : 2 auf 324 : 136 : 2, in relativen Anteilen von 77 % : 22 % : 1 % auf 70 % : 28 % : 1 %.

Kombiniert man diese Resultate mit den Ergebnissen aus der Analyse der Rastertabelle (*Tabelle 8*), so werden zwei gegenläufige Entwicklungen sichtbar:

- Nicht weniger als 147 Bäume (43 %), deren Kronen 1984 noch als gesund taxiert worden sind, finden sich 1987 in den beiden Klassen K*2 und K*3. Zudem haben sich von den 1984 bereits geschädigten Buchen (439 Bäume) 68 um eine Schadstufe verschlechtert. Summiert man diese Zahlen, so weisen in der Zeitspanne 1984/87 insgesamt 215 (28 %) Buchen eine Verschlechterung auf. Demgegenüber haben sich von den 439 Buchen, die 1984 bereits geschädigt waren, 162 (21 %) um eine bis zwei Stufen verbessert.
- Über alles gesehen resultiert von 1984 bis 1987 eine Verschlechterung des Kronenzustandes: Einerseits nimmt der Anteil der geschädigten Buchen noch leicht zu, anderseits zeichnet sich bei den Klassen der geschädigten Bäume eine Verlagerung zu höheren Schädigungsstufen ab. Die Zahl der Buchen mit einer Tendenz zur Erholung (162 Individuen) vermag die Gesamtzahl der Bäume mit negativer Entwicklung (215 Bäume) nicht zu kompensieren.

7. Diskussion

Die vorgeschlagenen Verfahren erlauben eine differenzierte Auswertung von Boniturdaten, die aus zwei aufeinanderfolgenden Erhebungen an verbundenen Stichproben stammen. Die gewählten Ansätze basieren auf dem bewährten Prinzip, bei der Analyse derartiger Datensätze vorerst die indivi-

duellen Veränderungen der einzelnen Objekte während der Beobachtungsperiode zu beschreiben. Im zweiten Schritt werden die beobachteten Verläufe auf geeignete Weise gruppiert. Im dritten Schritt wird die Aufteilung der Stichprobenelemente auf die verschiedenen Gruppen dazu benutzt, um die Stichprobe zu charakterisieren.

Für die Auswertung von Datenfolgen, die aus drei oder mehr aufeinanderfolgenden Bewertungen der gleichen Individuen stammen, werden im zweiten Teil der Arbeit einige einfache Verfahren vorgestellt, die auf dem Ansatz der sogenannten «Profil-Codierung» beruhen.

Mit einem ähnlichen Ansatz hat *Hägi* (1989) Daten der terrestrischen Waldschadeninventur aus den Jahren 1985 bis 1988 beschreibend ausgewertet. Ausgehend von Stichproben aller Einzelbäume (alle Baumarten zusammengefasst), die 1985 der Schadstufe «schwach geschädigt» bzw. der Schadstufe «mittelstark geschädigt» angehörten, hat die Autorin die individuelle Entwicklung über vier Jahre erfasst und die Bäume mit übereinstimmendem Verlauf nach Typen zusammengefasst. In zwei Abbildungen (l.c., Abbildungen 9 und 10) jenes Berichts wird von Jahr zu Jahr die prozentuale Aufteilung (Stichprobenumfang 1985 = 100 %) nach Verlaufstypen graphisch dargestellt. Auf diese Weise lässt sich zeigen, wie sich die Bäume aus den beiden Klassen der ausgewählten Schadstufen in den Folgejahren verändern.

Résumé

Exploitation des données résultant de l'appréciation des houppiers effectuée chaque année sur des arbres observés individuellement

Première volet: comparaison entre deux époques

Un tableau comparatif présentant les méthodes d'appréciation et leur application dans la pratique a créé des bases permettant de mettre en lumière les problèmes qui se posent lors de l'exploitation de données. Il s'agit en l'occurrence de données saisies à plusieurs reprises sur une même placette pour des arbres clairement identifiables. Partant d'un exemple de la recherche sur les dégâts aux forêts, nous avons présenté et expliqué de simples méthodes descriptives. Elles permettront d'exploiter des séries de données issues d'une double appréciation fondée sur un critère d'évaluation unidimensionnel comportant la variable «juste» ou «faux». Les données sont issues de recherches sur le développement de couronne d'arbres. Cette analyse s'appuie sur l'interprétation de photos infrarouges 1:3000 exécutées chaque année. Les bases de ce travail ont été puisées dans les appréciations faites entre 1984 et 1988 sur une placette d'observation permanente à l'aire test «Altdorf» (Suisse) et comportant 780 hêtres.

