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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 144 (1993)

Heft: 2

Artikel: Zur Auswertung von Boniturdaten jährlich wiederholter Kronentaxationen an Einzelbäumen

Autor: Schwarzenbach, Fritz Hans / Oester, Bernhard

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767082

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: 09.07.2025

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

Zur Auswertung von Boniturdaten jährlich wiederholter Kronentaxationen an Einzelbäumen

Zweiter Teil: Analyse zeitlicher Reihen individueller Boniturwerte

Von *Fritz Hans Schwarzenbach* und
Bernhard Oester

FDK 531: 587.6: UDK 57.087.1

1. Rahmen und Ziel

In einer vorangehenden Arbeit *(Schwarzenbach* und *Oester,* 1993*)* haben wir gezeigt, wie sich Boniturdaten aus zwei aufeinanderfolgenden Kronentaxationen an den gleichen Einzelbäumen mit einfachen Verfahren der deskriptiven Statistik analysieren lassen. Die Studie stützte sich auf die Beurteilung der Merkmale «Kronentransparenz» und «Kronenzustand» an 780 Buchen (Testgebiet Altdorf, Kt. Uri), die bei der Interpretation von Infrarot-Luftbildern 1 : 3000 aus den Jahren 1984 und 1987 gewonnen wurden (Oester, 1991).

Das Ziel der jetzigen Untersuchung besteht darin, einfache Verfahren zur Analyse vollständiger Reihen von Boniturdaten aus 2 bis 8 aufeinanderfolgenden Jahren an den gleichen Einzelbäumen vorzustellen und zu begründen. Verwendet wird dabei die sogenannte *«Profil-Codierung»*, die aus der Methode der «Nonen-Codierung» zur zahlenmässigen Verschlüsselung verbal formulierter Aussagen (Schwarzenbach, 1977) abgeleitet worden ist. Die Profil-Codierung ist ein einfaches Notationsverfahren, um den Verlauf der Kronenentwicklung zu beschreiben, wie er durch eine zeitliche Folge individueller Boniturwerte (= «Profil») gegeben ist.

Bei der Auswertung immissionsökologischer Daten aus forstlichen Dauerbeobachtungsflächen in Nordrhein/Westfalen hat sich gezeigt, dass derartige Profile eine gute Grundlage für die Entwicklung und Anwendung biometrischer Verfahren mit multivariaten Ansätzen bieten (Schwarzenbach und *Urfer,* 1989, Urfer *et al.,* 1990). Bei der Entwicklung der Verfahren zur Analyse von Boniturdaten haben wir deshalb darauf geachtet, mit Datenstrukturen zu arbeiten, die dem Statistiker die Modellbildung und damit auch die Auswahl biometrischer Auswertungsmethoden erleichtern.

2. Daten

Die Daten stammen aus der Interpretation von Infrarot-Luftbildern 1: 3000, die in den Testgebieten Altdorf, Flims und Zofingen bei den jährlichen Fotoflügen 1984 bis 1991 im Rahmen des Sanasilva-Waldschadenprogrammes aufgenommen worden sind (Oester *et al.,* 1990, Oester, 1991).

Alle Datensätze beziehen sich auf das Merkmal *«Kronenzustand»* mit fünf Boniturstufen. Berücksichtigt sind Angaben für die beiden Baumarten «Fichte» und «Buche». Ausgewertet haben wir vorerst nur vollständige Datensätze. Die methodischen Probleme, die sich bei der Analyse von Reihen mit Lücken stellen, sollen erst später bearbeitet werden.

Um den Anschluss zum ersten Teil der Studie (Schwarzenbach und Oester, 1993) zu schaffen, wird ein damals behandeltes Beispiel («Kronenzustand» von 780 Buchen, Testgebiet Altdorf) übernommen, um das Prinzip der Profil-Codierung zu erklären und den Bezug zu den früher vorgestellten Verfahren herzustellen.

3. Das Verfahren der Profil-Codierung

3.1 Grundlagen

Die Profil-Codierung ist eine Arbeitstechnik, die zu den Methoden der zahlenmässigen Verschlüsselung (= numerische Codierung) sprachlich formulierter Aussagen zählt (Schwarzenbach, 1977). Sie lässt sich für den Fall anwenden, dass die wiederholte Bonitierung der gleichen Individuen nach einem Schlüssel mit einer einstelligen Zahl von Stufen erfolgt.

Bei der Profil-Codierung werden die Boniturwerte aufeinanderfolgender Bewertungen des gleichen Objekts in der Reihenfolge ihrer Erfassung zu einer *mehrstelligen Zahl* zusammengestellt, die als *«Profil»* bezeichnet wird. Diese höchst einfache Form der Notation stützt sich auf das Verfahren der sogenannten «Nonen-Codierung» (Schwarzenbach, 1977). Als «None» wird die Reihe der neun Codeziffern «*1» bis «*9» bezeichnet, die zur numerischen Verschlüsselung von inhaltlich verschiedenen Aussagen zur Verfügung stehen. Dabei werden die Codeziffern formal durch das Zeichen «*» (= Asteriskus) gekennzeichnet.

Nach dem Verfahren der Nonen-Codierung lassen sich Boniturskalen mit maximal sieben Stufen zweckmässig verschlüsseln, wie das Beispiel in *Tabelle 1* zeigt. Bei dieser Form der Codierung gelten folgende Regeln:

- Als Codeziffern werden die Zahlen *1 bis *9 benützt. Dabei stehen die Ziffern von *1 bis *7 zur Bezeichnung der Boniturstufen zur Verfügung. Die Null wird keinesfalls als Codeziffer verwendet, um jede Verwechslung mit der Information «Blank» (= Lücke, fehlender Wert) auszuschliessen.

Ein fehlender Wert wird zahlenmässig stets mit der Codeziffer *9 verschlüsselt. Die Ziffer *8 ist eine Reserveziffer, die eingesetzt werden kann, falls ein Merkmal nicht beurteilt oder der Baum nicht identifiziert werden kann.

Tabelle 1. Nonen-Codierung des Boniturschlüssels für das Merkmal «Kronenzustand des Einzelbaumes».

Codeziffer	*Aussage*
*1	Baum ungeschädigt
*2	Baum leicht geschädigt
*3	Baum mittelstark geschädigt
*4	Baum stark geschädigt
*5	Baum abgestorben
*7	Baum aus dem Bestand entfernt
*8	Baum identifiziert, kann nicht bewertet werden
*9	Wert fehlt aus unbekannten Gründen

* (Asteriskus): Bezeichnung einer Codezahl
Die Codeziffer *6 wird in diesem Boniturschlüssel nicht benützt.

3.2 Arbeiten mit «Profilen»

«Profile» lassen sich mit PC-Programmen wie beliebige mehrstellige Zahlen sortieren und für vergleichende Auswertungen nach unterschiedlichen Gesichtspunkten gruppieren (zum Beispiel Zusammenfassung nach Baumarten, nach Altersstufen, nach Gebieten, nach Boniturwerten der Ersterhebung).

3.3 Interpretation zweistelliger Profil-Codezahlen

In *Tabelle 2* sind jene Boniturwerte zahlenmässig verschlüsselt worden, die sich bei der Beurteilung des Merkmals «Kronenzustand» anhand von Infrarot-Luftbildern 1 : 3000 aus den Jahren 1984 und 1987 (Testgebiet «Altdorf», 780 Buchen) ergeben haben. Ein Vergleich mit *Tabelle 8* in der vorangehenden Publikation (Schwarzenbach und Oester 1993) stellt den Bezug zu den damals vorgestellten Auswertungsmethoden her.

Nach *Tabelle 2* teilen sich die 780 Buchen auf nur 13 Profiltypen unterschiedlicher Häufigkeit auf. Die vier häufigsten Profiltypen (Codezahlen *11, *12, *21, *22) umfassen mit 589 Bäumen nicht weniger als 76 % aller erfassten Buchen.

Als nächstes werden die Codezahlen nach dem sogenannten *«Anfang/Ende-Vergleich»* (A/E-Vergleich) den drei Klassen «steigend», «bleibend» oder «fallend» zugeordnet *(Tabelle 3)*: Bäume der Klasse «bleibend» sind in

beiden Jahren gleich taxiert worden. Buchen der Klasse «steigend» weisen 1987 einen höheren Boniturwert als 1984 auf, was einer Verschlechterung des Kronenzustandes entspricht. Kronen mit einer «fallenden» Codezahl sind 1987 günstiger als 1984 beurteilt worden. Für die drei Klassen «steigend», «bleibend» und «fallend» ergibt sich eine Aufteilung im Zahlenverhältnis 215 : 403 : 162 oder 27 % : 52 % : 21 %.

Tabelle 2. Profil-Codierung der Boniturwerte 1984 und 1987 für das Merkmal «Kronenzustand» (Altdorf, 781 Buchen).

Codezahlen der Profile	*Zahl der Bäume*	*A/E-Vergleich*
*11	193	bleibend
*12	123	steigend
*13	24	steigend
	340	
*21	109	fallend
*22	164	bleibend
*23	67	steigend
	340	
*31	15	fallend
*32	37	fallend
*33	44	bleibend
*34	1	steigend
	97	
*42	1	fallend
*43	1	fallend
*44	1	bleibend
	3	

Codezahlen der Profile: Codeziffer in Zehnerposition: Boniturwert 1984
Codeziffer in Einerposition: Boniturwert 1987

A/E-Vergleich: (Anfang/Ende – Vergleich 1984/1987)
steigend: Boniturwert 1987 höher als 1984
bleibend: Boniturwert in beiden Jahren gleich
fallend: Boniturwert 1987 tiefer als 1984

* (Asteriskus): Bezeichnung der folgenden Ziffern als Codezahl

Der A/E-Vergleich fasst die Profiltypen unabhängig von der Zuordnung der Bäume bei der Bewertung am Anfang in nur drei Klassen zusammen und erlaubt damit einen raschen Überblick über den groben Verlauf der Entwicklung zwischen den Erhebungen am Anfang und am Ende der Beobachtungsperiode. Bei dieser zusammenfassenden Beurteilung lässt sich jedoch nicht

mehr erkennen, wie sich die Bäume der einzelnen Boniturklassen während des Erhebungsintervalls verändert haben.

