

Landw. Jb. 1968/1. — SPEER, J., 1954: Wasserwirtschaft und Forstwirtschaft. AFZ. — STERN, R., 1966: Der Waldrückgang im Wipptal. Mitt. d. forstl. Bundesvers.-Anstalt, Wien. — UECKERMANN, 1960: Wildstandsbewirtschaftung und Wildschadensverhütung beim Rotwild. Hambg. u. Berlin. — VALEK, Z., 1935: Forschungs- und Beobachtungsergebn. über den Einfluß von Kulturbeständen auf den Abfluß von Niederschlägen aus den Wildbachgebieten der Kychova. Prag. — VOGT, F., 1948: Das Rotwild. Wien. — VOISIN, A., 1958: Die Produktivität der Weide. München, Bonn, Wien. — WEINZIERL, H., 1968: Reviergestaltung. München, Basel, Wien. — WIDRIG, J., 1967: Bergheimat wohin? Luzern. — WITTICH, W., 1952: Der Einfluß des Waldes auf die Wasserwirtschaft des Landes. AFZ. — WYLER, E., 1958: Grünes Europa wohin? — ZÖLLER, J. O., 1968: Verliert Bayern sein „malerisches Gesicht“? Der Rundfunkhörer H. 9.

Die Forstverwaltung Bayerns. München 1844. — Die Forstverwaltung Bayerns. München 1861. — Hauptwirtschaftsregeln für die königl. bayer. Hochgebirgswaldungen betreffend; in: Forstwirtschaftl. Mittheilungen, München 1846. — Wirtschaftsregeln für die Hochgebirgswaldungen des k. Salinen-Forstamtes Reichenhall 1852; in: Forstliche Mittheilungen, München 1855. — Wirtschaftsregeln für die Gebirgswaldungen des oberbayer. Forstamtes Tölz; in: Forstliche Mittheilungen, München 1858. — Mittheilungen über das Forst- und Jagdwesen in Bayern, München 1867. — Mittheilungen aus der Staatsforstverw. Bayerns, München 1903.

Verwendung fanden ferner zahlreiche Akten der Bayer. Ministerialforstabteilung, der Oberforstdirektion München sowie der Forstämter Marquartstein-Ost, Reichenhall-Süd, Reit im Winkl, Ruhpolding-West, Partenkirchen und Tegernsee.

#### Umrechnungszahlen

1 Fuß	= 0,291859 Meter	1 Quadratmeile	= 16 136 Tagwerk
1 Meter	= 3,426310 Fuß	1 Klafter	= 3,13 Ster
1 ' (Fuß)	= 1 Fuß	1 Ster	= 0,74 Efm. m. R. = 0,666 Efm. o. R.
1 " (Zoll)	= 0,1 Fuß	1 Klafter	= 2,32 Efm. m. R. = 2,09 Efm. o. R.
1 Tagwerk	= 0,340727 Hektar	1 Klafter/Tagwerk	= 6,15 Efm. o. R./Hektar
1 Hektar	= 2,934899 Tagwerk	1 bayer. Pfund	= 0,56 Kilogramm

Sämtliche Holzvorratsangaben im Text sind fm = Erntefestmeter ohne Rinde.

## Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit<sup>1</sup>

Von D. ECKSTEIN und J. BAUCH

*Lehrstuhl für Holzbiologie der Universität Hamburg, Reinbek<sup>2</sup>*

### Einleitung

Die Zuwachsschichten der Bäume können nach sehr verschiedenen Gesichtspunkten analysiert werden. In erster Linie dienen sie dem Nachweis von Ertragsleistungen. Daneben lassen sich aus ihrer Struktur die Einflüsse von Störfaktoren auf die Holzproduktion erkennen. Ebenso ist es möglich, an Hand ihrer charakteristischen Folge Klimaeinflüsse abzuleiten sowie das Alter von verbautem Holz zu bestimmen. Die dafür in zunehmendem Maße angewendeten statistischen Methoden erfordern die Weiter-

<sup>1</sup> Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. B. HUBER zur Vollendung seines 70. Lebensjahres gewidmet.