Afin de faciliter l'application dans la pratique, plusieurs phases de travail sont proposées. Fondée sur une méthode dite de quadrillage, cette technique permettra

d'établir une comparaison du résultat des appréciations effectuées à deux époques différentes.

Traduction: *M. Dousse*

Dank

Herrn Prof. Dr. W. Urfer, Fachbereich Statistik, Universität Dortmund, und Dr. M. Köhl, WSL (Birmensdorf), danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- BUWAL/Eidgenössische Forstdirektion, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf* (1991): Sanasilva-Waldschadenbericht 1991. Bern und Birmensdorf, WSL, CH-8903 Birmensdorf, 31 S.
- Diem, K.* (1968): Wissenschaftliche Tabellen Geigy (7. Aufl.) Documenta Geigy. Geigy S.A. Basel, 768 S.
- Hägi, K.*, mit einem Beitrag von Conedera, M. und Riva, F. (1989): Terrestrische Waldschadeninventur. Schlussberichte Programm Sanasilva 1984–1987, Teilprogramm Nr. 2. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bericht Nr. 314, 36 S.
- Krüger, W.* (1979): Verbreitung der Wurzelhals- und Stengelfäule bei Raps in der Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 31, 145–148.
- Lorenz, R. J.* (1988): Grundbegriffe der Biometrie. Auflage 2. Gustav Fischer, Stuttgart, 241 S.
- Oester, B.* (1991): Erfassen der Waldschaden-Entwicklung anhand von grossmassstäblichen Infrarot-Farbluftbildern. Remote Sensing Series Nr. 19, Geographisches Institut der Universität Zürich, 162 S.
- Oester, B.; Raschle, P.; Gautschi, H.; Scherrer, H. U.; Schwarzenbach, F. H.* (1990): Das Sanasilva-Teilprogramm «Waldzustandserfassung mit Infrarot-Luftbildern». Berichte der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bericht Nr. 317, 32 S.
- Scherrer, H. U.; Gautschi, H. P.; Hauenstein, P.* (1990): Flächendeckende Waldzustandserfassung mit Infrarot-Luftbildern. Berichte der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bericht Nr. 318, 101 S.
- Schwarzenbach, F. H.* (1977): Numerische Codierung. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart, 225 S.
- Schwarzenbach, F. H.; Oester, B.; Scherrer, H. U.; Gautschi, H.; Eichrodt, R.; Hübscher, R.; Hägeli, M.* (1986): Flächenhafte Waldschadenerfassung mit Infrarot-Luftbildern 1:9000, Methoden und erste Erfahrungen. Berichte der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bericht Nr. 285, 76 S.
- Schwarzenbach, F. H.; Urfer, W.* (1989): Anwendung einer allgemeinen Strategie zur Lösung ökologischer Probleme am Beispiel von Dauerbeobachtungsflächen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 108: 218–228.
- Urfer, W.; Quebe-Fehling, E.* (1984): Statistische Methoden zur Analyse von Boniturdaten in der Land- und Forstwirtschaft. EDV in Medizin und Biologie 15, 91–96.
- Urfer, W.* (1988): Multivariate Verfahren zur Untersuchung von Wald-Ökosystemen. Allgemeines Statistisches Archiv 72: 11–23.
- Urfer, W.; Knabe, W.; Schwarzenbach, F. H.; Woltering, F.; Schulte, M.* (1990): Auswertung von Bonituren der immissionsökologischen Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein-Westfalen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitschrift, 161: 71–78.

Gedruckt mit Unterstützung der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser: Dr. Fritz Hans Schwarzenbach, Gheggio, CH-6714 Semione. Dr. Bernhard Oester, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.