Tabelle 3. Vergleich der Boniturwerte 1984 und 1987 nach A/E-Kategorien für das Merkmal «Kronenzustand» (Altdorf, 781 Buchen).

Codezahlen der Profile	*Zahl der Bäume*	*A/E-Vergleich*
*12	123	steigend
*13	24	steigend
*23	67	steigend
*34	1	steigend
	215	
*11	193	bleibend
*22	164	bleibend
*33	44	bleibend
*44	1	bleibend
	402	
*21	109	fallend
*31	15	fallend
*32	37	fallend
*42	1	fallend
*43	1	fallend
	163	

Codezahlen der Profile: Codeziffer in Zehnerposition: Boniturwert 1984
Codeziffer in Einerposition: Boniturwert 1987

A/E-Vergleich: (Anfang/Ende – Vergleich 1984/1987)
steigend: Boniturwert 1987 höher als 1984
bleibend: Boniturwert in beiden Jahren gleich
fallend: Boniturwert 1987 tiefer als 1984

* (Asteriskus): Bezeichnung der folgenden Ziffern als Codezahl

3.4 Interpretation von Profil-Codezahlen mit drei oder mehr Ziffern

Stützt sich ein Profil auf Daten aus drei oder mehr aufeinanderfolgenden Bonituren, so bieten sich zusätzliche Möglichkeiten an, um den Profilverlauf zu charakterisieren.

Als Beispiel wird der Datensatz «Zofingen, Buchen, 1984/86» gewählt. An Infrarot-Luftbildern 1 : 3000 aus den Jahren 1984 bis 1986 wurde das Merkmal «Kronenzustand» nach der Boniturskala aus *Tabelle 1* beurteilt. Der Datensatz umfasst 120 vollständige Profile, deren Verlauf durch die dreistelligen Zahlenfolgen der chronologisch geordneten Boniturwerte 1984/86 charakterisiert wird. Die 120 Codezahlen werden vorerst aufsteigend geordnet und nach

Tabelle 4. Dreijahresprofile 1984/86 für das Merkmal «Kronenzustand»; Codezahlen nach Häufigkeit geordnet (Zofingen, 120 Buchen).

Codezahl	*n*	*A/E-Vergleich*	*Profiltyp*
*233	24	steigend	steigend
*333	22	bleibend	bleibend
*122	15	steigend	steigend
*111	14	bleibend	bleibend
*222	10	bleibend	bleibend
*133	8	steigend	steigend
*223	7	steigend	steigend
*123	5	steigend	steigend
*232	4	bleibend	schwankend
*112	3	steigend	steigend
*132	2	steigend	schwankend
*433	2	fallend	fallend
*121	1	bleibend	schwankend
*113	1	steigend	steigend
*334	1	steigend	steigend
*343	1	bleibend	schwankend
	120		

n: Anzahl Profile

A/E-Vergleich: Vergleich der Anfangs- und Endziffer der Codezahl

- steigend: Endziffer höher als Anfangsziffer
- bleibend: Endziffer gleich Anfangsziffer
- fallend: Endziffer tiefer als Anfangsziffer

Profiltyp:
- steigend: aufsteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge
- bleibend: alle Einzelziffern gleich
- fallend: absteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge
- schwankend: sowohl auf- wie absteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge

Zahlenwerten gruppiert. Die Häufigkeitsverteilung der gruppierten Codezahlen bildet die Grundlage für *Tabelle 4*, in der die 16 Klassen nach abnehmenden Frequenzen geordnet sind.

Zwei Feststellungen drängen sich als erstes auf:

- Die 120 Profile verteilen sich auf nur 16 Klassen. Diese Zahl ist erstaunlich klein, lassen sich doch nach den Regeln der Kombinatorik aus den Codeziffern *1 bis *5 der fünf Bewertungsstufen nicht weniger als $5^3 = 125$ dreistellige Zahlen bilden.
- Von den 120 Profilen fallen 85 (71 %) in eine der fünf grössten Klassen. Dieser überraschende Befund wird dahin interpretiert, dass bestimmte Profile mit wesentlich grösserer Wahrscheinlichkeit als andere auftreten. Diese Feststellung verdient aus theoretischer wie auch aus praktischer Sicht besondere Beachtung und wird deshalb in Kapitel 4.5 gesondert diskutiert.

Um eine erste Übersicht über den Verlauf der Kronenentwicklung zwischen 1984 und 1987 zu gewinnen, werden die dreistelligen Codezahlen anhand der Anfangs- und Endziffern nach dem Verfahren des A/E-Vergleiches (siehe Kapitel 3.3) den drei Gruppen «steigend», «bleibend» und «fallend» zugeordnet. Das Ergebnis dieser Gruppierung ist in der Kolonne «Summen» der *Tabelle 5* festgehalten.

Tabelle 5. Zusammenfassung der Einzelprofile 1984/86 nach Kategorien der A/E-Vergleiche und nach Profiltypen (Zofingen, 120 Buchen, Merkmal «Kronenzustand»).

A/E-Vergleich	*Profiltyp*	*n*	*Summen*
steigend	steigend	64	
steigend	schwankend	2	66
bleibend	bleibend	46	
bleibend	schwankend	6	52
fallend	fallend	2	
fallend	schwankend	–	2
		120	120

Erklärungen siehe *Tabelle 4.*

Die Aufteilung zwischen den Klassen «steigend», «bleibend» und «fallend» folgt dem Zahlenverhältnis 66 : 52 : 2. Bei 66 von 120 Buchen (55%) hat sich demnach der Kronenzustand verschlechtert, bei 2 von 120 Bäumen (2 %) dagegen verbessert. Wie schon beim früheren Beispiel (Kapitel 3.2) treten während des Dreijahresintervalles 1984/86 sowohl Rechtsverschiebungen (= steigende Werte) wie auch Linksverschiebungen (= fallende Werte) nebeneinander auf. Würde man allein auf die Häufigkeitsverteilung der Boniturwerte in den beiden Stichproben 1984 und 1987 abstellen, so hätten sich als Folge einer Überlagerung gegensinniger Verschiebungen 62 von 120 Kronen (52 %) verändert. Demgegenüber zeigt der A/E-Vergleich, dass während dieser Dreijahresperiode 66 + 2 = 68 Buchen (57 %) eine Veränderung erfahren haben. Für die Praxis ist von Bedeutung, dass ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Boniturwerte aus zwei aufeinanderfolgenden Bonitierungen in der Regel zu einer Unterschätzung des Anteils der sich veränderten Individuen führt und demnach die Dynamik der biologischen Entwicklung zum Teil verschleiert.

Mit dem A/E-Vergleich allein wird aber der Informationsgehalt der dreistelligen Profil-Codezahlen nur teilweise ausgeschöpft. Zusätzliche Informationen lassen sich gewinnen, wenn man versucht, den Verlauf der verschiedenen Dreijahresprofile nach einem erweiterten Klassifikationssystem zu charakterisieren. Die Zuordnung der einzelnen Profile erfolgt dabei nach

einem zweistufigen Verfahren, wobei als erste Stufe der A/E-Vergleich dient. Im zweiten Schritt werden die drei Klassen «steigend», «bleibend» und «fallend» in je zwei Kategorien aufgeteilt. Die Erweiterung besteht darin, dass in jeder der drei Klassen jene Profile ausgegliedert werden, die innerhalb der Zahlenfolge sowohl auf- wie absteigende Sequenzen der Boniturwerte aufweisen. Derartige Profile werden als *«schwankend»* bezeichnet.

In *Tabelle 4* sind die Profile mit den Codezahlen *232, *132, *121 und *343 der Kategorie «schwankend» zugeordnet worden, wobei nach dem A/E-Vergleich die Codezahl *132 der Gruppe «steigend» angehört, während die drei anderen Codezahlen der Kategorie «bleibend» zuzurechnen sind.

Mit dieser Erweiterung lassen sich beliebige Profile mit Codezahlen von drei oder mehr Stellen nach dem Schema aus *Tabelle 6* in 3 x 2 = 6 Profilklassen einordnen.

Tabelle 6. Schema zur Bildung von Profilklassen.

A/E-Vergleich	*Profiltyp*	*Bezeichnung*	*Abkürzung*
steigend	steigend	steigend/steigend	stei./stei.
steigend	schwankend	steigend/schwankend	stei./schw.
bleibend	bleibend	bleibend/bleibend	blei./blei.
bleibend	schwankend	bleibend/schwankend	blei./schw.
fallend	fallend	fallend/fallend	fall./fall.
fallend	schwankend	fallend/schwankend	fall./schw.

Die Gruppierung der Profile in sechs Profilklassen bildet die Grundlage für die nachfolgenden Interpretationen der Beobachtungsreihen 1984/91 an 159 Fichten aus dem Testgebiet Flims, an 28 Fichten und 74 Buchen aus Altdorf wie auch an 20 Fichten und 120 Buchen aus Zofingen.

4. Analyse von Beobachtungsreihen mit drei oder mehr Boniturwerten

4.1 Allgemeine Hinweise

Um die Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren vergleichend darstellen zu können, wird die Anwendung der einzelnen Methoden – mit der einzigen Ausnahme «Altdorf, 74 Buchen» – an den gleichen zwei Datensätzen «Flims, 159 Fichten» und «Zofingen, 120 Buchen» gezeigt, deren Daten für die Achtjahresperiode 1984/91 lückenlos vorliegen.