<sup>2</sup> Die Arbeit ist im wesentlichen ein Teil der Dissertation des ersten Verfassers. Herrn Prof. Dr. W. LIESE danken wir für seine Unterstützung und Diskussionsbereitschaft.

entwicklung der bisherigen Verfahren, um Jahrringdaten schnell und in ausreichendem Umfang auswerten zu können. In mehreren Bereichen der Forstwirtschaft hat daher die elektronische Datenverarbeitung bereits Eingang gefunden (z. B. SCHÖPFER, 1966; BARTH und BERNT, 1968; CRAWFORD und WISHART, 1968; FRANZ, 1968; HALLER, 1968; KENNEL, 1968). Für die forstliche Klimatologie entwickelte FRITTS (1963) ein computer-program-package, mit dem auch Jahrringfolgen unbekanntem Alters datierbar sind. Jedoch lassen sich in den ariden Klimazonen Nordamerikas die Holzproben zumeist visuell einander zuordnen. Eine jahrringchronologische Analyse kann in der Regel aber nicht mit einer derart vereinfachten Methode erfolgen. Das vor allem in Mitteleuropa übliche Verfahren für die zeitgleiche Zuordnung von Jahrringfolgen (Synchronisierung) besteht aus sequentiell ausgeführten Tätigkeiten, die arbeitsintensiv sind und subjektiv beeinflusste Ergebnisse nicht ausschließen.

In der vorliegenden Arbeit soll dieses Verfahren im Hinblick auf seine Rationalisierung und Aussagesicherheit analysiert und zugleich verbessert werden, um auch Großzahlдатierungen in kurzer Zeit zu ermöglichen. Zuvor werden die gebräuchlichen dendrochronologischen Methoden und ihre wesentlichen Unterschiede kurz dargestellt.

### Gebräuchliche dendrochronologische Verfahren

Die Dendrochronologie beruht auf der Grundlage, daß die Bäume mit winterlicher Vegetationsruhe ihren Zuwachs in Form von Jahresschichten anlegen, deren Breite von inneren und äußeren Faktoren beeinflusst wird. Die Jahrringfolge innerhalb eines Stammes stellt somit eine charakteristische Reihe von unterschiedlich breiten Zuwachsschichten dar. Obwohl diese Erscheinung den griechischen Naturphilosophen bereits bekannt war, wurde man erst um die letzte Jahrhundertwende darauf aufmerksam, daß die Breiten gleichzeitig angelegter Jahresschichten verschiedener Bäume in auffälliger Weise übereinstimmen. Eine derartige Ähnlichkeit muß jedoch nicht generell und zwangsläufig auftreten, da bereits in den gemäßigten Klimazonen Mitteleuropas nicht alle Baumarten eines Standortes einander entsprechende Jahrringbreiten besitzen.

Für den Vergleich von Zuwachsfolgen wurden in verschiedenen Ländern voneinander abweichende Verfahren entwickelt. Weit verbreitet ist die von DOUGLASS und seinen Mitarbeitern für den ariden Südwesten Nordamerikas ausgebaute Methode (vgl. GLOCK, 1937). Sie stützt sich vor allem auf die charakteristische Aufeinanderfolge extrem enger und breiter Jahresringe (diagnostic rings). Zuwachsschichten werden entweder unmittelbar an Hand der Holzproben (memory method) oder mit Hilfe der graphisch dargestellten relativen Werte von Extremjahren (skeleton plot method) verglichen. Zuweilen berücksichtigt man auch die absoluten Breiten aller Jahresringe eines Querschnittes, indem sie nach Eliminierung des Alterstrendes visuell oder mathematisch miteinander korreliert werden (FRITTS, 1963).

Für die ausgeglicheneren Klimaverhältnisse Mitteleuropas müssen andere Verfahren angewendet werden, so z. B. die von HUBER (1943) eingeführte Gegenläufigkeitsberechnung. Die Ähnlichkeit von Jahrringfolgen wird nach dem Gesamtverlauf der Kurvencharakteristik beurteilt, wobei extrem schmale Zuwachsschichten durch eine logarithmisch geteilte Ordinate gegenüber mittleren und hohen Zuwachswerten stärker betont werden. Als quantitatives Maß gilt der Anteil der gegensinnig verlaufenden Kurvenabschnitte ohne Rücksicht auf die absoluten Ringbreiten.