4.2 Aufteilung der jährlichen Stichproben nach Boniturklassen

4.2.1 Ergebnisse

In den *Abbildungen 1* und *2* sind die Boniturwerte aus den Jahren 1984/91 für die Stichproben «Flims, 159 Fichten» und «Zofingen, 120 Buchen» zusammengestellt. Die Säulendiagramme zeigen für jedes einzelne Jahr die prozentualen Häufigkeiten der Boniturnoten, wie sie nach der Skala in *Tabelle 1* bei der Beurteilung des Merkmals «Kronenzustand» erteilt worden sind. Diese Art der Darstellung ist in der Praxis eingeführt und dient beispielsweise als Grundlage der Statistiken in den jährlich erscheinenden Sanasilva-Waldschadenberichten (*BUWAL,* 1991).

Aus *Abbildung 1* lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Der Anteil der Fichten in der Boniturklasse *1 (ungeschädigte Bäume) schwankt zwischen den Grenzen 18 % (1985) und 4 % (1988), wobei die niedrigsten Werte in die Dreijahresperiode 1987 bis 1989 fallen.
- Fasst man die Boniturklassen *1 (ungeschädigte Bäume) und *2 (leicht geschädigte Bäume) zusammen, so fällt dieser Anteil von 66 % (1984) auf 40% (1988), pendelt dann aber in den drei folgenden Jahren wieder um 50%. Es scheint, dass sich ein Teil der Fichten aus den Klassen *2 und *3 nach 1988 erholt hat.

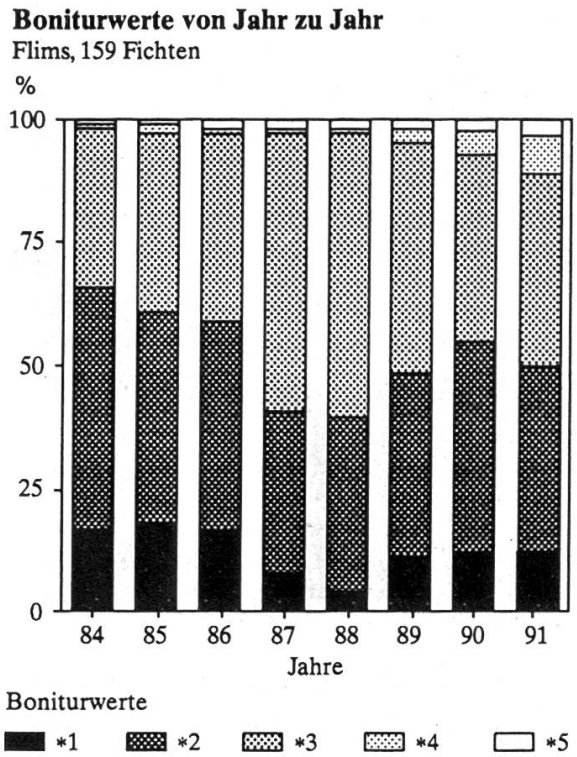

Abbildung 1. Boniturwerte. **1:* Baum ungeschädigt, **2:* Baum leicht geschädigt, **3:* Baum mittelstark geschädigt, **4:* Baum stark geschädigt, **5:* Baum abgestorben.

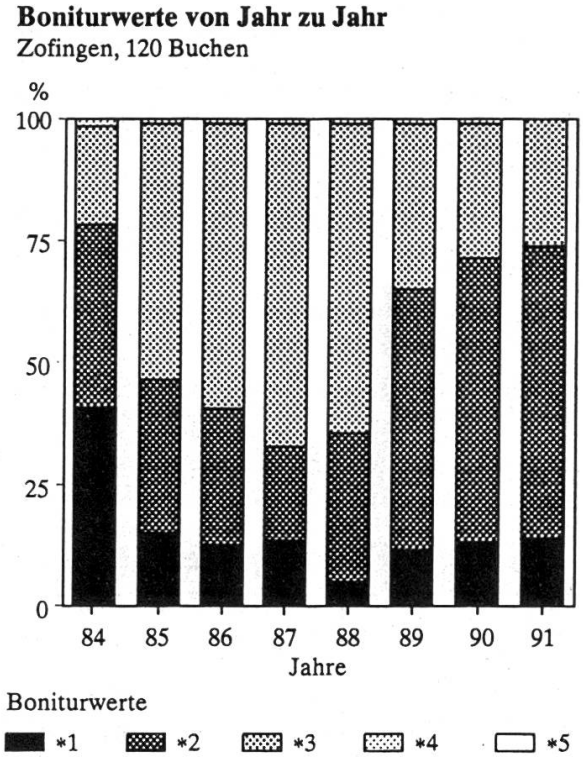

Abbildung 2. Boniturwerte. **1:* Baum ungeschädigt, **2:* Baum leicht geschädigt, **3:* Baum mittelstark geschädigt, **4:* Baum stark geschädigt, **5:* Baum abgestorben.

- Der Anteil der Fichten in den Boniturklassen *4 (stark geschädigte Bäume) und *5 (abgestorbene Bäume) nimmt im Verlaufe der Zeit zu und erreicht 1991 einen Wert von 11 %.

Die Säulendiagramme für die Stichprobe «Zofingen, 120 Buchen» *(Abbildung 2)* werden wie folgt kommentiert:

- Der Anteil der ungeschädigten Bäume (Boniturklasse *1) schwankt zwischen den Werten 41 % (1984) und 5 % (1988). Er liegt in den Jahren 1985/91 mit Ausnahme von 1988 um 15 %.
- Werden die Anteile der beiden Boniturklassen *1 (ungeschädigte Bäume) und *2 (leicht geschädigte Bäume) zusammengefasst, so fällt die erhebliche Schwankungsbreite dieser Prozentzahlen auf: Einem Anteil von 78 % im Jahre 1984 steht ein Wert von 33 % im Jahre 1987 gegenüber, während für 1991 wieder ein Anteil von 75 % erreicht wird. In der Vierjahresperiode 1985/88 liegt der Wert dauernd unter der Grenze von 50 %.
- Der Anteil der Buchen in der Boniturklasse *4 (stark geschädigte Bäume) ist gering (null bis zwei Buchen pro Stichprobe); die oberste Klasse *5 (abgestorbene Bäume) fehlt ganz.

Ein Vergleich zwischen den beiden Baumarten «Fichte» und «Buche» deckt Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf:

- Die Anteile der ungeschädigten Bäume liegen bei beiden Arten auffällig tief. Die Prozentzahlen für Bäume der Boniturklassen *3, *4 und *5 (Klassen zusammengefasst) zeigen bei beiden Baumarten Maxima in den Jahren 1987 und 1988 mit Anteilen von 59 % bzw. 60 % für Fichten und 67 % bzw. 64 % für Buchen. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Verschlechterung des Kronenzustandes auf Einwirkungen belastender Faktoren zurückzuführen ist, die gebietsübergreifend einwirken und die Entwicklung der untersuchten Fichten und Buchen artunabhängig stören.
- Der auffälligste Unterschied zeigt sich darin, dass bei Fichten der Anteil der stark geschädigten und abgestorbenen Bäume am Ende der Beobachtungsperiode deutlich höhere Werte als am Anfang aufweist, während bei Buchen die obersten Boniturklassen mit den beiden Codeziffern *4 und *5 im Jahre 1991 nicht mehr besetzt sind.

4.2.2 Kommentar aus methodischer Sicht

Die Säulendiagramme der *Abbildungen 1* und *2* veranschaulichen in leicht lesbarer Form die prozentuale Aufteilung der beurteilten Einzelbäume auf die fünf Boniturklassen für jedes einzelne Jahr.

Mit diesem Verfahren lässt sich auf einfache Weise ein Überblick über den Kronenzustand der Einzelbäume in einer bestimmten Stichprobe gewinnen. Die Darstellung eignet sich einerseits sehr gut, um unabhängige Stichproben artgleicher Bäume zu vergleichen, die im gleichen Jahr an verschiedenen Orten untersucht worden sind. Anderseits bietet sie auch die Möglichkeit, den Kronenzustand von Populationen verschiedener Baumarten vergleichend zu

beurteilen, die stichprobenweise im gleichen Jahr und im gleichen Gebiet untersucht worden sind.

Die chronologische Anordnung der Säulendiagramme kann dazu verleiten, anhand der Ergebnisse der jährlich durchgeführten Erhebungen den Verlauf der Entwicklung innerhalb der permanent ausgelegten Stichprobe zu charakterisieren. Von dieser Anwendung der Methode wird abgeraten, weil bei Vergleichen der Häufigkeitsverteilungen der Boniturwerte aus zeitlich gestaffelten Bonitierungen verbundener Stichproben die Dynamik der Veränderungen nur unzureichend erfasst werden kann. Wie in Kapitel 4.3.1 gezeigt wird, gibt das Aufteilungsverhältnis zwischen den Boniturklassen keinen Aufschluss über das Ausmass gegenläufiger Veränderungen von Einzelbäumen innerhalb der Stichprobe.

4.3 Analyse individueller Veränderungen in Zweijahresperioden

4.3.1 Ergebnisse

In den *Abbildungen 3* und *4* sind die Resultate der A/E-Vergleiche für die sieben aufeinanderfolgenden Zweijahresperioden zwischen 1984/85 und

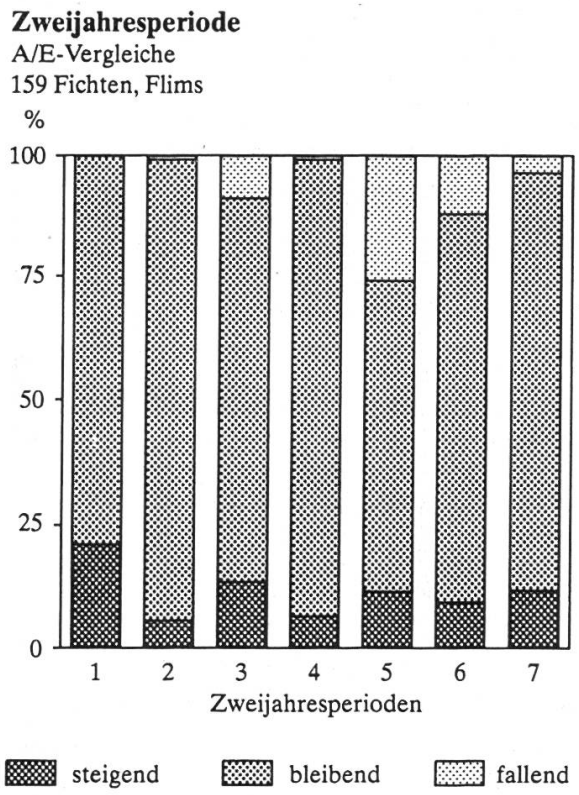

Abbildung 3. Gleitende Zweijahresvergleiche zwischen Anfangs- und Endzustand der Krone (= A/E-Vergleiche) bei 159 Fichten in Flims. Merkmal «Kronenzustand». Zweijahresperiode 1: 1984/85, 2: 1985/86, 3: 1986/87, 4: 1987/88, 5: 1988/89, 6: 1989/90, 7: 1990/91.

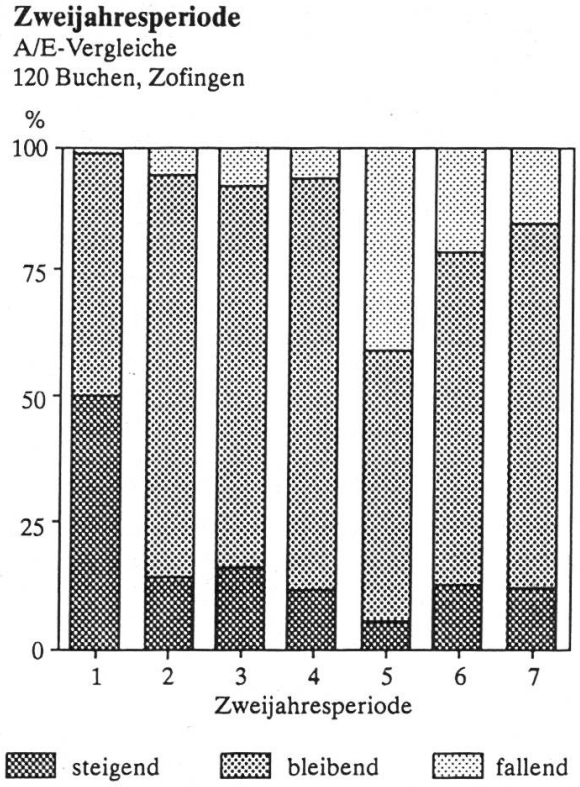

Abbildung 4. Gleitende Zweijahresvergleiche zwischen Anfangs- und Endzustand der Krone (= A/E-Vergleiche) bei 120 Buchen in Zofingen. Merkmal «Kronenzustand». Zweijahresperiode 1: 1984/85, 2: 1985/86, 3: 1986/87, 4: 1987/88, 5: 1988/89, 6: 1989/90, 7: 1990/91.

1990/91 zusammengestellt. Aus den Säulendiagrammen lassen sich die Häufigkeiten der Übergänge in eine höhere oder niedrigere Boniturklasse ablesen, die sich aus der Zuordnung zu den Kategorien «steigend» bzw. «fallend» ergeben.

Nach *Abbildung 3* wechselt in jeder der sieben Zweijahresperioden – wenn auch in unterschiedlichem Ausmass – ein Teil der 159 Fichten des Testgebietes «Flims» in eine höhere Boniturklasse. Anderseits sind in den Perioden 3 (1986/87), 5 (1988/89) und 6 (1989/90) eine ganze Reihe von Bäumen der Kategorie «fallend» zugewiesen worden. Der Anteil der Fichten in der Kategorie «bleibend» liegt zwischen den Werten 94 % (1985/86) und 63 % (1988/89).

Die Buchen der Stichprobe «Zofingen» weisen gegenüber den Fichten eine wesentlich grössere Dynamik auf, was sich einerseits in der grösseren Schwankungsbreite der Anteile für die beiden Kategorien «steigend» und «fallend» und anderseits in den kleineren Anteilen der Kategorie «bleibend» mit den Grenzen 48 % (1984/85) und 82 % (1987/88) spiegelt.

Offen bleibt die Frage, ob diese Differenzen auf unterschiedliche Reaktionsweisen von Nadel- oder Laubbaumarten hinweisen.

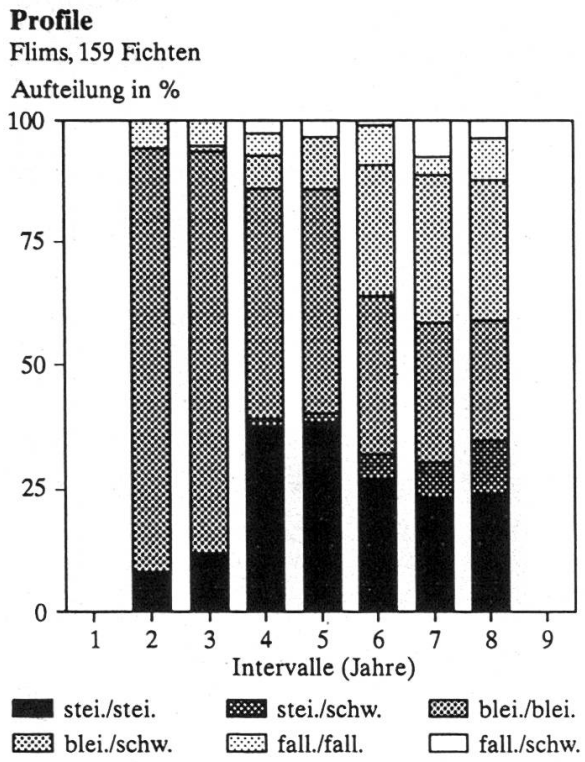

Abbildung 5. Profilklassen für Intervalle zunehmender Dauer. 159 Fichten, Flims. Abkürzungen: *stei./stei.:* steigend/steigend, *stei./schw.:* steigend/schwankend, *blei./blei.:* bleibend/bleibend, *blei./schw.:* bleibend/schwankend, *fall./fall.:* fallend/fallend, *fall./schw.:* fallend/schwankend.

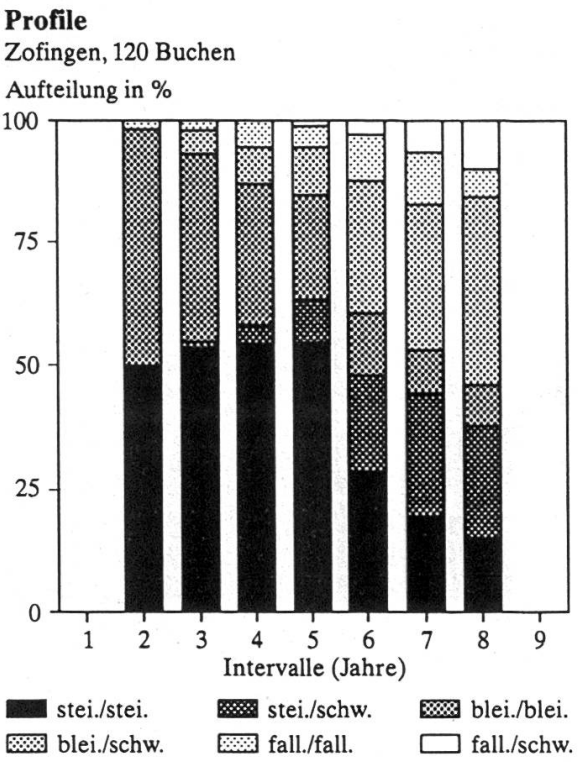

Abbildung 6. Profilklassen für Intervalle zunehmender Dauer. 120 Buchen, Zofingen. Abkürzungen siehe *Abbildung 5.*

4.3.2 Kommentar aus methodischer Sicht

Das Verfahren des A/E-Vergleiches zwischen zwei zeitlich gestaffelten Erhebungen an den gleichen Bäumen zeigt den Vorteil wiederholter Untersuchungen an individuell erkennbaren Elementen einer permanenten Stichprobe: Die Boniturwerte aus zwei aufeinanderfolgenden Taxationen der einzelnen Bäume erlauben eine eindeutige Zuordnung jedes Individuums zu einer der drei Kategorien «steigend», «bleibend» oder «fallend». Die prozentuale Aufteilung der Häufigkeiten zwischen diesen drei Kategorien liefert ein Mass, um die Wahrscheinlichkeit für den Übergang zu einer höheren oder tieferen Boniturklasse zu schätzen. Damit bietet sich dem Statistiker die Chance, auf der Grundlage der sogenannten «Übergangsmodelle» biometrische Methoden für die Auswertung von Folgebonituren an permanenten Stichproben zu erproben. Es ist dabei aber zu berücksichtigen, dass mit der Reduktion auf die drei Kategorien «steigend», «bleibend» und «fallend» ein Informationsverlust verbunden ist.

4.4 Datenanalyse mit Zuordnung mehrstelliger Codezahlen nach Profilklassen

Aus didaktischen Gründen werden die Datensätze der Achtjahresperiode 1984/91 nach Zeitintervallen ansteigender Dauer (2 bis 8 Jahre) analysiert, wobei stets 1984 als Ausgangsjahr gewählt wird. Die Zweijahresperiode 1984/85, die nur nach dem Verfahren des A/E-Vergleiches ausgewertet werden kann, wird in die Reihe einbezogen, um die Übersicht zu vervollständigen und die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Zahl aufeinanderfolgender Bonitierungen zu illustrieren.