In Nordeuropa dagegen ist es üblich, den laufenden jährlichen Zuwachs als Anteil am durchschnittlichen Gesamtwuchs auszudrücken. Die Ähnlichkeit zwischen derartigen Indexreihen wird sodann mit Hilfe der einfachen Korrelationsrechnung beur-

teilt, wobei optische Vergleiche lediglich eine nützliche zusätzliche Hilfe darstellen (HØEG, 1956).

In Osteuropa werden für den Vergleich von Jahrringfolgen zumeist mehrere Möglichkeiten kombiniert angewendet, so z. B. von VICHROV und KOLČIN (1962) die Kurvendarstellung mit logarithmischer Skala nach HUBER (1941) in Verbindung mit der Erstellung von Minimumdiagrammen nach GLOCK (1937). GORCZYNSKI, MOLSKI und GOLINOWSKI (1965) benutzen außerdem noch die in arithmetischem Maßstab aufgetragenen Zuwachswerte. Dagegen entwickelte RUDAKOV (1958) eine Formel für die Ausschaltung des Alterstrendes und für die Umwandlung der Jahrringbreiten in dimensionslose Größen, um so die Zuwachsfolgen von zwei in Alter und Durchmesser verschiedenen Bäumen besser vergleichbar zu machen.

Mit Hilfe der genannten Methoden wurden die Möglichkeiten einer Dendrochronologie insbesondere in Nordamerika und Europa geprüft. Voruntersuchungen erfolgten außerdem in Israel, Japan, Java und Neuseeland. Während in Amerika fast ausschließlich Nadelhölzer als Material dienten, wurde in Mitteleuropa hauptsächlich die ringporige Laubholzart *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. jahrringchronologisch untersucht.

In Süddeutschland, wo die Dendrochronologie bereits seit 30 Jahren betrieben wird, konnte eine Jahrringfolge für die Traubeneiche von der Gegenwart bis 832 n. Chr. erstellt werden (HUBER, SIEBENLIST und NIESS, 1965). Für den westdeutschen Raum besteht seit einigen Jahren ebenfalls eine entsprechende Standardkurve (HOLLSTEIN, 1965). Außerdem wurde von HUBER und Mitarbeitern eine über 1100jährige Chronologie von *Abies alba* Miller aufgebaut (BECKER und GIERTZ-SIEBENLIST, 1969).

Die Möglichkeiten für einen Einsatz der Dendrochronologie im norddeutschen Raum waren bislang nur ungenügend bekannt. Erste Untersuchungen (WEITLAND, 1960) wiesen auf biologisch bedingte Schwierigkeiten hin. Diese können teilweise dadurch umgangen werden, daß einer jahrringchronologischen Analyse umfangreicheres Holzmaterial zugrunde gelegt wird als es für weniger maritim beeinflusste Standorte notwendig ist (BAUCH, LIESE und ECKSTEIN, 1967). Dazu mußten aber Methoden erarbeitet werden, welche die zeitraubenden Arbeitsvorgänge abkürzen. Als zeitliche Engpässe erwiesen sich die Entnahme von Holzproben, das Vermessen der Jahrringbreiten, das Zeichnen der Zuwachskurven und insbesondere deren manuelle Synchronisierung. Diese Verrichtungen zeigten sich infolge der Monotonie ihres Ablaufes zudem in starkem Maße fehleranfällig, wodurch die Objektivität der Ergebnisse zuweilen gefährdet erschien. Die darüber hinaus verbleibenden Tätigkeiten entziehen sich weitgehend einer zeitlichen Beeinflussung.