Nach *Abbildung 5* sinkt der Anteil der Fichten, die unverändert bleiben, mit zunehmender Länge der Beobachtungsreihe deutlich ab, sind doch der Profilklasse «bleibend/bleibend» für das Dreijahresintervall 1984/86 82 % und für das Achtjahresintervall 1984/91 nur noch 24 % zugeordnet worden. Im Verlaufe der Jahre haben demnach mehr und mehr Bäume der Stichprobe mindestens einmal die ursprüngliche Boniturklasse gewechselt. Die Säulendiagramme der beiden Intervalle 4 und 5 zeigen mit je 38 % eine beträchtliche Zunahme der Fichten in der Profilklasse «steigend/steigend» neben einem bescheidenen Anteil von Bäumen in den beiden Klassen «fallend/fallend» bzw. «fallend/schwankend». Die Aufteilung der Profilklassen bei den Intervallen 6, 7 und 8 lässt vermuten, dass sich ein Teil der Bäume von einer Verschlechterung des Kronenzustandes aus der Zeit vor 1989 wieder erholt hat.

Die Reihe der sieben aufeinanderfolgenden Säulendiagramme in *Abbildung 6* (Zofingen, Buchen) zerfällt in zwei leicht unterscheidbare Gruppen: Nach dem A/E-Vergleich fallen bei den ersten vier Säulendiagrammen mehr als 50 % aller Profile in die Kategorie «steigend», während bei der zweiten Gruppe (Intervalle 6 bis 8) der Anteil der Kategorie «steigend» mit wachsen-

der Dauer des Intervalls absinkt und gleichzeitig die Anteile der Klasse «fallend» zwischen 15 % und 20 % verharren. Die Trenngrenze zwischen den beiden Gruppen verläuft wie bei der Stichprobe «Fichten» zwischen den Intervallen 5 und 6.

Diese Unregelmässigkeit im Verlauf der beiden Reihen ruft nach einer Vertiefung der Analyse mit weiterführenden Ansätzen.

Tabelle 7. Achtjahresprofile 1984/91 für das Merkmal «Kronenzustand»; Codezahlen nach Häufigkeit geordnet (Altdorf, 74 Buchen).

Codezahl	*n*	*A/E-Vergleich*	*Profiltyp*
*22222222	5	bleibend	bleibend
*11111222	5	steigend	steigend
*12222222	3	steigend	steigend
*11111211	3	bleibend	schwankend
*11112332	2	steigend	schwankend
*11122221	2	bleibend	schwankend
*11122222	2	steigend	steigend
*11111111	2	bleibend	bleibend
*11111322	2	steigend	schwankend
*12211332	2	steigend	schwankend
Summe	26	–	–
Übrige	48	–	–
	74		

n: Anzahl Profile

A/E-Vergleich: Vergleich der Anfangs- und Endziffer der Codezahl
- steigend: Endziffer höher als Anfangsziffer
- bleibend: Endziffer gleich Anfangsziffer
- fallend: Endziffer tiefer als Anfangsziffer

Profiltyp:
- steigend: aufsteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge
- bleibend: alle Einzelziffern gleich
- fallend: absteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge
- schwankend: sowohl auf- wie absteigende Sequenzen innerhalb der Ziffernfolge

Eine erste Klärung ergibt sich bei einer Unterteilung der Achtjahresperiode 1984/91 in die beiden Vierjahresperioden 1984/87 und 1988/91. Ein Blick auf die beiden *Abbildungen 7* und *8* lässt bei beiden Baumarten eine Wende in der Entwicklung erkennen. Um diese Veränderung zu charakterisieren, werden mit Vorteil A/E-Vergleiche durchgeführt *(Tabelle 8)*. Bei beiden Baumarten erfolgt demnach ein Umschwung in der Entwicklungstendenz: Nach einer deutlichen Verschlechterung des Kronenzustandes während der ersten Vierjahresperiode setzte in den Jahren 1988/91 eine Erholung ein, die bei Buchen stärker als bei Fichten ausgeprägt ist.

Unter einem anderen Gesichtspunkt kann man der Frage nachgehen, wie sich die Bäume aus den Boniturklassen *1, *2 und *3 von 1984 bis 1991

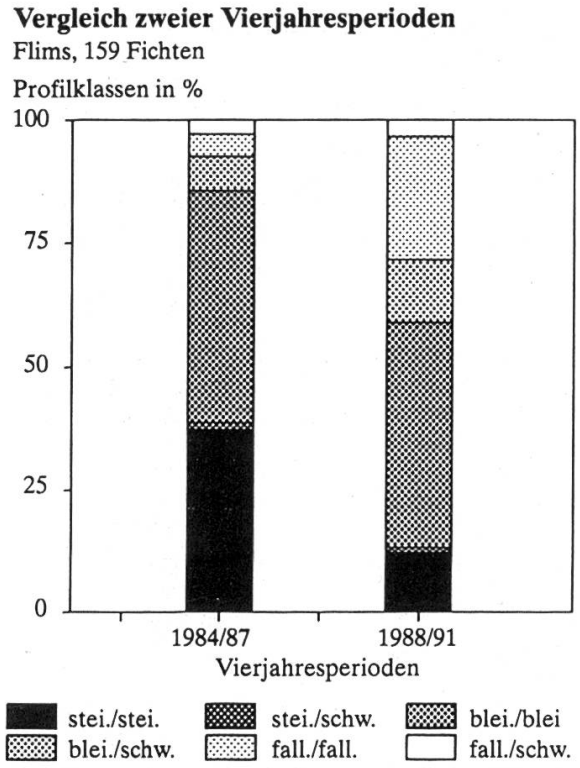

Abbildung 7. Profil-Codierung für die beiden Vierjahresperioden 1984/87 und 1988/91. 159 Fichten, Flims. Abkürzungen siehe *Abbildung 5.*

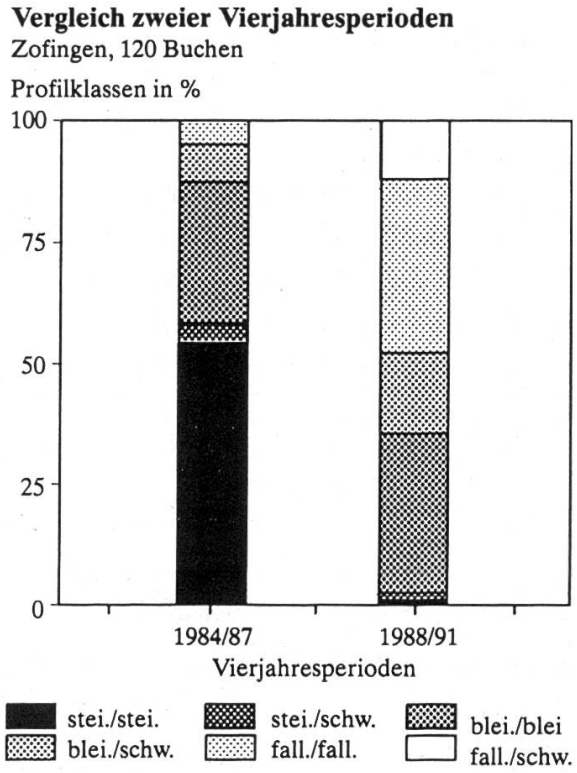

Abbildung 8. Profil-Codierung für die beiden Vierjahresperioden 1984/87 und 1988/91. 120 Buchen, Zofingen. Abkürzungen siehe *Abbildung 5.*

entwickelt haben. Wie vorher lassen sich die Säulendiagramme der *Abbildungen 9* und *10* leichter interpretieren, wenn man zusätzlich die Anteile für die drei Kategorien des A/E-Vergleiches berechnet *(Tabelle 9)*.

Tabelle 8. A/E-Vergleiche zwischen zwei Vierjahresperioden.

Periode	*Baumart*	*steigend*	*bleibend*	*fallend*
1984/87	Fichte	38 %	54 %	8 %
1988/91	Fichte	14 %	58 %	28 %
1984/87	Buche	58 %	37 %	5 %
1988/91	Buche	3 %	50 %	47 %

Bei beiden Baumarten verschlechtern sich im Verlaufe der Jahre die Bäume der Boniturklasse *1 deutlich. Bei Fichten und Buchen der Boniturklasse *2 vermag die Zahl der sich erholenden Bäume den Anteil der Individuen mit steigenden Boniturwerten nicht auszugleichen. Ein Unterschied zwischen den beiden Baumarten ist bei Bäumen der Boniturklasse *3 festzustellen: Bei Fichten halten sich die Verbesserungen und die Verschlechterungen etwa die Waage, während sich 46 % der Buchen aus dieser Klasse erholen und keine einzige eine Verschlimmerung des Kronenzustandes zeigt.

Tabelle 9. A/E-Vergleiche für unterschiedlich stark geschädigte Bäume (Achtjahresperiode 1984/91).

Codezahl	*Baumart*	*n*	*steigend*	*bleibend*	*fallend*
*1	Fichte	25	48 %	52 %	0 %
*2	Fichte	80	44 %	47 %	9 %
*3	Fichte	51	18 %	61 %	21 %
*1	Buche	49	75 %	25 %	0 %
*2	Buche	45	20 %	69 %	11 %
*3	Buche	24	0 %	54 %	46 %

Codezahlen: *1 ungeschädigt
*2 leicht geschädigt
*3 mittelstark geschädigt

Tabelle 10. Kronenentwicklung im Achtjahresvergleich 1984/91 (Altdorf, 74 Buchen, Merkmal «Kronenzustand»).

A/E-Vergleich	*Profiltyp*	*n*	*Summen*
steigend	steigend	14	
steigend	schwankend	21	35
bleibend	bleibend	8	
bleibend	schwankend	19	27
fallend	fallend	6	
fallend	schwankend	6	12
		74	74

Erklärungen siehe *Tabelle 4.*

4.5 Analyse anhand der fünf häufigsten Profile

4.5.1 Grundlagen des Verfahrens

Ausgangspunkt für die Entwicklung dieses Verfahrens bilden zwei Beobachtungen:

- Die Zahl verschiedenartiger Profile ist in allen untersuchten Stichproben wesentlich kleiner als sie zu erwarten wäre, wenn die Boniturwerte aus den einzelnen Jahren eine Codezahl mit einer zufälligen Ziffernfolge bilden würden.
- Die Häufigkeit der einzelnen Profile variiert innerhalb der untersuchten Stichproben ganz erheblich.