## Ergebnisse

### 1. Rationalisierung des Arbeitsablaufes

#### a. Probenentnahme

Obwohl für jahrringanalytische Untersuchungen Stammscheiben oder Abschnitte von Balken am besten geeignet sind, müssen die Proben zumeist mit einem Hohlbohrer entnommen werden, um größere Beschädigungen des Holzes zu vermeiden. Der Prototyp eines hierfür geeigneten Bohrers wurde von PRESTEMON (1965) am Forest Products Laboratory in Richmond, California, entwickelt. Er arbeitet insbesondere in hartem Holz schnell und zuverlässig und ist trotz maschinellen Antriebs leicht und handlich (Abb. 1). Nach Anschluß an einen Wechselstromgenerator<sup>3</sup> ist er auch für den Einsatz

<sup>3</sup> Fabrikat der Firma HONDA, Typ E 300, Gewicht 18,5 kg.

im Wald geeignet. Der Fräskopf besitzt Hartmetalleinlagerungen und geht in eine Stahlröhre von 15,7 mm Außendurchmesser über. Dieser Bohrer wurde im Einvernehmen mit dem amerikanischen Institut<sup>4</sup> von einer Werkzeugfirma in Hamburg nachgebildet. Durch Einschrauben von drei verschiedenen langen Zwischenstücken läßt er sich

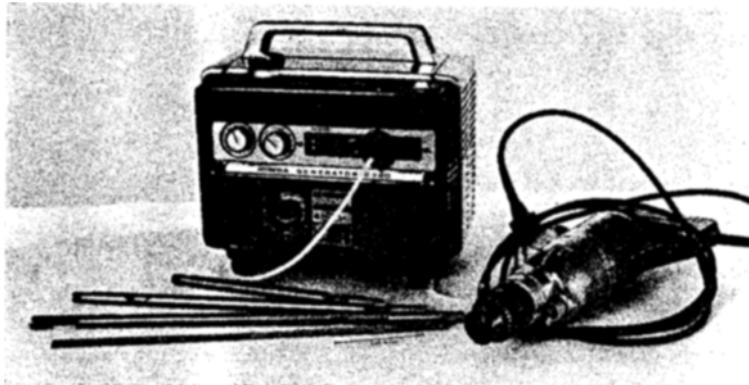


Abb. 1. Geräteausstattung zur Bohrkernentnahme und eine damit gebohrte Eichenholzprobe

in Abänderung der Vorlage auf Längen von 35, 45, 60, 70, 85, 95 und 100 cm variieren. Mit diesem Bohrer konnten Proben von 1 cm Durchmesser und bis zu 60 cm Länge sowohl aus saftfrischen Eichen als auch aus stark insektenbefallenem Holz entnommen werden. Die Bohrkernabmessungen reichen aus, um auch enge Zuwachsschichten sicher erkennen zu können.

Der Bohrer verursacht Kanäle von 16 mm Durchmesser, so daß ein Schutz des angebohrten Holzes gegen Folgeschäden gut durchzuführen ist. Da Bauholz in früheren Zeiten stets überdimensioniert wurde, um den Einfluß der stark streuenden Festigkeitseigenschaften auszugleichen, ist eine nennenswerte Schwächung tragender Balken durch die Bohrung nicht zu befürchten.

#### b. Messen und Zeichnen der Zuwachsfolgen

Nach der Probenentnahme erfolgt die Jahringmessung mit der in der forstlichen Ertragskunde erprobten Jahringmeßmaschine von EKLUND. Anschließend werden die



Abb. 2. Von einem Plotter gezeichnete synchrone Jahringkurven (Ausschnitt)

ermittelten Zuwachswerte aufgezeichnet, was bisher ausschließlich manuell geschah.

Lediglich VINŠ hat 1962 ein Gerät als Ergänzung zur EKLUND'schen Jahringmeßeinrichtung konstruiert, das die Meßwerte automatisch in Form eines Punktdiagramms registriert; die Verbindungslinien werden

<sup>4</sup> Herrn Prof. Dr. F. DICKINSON danken wir für die Überlassung eines Musters.

mit der Hand nachgetragen. Um auch diese Arbeit weiter zu vereinfachen, wurde bei den vorliegenden Untersuchungen ein automatisches Zeichengerät (Plotter) in Verbindung mit einer elektronischen Rechenanlage benutzt. Mit Hilfe mehrerer Bibliotheksunterprogramme des Deutschen Rechenzentrums in Darmstadt wurde der Plotter so programmiert, daß er Zuwachsfolgen in dem bisher üblichen Maßstab zeichnet<sup>5</sup>. Die graphische Darstellung einer 200jährigen Jahrringfolge dauert etwa zwei Minuten. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt eines Kurvenpaares in synchroner Lage, wie es vom Plotter gezeichnet wurde.

### *c. Synchronisierung von Zuwachsfolgen mit einer elektronischen Rechenanlage*

Mit dem Aufzeichnen der Kurven sind die Vorarbeiten soweit abgeschlossen, daß mit der Synchronisierung der Zuwachsfolgen begonnen werden kann. Hierfür gibt es verschiedene, an standortgebundene Situationen angepaßte Systeme. HUBER (1943) hat für die feuchteren Klimaverhältnisse Mitteleuropas den Gegenläufigkeitskoeffizienten als Maßstab für die Kurvenähnlichkeit eingeführt. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde demgegenüber der dazu komplementäre Wert benutzt und als „Gleichläufigkeitswert“ bezeichnet. Im Vergleich zu dem Gegenläufigkeitskoeffizienten ist er anschaulicher, da er mit steigender Ähnlichkeit zweier Kurven zunimmt. Für das Erkennen der richtigen Zuordnung von Jahrringfolgen zueinander müssen ihre gesamten Deckungslagen verglichen werden, um sich schließlich für eine Position zu entscheiden oder alle zu verwerfen. Diese Synchronisierung erfolgte bisher durch manuelles gegeneinander Verschieben der Kurven auf einem Leuchttisch. Ein derartiger visueller Vergleich ist sehr zeitraubend und besteht im wesentlichen aus sich wiederholenden, gleichförmigen Teilarbeiten, so daß eine Automatisierung mit einem Computer wünschenswert erschien. Zur Lösung dieser Aufgabe wurde ein Diagramm entworfen, das den Datenfluß innerhalb der Rechenanlage darstellt (Abb. 3). Die für eine automatisierte Rechentechnik charakteristische oftmalige Wiederholung gleicher Rechenschritte mit wechselnden Wertzuweisungen wird durch mehrere zyklische Diagrammläufe (Schleifen) angezeigt. Mit Hilfe der Symbolsprache FORTRAN IV wurde das Flußdiagramm in ein Computerprogramm übersetzt (Abb. 4). Hiernach dauert der lückenlose Vergleich von zehn durchschnittlich 200jährigen Kurvenpaaren auf der Rechenanlage TR 4 am Rechenzentrum der Universität Hamburg 300 Sekunden, wovon 40 Sekunden auf das Einlesen des Programmes und der Daten entfallen.

Zur Berechnung des Gleichläufigkeitswertes müssen die Jahrringfolgen zuvor aber zu Eingabedaten verschlüsselt werden. Da es für den Richtungssinn der jährlichen Zuwachsschwankungen nur die Möglichkeiten Jahrringbreite „zunehmend“, „gleichbleibend“ oder „abnehmend“ gibt, genügen zur Beschreibung des Gesamtverlaufs einer Kurve drei verschiedene Symbole. Zusätzlich werden Identifikationssymbole auf die Lochkarten übertragen (s. nachstehende Programmbeschreibung mit Abb. 5). Bei Einsatz des neuentwickelten Jahrringmeßmikroskopes der Firma ADDO werden die absoluten Ringbreiten bereits während des Meßvorganges auf Lochkarten gespeichert. Die Anwendung dieser Gerätekombination erfordert eine geringfügige Modifikation des Programmes SNCHR in Abbildung 4. Die Ergebnisse, die der Computer aus diesen Daten errechnet, ergeben jedoch noch keine Datierungen. Da die Jahrringbreiten nur in einem stochastischen Zusammenhang mit ihren Ursachen stehen, unterliegen sie nämlich erheblichen Schwankungen. Daher wird im folgenden ausgeführt, welchen Wert der Gleichläufigkeitskoeffizient übersteigen muß, um eine zufällige Lage von der richtigen Zuordnung von Jahrringfolgen zu unterscheiden.

<sup>5</sup> Das Programm liegt am Lehrstuhl für Holzbiologie der Universität Hamburg, Reinbek, vor.