Es scheint, dass die Entwicklung des Kronenzustandes der untersuchten Fichten und Buchen bevorzugt in bestimmten Bahnen verläuft und somit eine

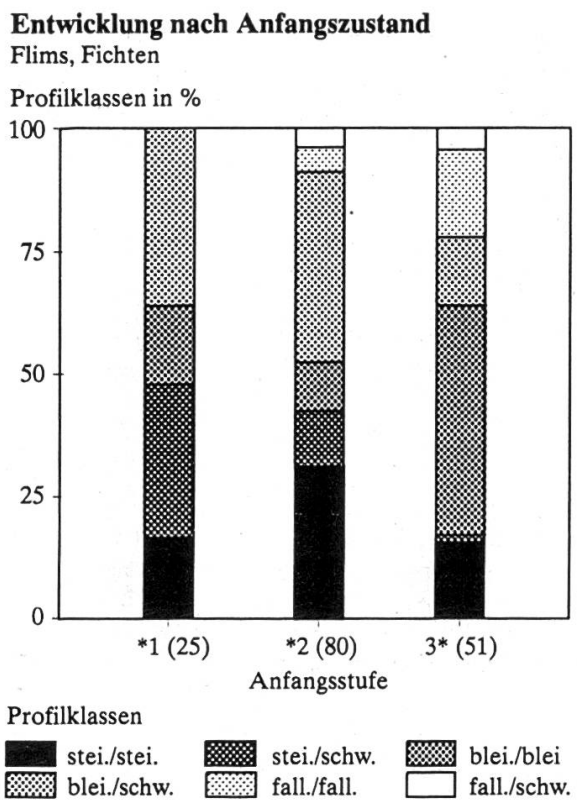

Abbildung 9. Entwicklung der Bäume von 1984/91 in Abhängigkeit von ihrem Kronenzustand zu Anfang der Erhebungen (1984). Profil-Codierung. 156 Fichten, Flims. Anfangsstufen (in Klammer Anzahl Bäume): **1:* Bäume ungeschädigt, **2:* Bäume leicht geschädigt, **3:* Bäume mittelstark geschädigt. Abkürzungen «Profilklasse» siehe *Abbildung 5.*

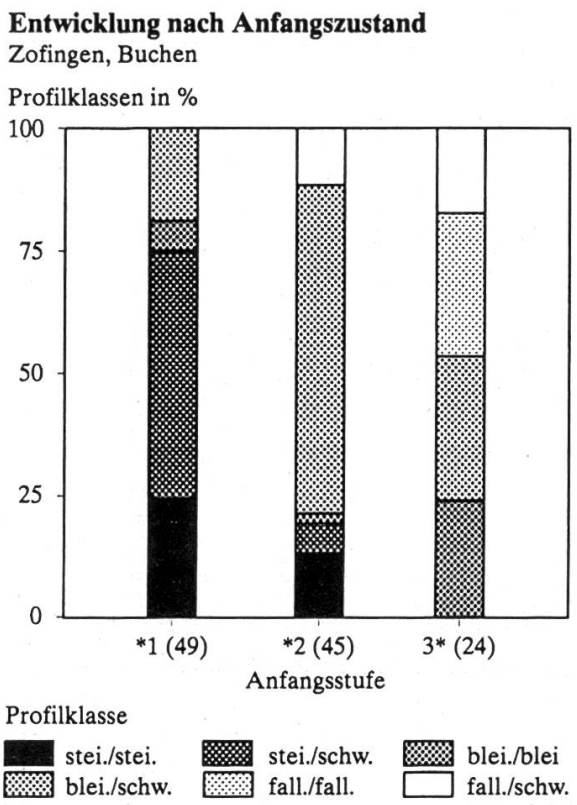

Abbildung 10. Entwicklung der Bäume von 1984/91 in Abhängigkeit von ihrem Kronenzustand zu Anfang der Erhebungen (1984). Profil-Codierung. 118 Buchen, Zofingen. Anfangsstufen (in Klammer Anzahl Bäume): **1:* Bäume ungeschädigt, **2:* Bäume leicht geschädigt, **3:* Bäume mittelstark geschädigt. Abkürzungen «Profilklasse» siehe *Abbildung 5.*

Tendenz zur *Homöostasie (Kauffman,* 1991*)* besteht. Lässt sich diese Vermutung an anderen Beispielen bestätigen, dann öffnen sich neue Wege, um die Dynamik der Waldschadenentwicklung zu erforschen:

Bevorzugte Profile charakterisieren Entwicklungsprozesse, die unter Einwirkung endogener und exogener Steuerungsvorgänge in bestimmte Bahnen gelenkt werden. Über die Analyse derartiger Entwicklungsprozesse und ihrer Steuerung lässt sich ein Einblick in das verflochtene Netz von Ursache/ Wirkungs-Ketten gewinnen.

Die Ziffernfolgen der Profil-Codezahlen beschreiben Sequenzen von Zuständen eines Systems, das nach Kauffman (1991) als Bool'sches Netzwerk aufgefasst werden kann und damit der mathematischen Analyse mit den Ansätzen der Bool'schen Algebra zugänglich wird. Dieser neue Ansatz verspricht höchst interessante Einblicke in die Dynamik biologischer Systeme, zielt er doch unter anderem auf die Frage, in welcher Art und wie empfindlich ein lebendes System auf Störungen reagiert.

4.5.2 Ergebnisse

Die Analyse der Datensätze «159 Fichten, Flims» und «120 Buchen, Zofingen» für die Achtjahresperiode 1984/91 nach dem Verfahren der Profil-Codierung liefert einen interessanten Beitrag zur Illustration der aufgeworfenen Fragen.

In den *Tabellen 11* (Fichten, Flims) und *12* (Buchen, Zofingen) wird einmal gezeigt, wie sich die Zahl der Profile mit zunehmender Länge der Beobachtungsreihe verändert. Wie aus den Zahlen der Kolonne «Profilklassen» hervorgeht, fallen die 159 achtstelligen Codezahlen der Stichprobe «Fichten, Flims» in 80, die 120 Profile 1984/91 der Stichprobe «Buchen, Zofingen» in 81 Profilklassen. Diese beiden Zahlen sind mit der Zahl der theoretisch möglichen Kombinationen $K = 8^5 = 390\,625$ zu vergleichen. Im weiteren illustrieren die Zahlen in der Kolonne «10 häufigste Profile» augenfällig die Tendenz zur Bevorzugung bestimmter Profile. Bei der Stichprobe «Fichten, Flims, 1984/91» fallen 50 % aller achtstelligen Codezahlen in die 10 Klassen mit den grössten Häufigkeiten; bei der Stichprobe «Buchen, Zofingen, 1984/91» sind es immerhin noch 33 %.

Tabelle 11. Profilklassen in Abhängigkeit von der Zahl der Taxationen (Flims, 159 Fichten).

Periode	*n*	*Profilklassen*	*10 häufigste Profile*
1984/85	2	9	100 %
1984/86	3	14	97 %
1984/87	4	22	90 %
1984/88	5	29	86 %
1984/89	6	43	71 %
1984/90	7	59	59 %
1984/91	8	80	50 %

n: Dauer der Periode in Jahren
Profilklassen: Anzahl der Profilklassen
10 häufigste Profile: Prozentsatz der Profile, die in die 10 Klassen grösster Häufigkeit fallen

Tabelle 12. Profilklassen in Abhängigkeit von der Zahl der Taxationen (Zofingen, 120 Buchen).

Periode	*n*	*Profilklassen*	*10 häufigste Profile*
1984/85	2	8	100 %
1984/86	3	16	93 %
1984/87	4	30	78 %
1984/88	5	39	67 %
1984/89	6	59	49 %
1984/90	7	75	37 %
1984/91	8	81	33 %

Legende siehe *Tabelle 11.*

Unter diesen Voraussetzungen kann man prüfen, ob sich die Entwicklung der Einzelbäume innerhalb einer Stichprobe allein anhand der Profile in den

fünf Klassen der grössten Häufigkeit zuverlässig beurteilen lässt. Massgebend ist dabei die Vorstellung, dass die Profile grösster Häufigkeit den Trend der Entwicklung anzeigen.

Als Beispiel werden die Codezahlen der Vierjahresprofile 1984/87 und 1988/91 für die beiden Stichproben «Fichten, Flims» und «Buchen, Zofingen» gewählt, die bereits in einem anderen Zusammenhang analysiert worden sind *(Abbildungen 7* und *8)*. Die Liste der vierstelligen Codezahlen für die vier Vergleichsgruppen findet sich in *Tabelle 13*.

Bei allen vier Gruppen fällt ein erheblicher Prozentsatz von Profilen in die fünf Klassen grösster Häufigkeit. Für die Periode 1984/87 sind es 75 % bei den Fichten aus Altdorf, 55 % bei den Buchen aus Zofingen. Für das zweite Vierjahresintervall 1988/91 liegen die Prozentwerte bei 64 % (Fichten) und 62 % (Buchen).

Die Ergebnisse der A/E-Vergleiche sind in *Abbildung 12* als Säulendiagramme dargestellt. In der Periode 1984/87 weisen Fichten wie Buchen hohe Anteile der Kategorie «steigend» auf, wobei der Prozentsatz bei Buchen höher liegt als bei Fichten. Für die Zeit von 1988/91 zeichnet sich eine Umkehr ab, indem bei Fichten 28 %, bei Buchen 43 % der Kategorie «fallend» zugeordnet werden.