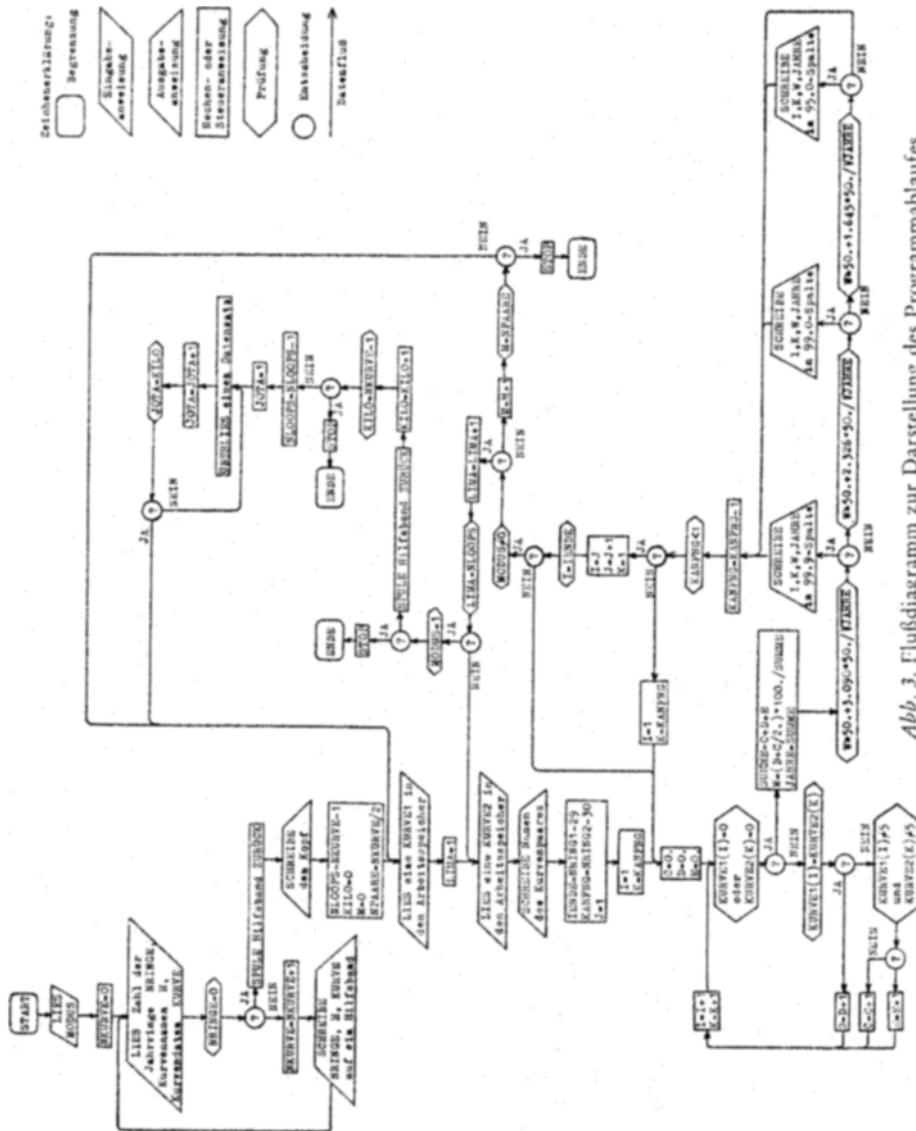


Abb. 3. Flußdiagramm zur Darstellung des Programmablaufes

## 2. Der Gleichläufigkeitswert als Maß für die Ähnlichkeit von Jahrringfolgen und seine Aussagesicherheit

Das vorstehende Programm charakterisiert Jahrringfolgen allein nach qualitativen Merkmalen. Um die Sicherheit von Synchronisierungen zu beurteilen, sollten die den Gleichläufigkeitswert beeinflussenden Größen ermittelt und in ihrer Auswirkung untersucht werden. Da die Aussagen durch ein umfangreiches Material abgesichert werden mußten, wurden für die jeweilige Fragestellung Computerprogramme entworfen.



## Beschreibung des Datierungsprogrammes SNCHR

1. Name: SNCHR
2. Programmiersprache: FORTRAN IV
3. Zweck: Es werden Jahrringkurven auf ihre größte Ähnlichkeit hin untersucht.
4. Anwendungsbereich: Die Länge der Jahrringfolgen muß  $\leq 2000$  Jahre sein.
5. Gebrauch:
  - a. Eingabe
 

Parameterkarte (I 1)

Spalte 1. „O“ oder blank, wenn die Kurven in der Reihenfolge  $a_i$  mit  $a_{i+1}$  ( $i=1, 3, 5 \dots$ ) verglichen werden sollen;  
 „1“, wenn sie in der Reihenfolge  $a_1$  mit  $a_i$  ( $i=2, 3 \dots n$ ) verglichen werden sollen;  
 „2“, wenn sie in allen Kombinationen miteinander verglichen werden sollen, d. h.  
 $a_1$  mit  $a_i$  ( $i=2, 3, \dots n$ )  
 $a_2$  mit  $a_i$  ( $i=3, 4, \dots n$ )  
 $a_{n-1}$  mit  $a_i$  ( $i=n$ )

Datenkarten

    1. Datenkarte einer Kurve (12 A 6)
    - Spalte 1—72. Kurvenname (alphanumerischer Text)
    2. Datenkarte einer Kurve (I 4, 6 X, 60 I 1)

Spalten

    - 1—4 Anzahl der Jahrringe einer Kurve
    - 5—10 blank
    - 11—70 aneinanderhängende Folge von Symbolen für aufsteigende („3“), gleichbleibende („5“) und abfallende („7“) Kurvenintervalle; Ablochung vom Mark zur Rinde
    - 71 blank
    - 72—80 Identifikationssymbole (frei wählbar)
    3. und folgende Datenkarten einer Kurve (70 I 1)

Spalten

    - 1—70 Symbole „3“, „5“ und „7“; jede Kurve wird durch eine Nullochung abgeschlossen
    - 72—80 Identifikationssymbole (frei wählbar)
  - b. Ausgabe: Für jedes Vergleichspaar werden die Kurvennamen und alle Deckungslagen mit einer bestimmten Gleichläufigkeit ausgedruckt, zusammen mit der dazugehörigen Überlappungslänge und der statistischen Sicherheit
  - c. Benötigte Unterprogramme: Außer den FORTRAN-internen Unterprogrammen werden keine weiteren benötigt
6. Methode: Es werden jeweils zwei Jahrringkurven Jahr um Jahr miteinander verglichen, beginnend und endend mit einer Überlappung von 30 Jahren. Der Anteil der gleichläufigen Kurvenstücke an der Gesamtzahl der verglichenen Jahresringe wird ausgedruckt, sofern er einen bestimmten Wert übersteigt
7. Zeitbedarf: 300 Sekunden für den Vergleich von zehn durchschnittlich 200jährigen Kurvenpaaren, wovon rund 40 Sekunden auf das Einlesen des Programmes entfallen
8. Speicherbedarf: Etwa 3000 Ganzwörter
9. Maschinenausrüstung: Telefunken TR 4
10. Operateuranweisungen: Keine
11. Testzustand: Ausgetestet durch Dipl.-Holzwirt D. Eckstein
12. Herkunft des Programmes: Eigenes Programm vom 20. 12. 1968



Abb. 5. Anordnung der Lochkarten

### a. Einfluß der Jabrringkurvenlänge

Zunächst war der Einfluß der Überlappungslänge von Jahrringfolgen zu untersuchen. Mit Hilfe einer elektronischen Rechenanlage wurden an Hand bereits datierter Jahrringfolgen jeweils 10 000 voneinander unabhängige, nichtsynchrone Deckungslagen mit Überlappungen von 10, 20, 40, 80 und 160 Jahren auf Gleichläufigkeit geprüft; weitere

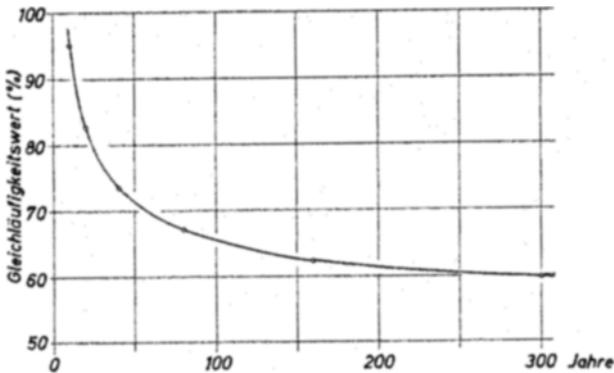


Abb. 6. Linie der 0,1%igen Überschreitungswahrscheinlichkeit für Gleichläufigkeitswerte in unsynchroner Lage