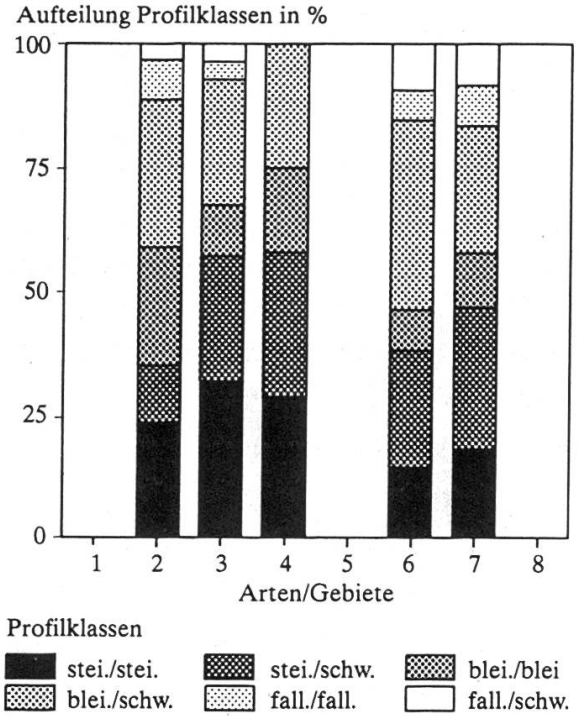

Abbildung 11. Vergleich von Stichproben für Fichten und Buchen aus verschiedenen Gebieten. Abkürzungen siehe *Abbildung 5*.

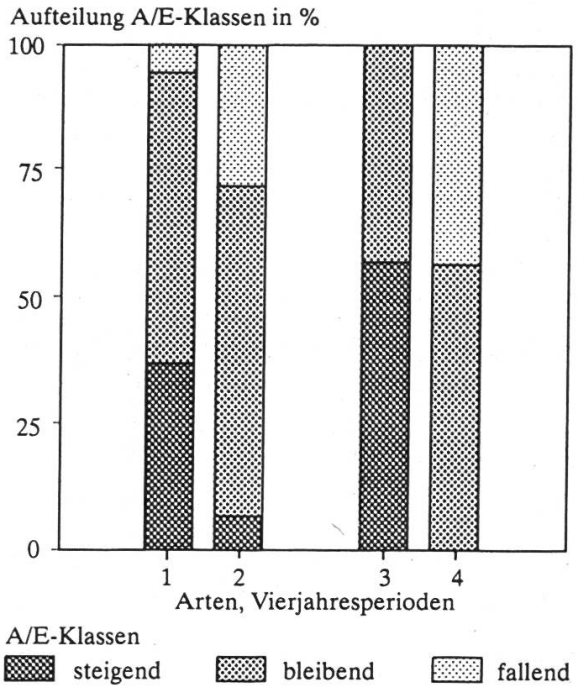

Abbildung 12. Vergleich der Vierjahresperioden 1984/87 und 1988/91 für 159 Fichten aus Flims und 120 Buchen aus Zofingen anhand der fünf häufigsten Profile.

Aus *Tabelle 13* geht im weiteren hervor, dass die Codezahl *3333 in allen vier Gruppen vertreten ist, wobei ihr Anteil in der Stichprobe «Fichten» (159 Bäume) bei 28 % bzw. 26 %, in der Stichprobe «Buchen» (120 Bäume) bei 16 % bzw. 14 % liegt.

Tabelle 13. Listen der fünf häufigsten Profile.

1984/87 Fichten		*1984/87 Buchen*		*1988/91 Fichten*		*1988/91 Buchen*	
Codezahl	*n*	*Codezahl*	*n*	*Codezahl*	*n*	*Codezahl*	*n*
*3333	45	*2333	23	*3333	42	*3222	22
*2223	31	*3333	19	*2222	22	*2222	18
*2222	22	*1111	10	*3222	20	*3333	17
*1112	13	*1223	8	*2111	8	*3322	10
*2221	7	*1333	7	*2333	7	*3232	7
	118		67		99		74

4.6 Wahrscheinlichkeit individueller Veränderungen

4.6.1 Bedeutung der Frage

Die Frage nach der Wahrscheinlichkeit individueller Veränderungen des Kronenzustandes von Waldbäumen während einer bestimmten Zeitspanne ist aus zwei Gründen für die Forstwirtschaft von Bedeutung:

- Waldbäume, die während langer Zeit keine Anzeichen einer Schädigung zeigen, sind entweder gegenüber den schädigenden Einwirkungen resistent oder wachsen an Orten, an denen sie solchen Einflüssen entzogen sind.
- Aus den Wahrscheinlichkeiten, dass ein bereits geschädigter Baum der Boniturklassen *2, *3 oder *4 abstirbt oder sich wieder erholt, lassen sich – wenn auch mit Vorbehalt – Prognosen für die weitere Entwicklung ableiten, die als Entscheidungsgrundlage für forstliche Massnahmen dienen können.

4.6.2 Methodische Ansätze

Bei der einfachsten Form der Auswertung von Boniturdaten (Verfahren «Differenzen») wird das Ausmass der Veränderungen innerhalb einer verbundenen Stichprobe bestimmt, indem man die Differenzen zwischen den Baumzahlen in den verschiedenen Boniturklassen bestimmt und alle Werte, die von Null verschieden sind, der Kategorie «verändert» zuordnet.

Beim Verfahren des A/E-Vergleiches wird vorerst für jeden einzelnen Baum die Differenz zwischen den Boniturwerten am Anfang und am Ende der Beobachtungsperiode ermittelt. Liegt der Endwert über oder unter dem Anfangswert, dann fällt der betreffende Baum in die Kategorie «verändert».

Bei der Methode der Profil-Codierung werden alle Codezahlen mit einer Folge gleichbleibender Einzelziffern der Kategorie «unverändert», alle anderen Ziffernfolgen der Kategorie «verändert» zugewiesen.

4.6.3 Ergebnisse

Die drei Verfahren führen bei beiden Baumarten zu unterschiedlichen Ergebnissen *(Abbildungen 13* und *14*).

Nach der Methode «Differenzen» verläuft bei Fichten und Buchen die Reihe der Anteilziffern wellenartig, wobei die Maxima für beiden Baumarten bei den Intervallen 4 und 5 Jahre liegen. Die Prozentzahlen der A/E-Vergleiche steigen bei Fichten in den ersten beiden Intervallen an und pendeln bei den längeren Zeitabschnitten um 40 %. Bei Buchen schwanken die Werte – unabhängig von der Dauer des Intervalles – zwischen den Werten 0,40 und 0,61. Bestimmt man den Anteil der Bäume, die sich im Verlaufe der Zeit verändert haben, anhand der Profilklassen, so zeigen beide Grafiken mit zunehmender Dauer des Intervalls einen kontinuierlichen Anstieg. Nach acht Jahren haben 76 % der Fichten und 92 % der Buchen mindestens einmal in eine andere Boniturklasse gewechselt.

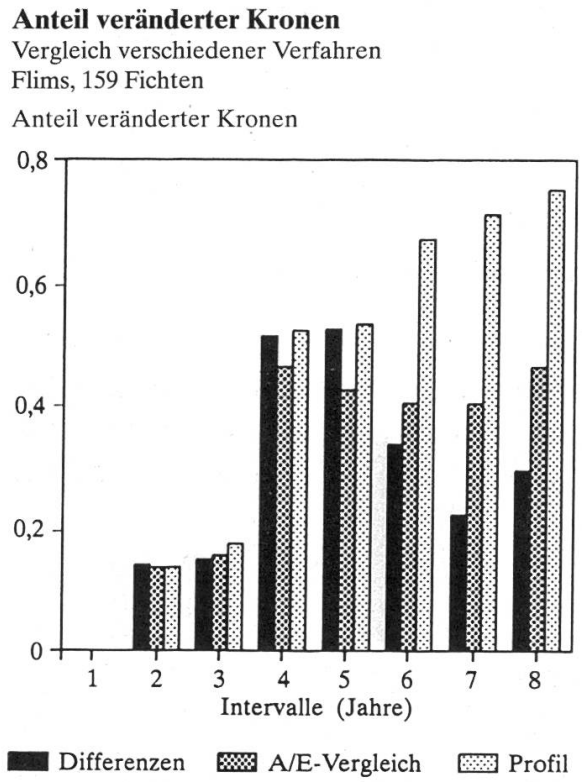

Abbildung 13. Vergleich der Anteile von Bäumen mit veränderter Krone bei Anwendung verschiedener Methoden: «Differenzen von Jahr zu Jahr», «A/E-Vergleich» oder «Profil-Codierung». Dauer der Intervalle: 2 bis 8 Jahre. 159 Fichten, Flims.

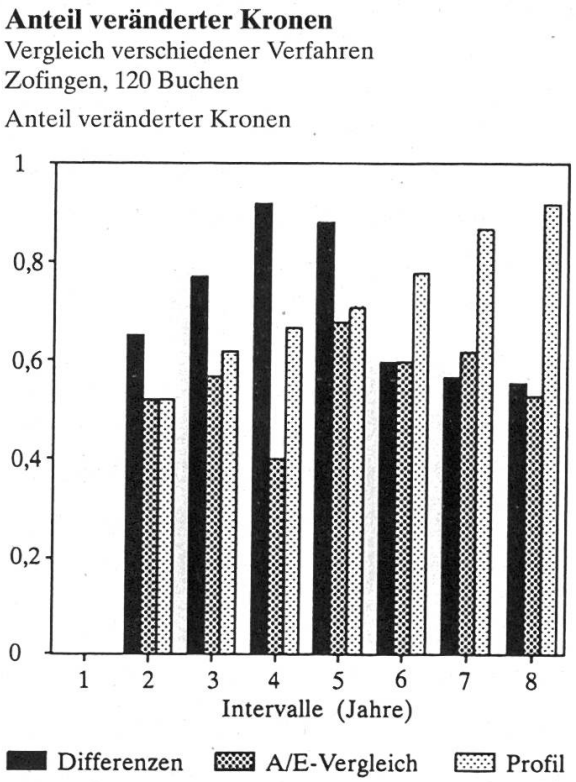

Abbildung 14. Vergleich der Anteile von Bäumen mit veränderter Krone bei Anwendung verschiedener Methoden: «Differenzen von Jahr zu Jahr», «A/E-Vergleich» oder «Profil-Codierung». Dauer der Intervalle: 2 bis 8 Jahre. 120 Buchen, Zofingen.

Das Verfahren der A/E-Vergleiche führt gegenüber der Methode «Bildung von Profilklassen» dazu, dass der Anteil der sich verändernden Bäume systematisch unterschätzt wird. Der Grund liegt darin, dass ein Vergleich zwischen dem Anfangs- und Endzeitpunkt der Erhebungsperiode jene Schwankungen nicht berücksichtigt, die bei gleichen Anfangs- und Endwerten während der Zwischenjahre auftreten können.

Der gleichmässige Anstieg der Anteilziffern mit zunehmender Zahl aufeinanderfolgender Bonitierungen zeigt, dass die Veränderungen bei *Buchen* zeitlich weitgehend unabhängig voneinander auftreten. Demgegenüber spricht der deutliche Absatz in der Treppenkurve *«Fichten»* (Intervalle 4 und 5 Jahre) für einen Veränderungsschub zwischen 1986 und 1987.

Das Verfahren «Differenzen» stützt sich auf die Veränderungen prozentualer Anteile zwischen den Boniturklassen und kann allfällige Überlagerungen von Rechts- und Linksverschiebungen der einzelnen Bäume in den drei Boniturklassen *2, *3 und *4 (Anfangsbonitierung) nicht erfassen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Methoden lassen sich deshalb die Ergebnisse von Vergleichen nach dem Verfahren «Differenzen» wesentlich schlechter interpretieren.

Wenn das Ziel der Analyse darin besteht, die Veränderungstendenz der Einzelbäume einer Stichprobe im Verlaufe der Zeit zu erkennen, dann ist die Methode «Aufteilung in Profilklassen» den anderen beiden Verfahren eindeutig überlegen.

5. Diskussion

5.1 Sachwissenschaftliche Gesichtspunkte

Die Analyse der fünf Datensätze «Flims, 159 Fichten», «Altdorf, 28 Fichten», «Altdorf, 74 Buchen», «Zofingen, 20 Fichten» und «Zofingen, 120 Buchen» mit je acht Boniturwerten aus den Jahren 1984/91 liefert einige neue Gesichtspunkte zur Epidemiologie der «neuartigen Waldschäden». Bei der Interpretation der Ergebnisse sind jedoch zwei Punkte zu berücksichtigen:

- Die Aussagen beziehen sich stets nur auf die fünf untersuchten Stichproben; von einer Verallgemeinerung der Schlussfolgerungen über die beobachteten Veränderungen des Kronenzustandes sollte im Hinblick auf den begrenzten Umfang der Stichproben abgesehen werden.
- In die Datenanalyse sind nur jene Einzelbäume einbezogen worden, für welche lückenlose Reihen von acht aufeinanderfolgenden Boniturwerten verfügbar sind. Diese Einschränkung kann unter Umständen zu einer erheblichen Verminderung des Stichprobenumfanges führen: So ist im Testgebiet «Flims» zwischen 1984 und 1992 ein beträchtlicher Prozentsatz der Fichten durch Windwurf ausgeschieden.

- Werden Bäume wegen ihres schlechten Kronenzustandes vorzeitig gefällt, so scheiden vor allem Profile mit ungünstigem Verlauf aus der Stichprobe aus. Damit aber wird – bei Beschränkung auf vollständige Profile – die Kronenentwicklung zu optimistisch beurteilt.

Als wichtigsten Befund werten wir die Feststellung, dass die Entwicklung des Kronenzustandes während der Zeitspanne 1984/91 sowohl in der Ausprägung der Kronenschäden wie auch im zeitlichen Verlauf individuell ungewöhnlich stark variiert. Die Mannigfaltigkeit der beobachteten Verlaufsmuster spricht für ausgeprägte Unterschiede in der Reaktion des Einzelbaumes auf die Einwirkungen entwicklungsbestimmender Faktoren. Dabei bleibe dahingestellt, ob diese individuelle Variabilität genetisch oder standörtlich verursacht wird.

Die ungewöhnlich hohe Variabilität des Entwicklungsverlaufes der Einzelbäume bedingt, dass epidemiologische Untersuchungen über die «neuartigen Waldschäden» von den beobachteten Veränderungen der einzelnen Bäume auszugehen haben.

Individuell stark variierende Verlaufsmuster erschweren die Anwendung biometrischer Verfahren, weil die Stichproben eine unverhältnismässig grosse Variabilität zwischen den einzelnen Elementen aufweisen.

Immerhin vermag die Datenanalyse einerseits Unterschiede im Entwicklungsverlauf von Fichten und Buchen aufzudecken und anderseits bei beiden Baumarten auch Differenzen zwischen den Testgebieten hervortreten zu lassen.

Als Überraschung haben wir empfunden, dass bei allen fünf Stichproben bestimmte Profiltypen bevorzugt erscheinen und damit ein Homöostasie-Effekt vorliegt. Dieser Angleichungseffekt ist bei Fichten stärker als bei Buchen ausgeprägt, ohne dass dieser Unterschied zwischen den beiden Baumarten erklärt werden könnte.

Aus forstlicher Sicht kann mit Erleichterung zur Kenntnis genommen werden, dass sich sowohl Fichten wie auch Buchen der Boniturklasse *2 und *3 im Verlaufe der Jahre wieder erholen können.

5.2 Methodische Gesichtspunkte

Die Profil-Codierung zur zahlenmässigen Verschlüsselung von Boniturwerten aus zeitlich aufeinanderfolgenden Taxationen der gleichen Bäume erweist sich als einfaches und vielseitig nutzbares Notationsverfahren.

Mehrstellige Profil-Codezahlen können sowohl ziffernweise *(Abbildungen 1* und *2)* wie auch gruppenweise (zum Beispiel *Abbildungen 7* und *8*) analysiert werden. Als leicht anzuwendendes Verfahren hat sich der A/E-Vergleich bewährt, bei dem die Anfangsziffer einer Profil-Codezahl mit der End-

ziffer verglichen wird (*Abbildungen 3* und *4*). Will man eine erste Übersicht über die Veränderung des Kronenzustandes bei Reihen von drei oder mehr aufeinanderfolgenden Taxationen gewinnen, so werden die beobachteten Profile nach sechs standardisierten Profilklassen gruppiert (zum Beispiel *Abbildungen 5* und *6*).

Anhand der Profil-Codezahlen lassen sich die Ergebnisse wiederholter Bonitierungen an den gleichen Einzelbäumen mit einfachen Ansätzen der deskriptiven Statistik analysieren.

Profil-Codezahlen liefern ausserdem eine Datenstruktur, welche die Entwicklung statistischer Modelle zur biometrischen Auswertung zeitlich verbundener Boniturdaten aus permanenten Stichproben erleichtert. Ein erstes Beispiel ist unter der Bezeichnung «Profilanalyse» von Urfer *et al.,* 1990 veröffentlicht worden.

Aus theoretischer Sicht ist bemerkenswert, dass die Aufteilung der Profilklassen den Gesetzmässigkeiten Bool'scher Netzwerke folgen könnte, wie sie in einem anderen Zusammenhang beschrieben worden sind (Kauffman, 1991).

Résumé

Exploitation des données résultant de l'appréciation des houppiers effectuée chaque année sur des arbres observés individuellement
Deuxième volet:
Analyse des séries de valeurs individuelles d'appréciation répétées dans le temps

L'analyse des données de trois ou plusieurs valeurs d'appréciation obtenues par des examens successifs d'un seul et même arbre nous fournit des bases pour établir le chiffrement des valeurs d'appréciation selon la méthode du code numérique de profil (Profil-Codezahlen). Ces codes à plusieurs chiffres se classent facilement à l'aide d'une banque de données. Sur les placettes d'échantillonnage, on peut aussi les regrouper en fonction du symbole qu'ils expriment. Les deux méthodes de comparaison entre l'état de l'arbre au début et à la fin de la période d'observation (A/E-comparaison) ainsi que le groupement des six classes de profils de développement se prêtent parfaitement à l'analyse de ce genre de séries de données.

L'application des méthodes est representée dans cinq séries complètes de données comportant les valeurs d'appréciation du critère «état du houppier» d'épicéas et de hêtres observés durant la période 1984/91. Traduction: *Monique Dousse*

Verdankungen

Wir danken Prof. Dr. W. Urfer (Fachbereich Statistik der Universität Dortmund) und Dr. M. Köhl (WSL, Birmensdorf) für die kritische Durchsicht des Manuskripts sowie Frau D. Pichler (WSL, Birmensdorf) für das Reinzeichnen der Abbildungen.

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.

Kauffman, St.A. (1991): Leben am Rande des Chaos. Spektrum der Wissenschaften. Oktober 1991, 90–99.

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.

Schwarzenbach, F.H. (1977): Numerische Codierung. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart, 225 S.

Schwarzenbach, F.H.; Urfer, W. (1989): Anwendung einer allgemeinen Strategie zur Lösung ökologischer Probleme am Beispiel von Dauerbeobachtungsflächen. Forstwissenschaftliches Centralblatt, *108*: 218–228.

Schwarzenbach, F.H.; Oester B. (1993): Zur Auswertung von Boniturdaten wiederholter Kronentaxationen an Einzelbäumen. Erster Teil: Vergleiche zwischen zwei Zeitpunkten. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, *144* (1993) 1: 23–40.

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.

Verfasser: Dr. phil. Fritz Hans Schwarzenbach, CH-6714 Semione, und Dr. sc.nat. Bernhard Oester, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, CH-8903 Birmensdorf.