1500 Positionen wurden für 300jährige Folgen miteinander verglichen.

Die auf diese Weise gefundenen Gleichläufigkeitswerte sind Stichproben aus dem Kollektiv aller unsynchronen Lagen. Unabhängig von der Länge des Überlappungsbereiches betrug das arithmetische Mittel konstant 51,5%. Dagegen waren die Streuungen der Stichprobenwerte unterschiedlich und nahmen mit steigender Kurvenlänge ab.

Da sie sich nur schwach signifikant von Normalverteilungen unterschieden, konnten die dann vorliegenden engen Beziehungen zwischen der Streuung und dem dazugehörigen prozentualen Anteil der Stichprobenwerte angewendet werden. Mit Hilfe dieser Regeln wurden die oberen Grenzmarken ermittelt, die von 99,9% der Variablenwerte nicht überschritten werden.

Die derart gewonnenen Punkte sind in Abbildung 6 eingetragen und miteinander verbunden. Diese Linie markiert in Abhängigkeit von der Kurvenlänge diejenigen Gleichläufigkeitswerte, die bei nichtsynchrone Lage in günstigen Fällen erreicht und mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,1% übertroffen werden können.

Aus der Darstellung geht hervor, daß der Gleichläufigkeitswert zur Kennzeichnung von Datierungen ohne eine Angabe über die Länge der Überlappung nicht ausreicht, da die Höhe der Gleichläufigkeit noch kein Maß für die Sicherheit dieser Aussage ist. Beispielsweise besitzt eine Gleichläufigkeit von 60% bei einer Überlappung von 200 Jahren eine größere Wahrscheinlichkeit, die richtige Lage anzuzeigen, als ein Gleichläufigkeitswert von 72% bei einer Überlappung von nur 50 Jahren.

### b. Einfluß der Meßgenauigkeit

Nachdem die Zufallsschwankungen des Gleichläufigkeitswertes bei unsynchroner Lage erfaßt waren, sollte die durch weitere Einflüsse bedingte Variabilität geprüft werden. Anlaß hierzu war die Abweichung des arithmetischen Mittels von dem theoretisch zu erwartenden Wert von 50%. Da in die Berechnung des Gleichläufigkeitswertes allein die Kurvenrichtungen „steigend“, „gleichbleibend“ und „fallend“ eingehen, kommen als Einflußfaktoren nur diese bzw. ihr Verhältnis zueinander in Betracht.

Eine genauere Untersuchung der Zusammenhänge erfolgte an einem Modell, das die Auswirkungen von Änderungen besser überschaubar macht. Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators wurden Symbole für „steigend“, „gleichbleibend“ und „fallend“ – in einem bestimmten Verhältnis verteilt – aneinandergesetzt, um so jeweils zwei jahrring-

folgenähnliche Reihen in nichtsynchrone Lage zu erzeugen. Diese wurden sodann hinsichtlich ihres „Gleichläufigkeitswertes“ ausgezählt.

Bevor die derart gewonnene Erkenntnis verallgemeinert werden konnte, war die Übereinstimmung des Modells mit der Wirklichkeit zu überprüfen. Hierfür wurden die genannten Symbole entsprechend dem an rund 40 000 Zuwachswerten beobachteten Anteil im Verhältnis 43:14:43 verteilt. Danach wurden jeweils 10 000 „Gleichläufigkeitswerte“ für die „Kurvenlängen“ von 10, 20, 40, 80, 160 und 300 „Jahren“ errechnet. Die Kennwerte des Modells wichen nur geringfügig von denjenigen des biologischen Materials ab: Das arithmetische Mittel betrug 51,0%, die Streuung nahm in gleichem Maße mit zunehmender Kurvenlänge ab.

Nach dieser hinreichenden Übereinstimmung wurde der Anteil der „gleichbleibenden“ Kurvenabschnitte variiert, und zwar in verschiedenen Kombinationen, wie auf der Abszisse in Abbildung 7 ersichtlich ist. Für jede der ausgewählten Möglichkeiten wurden bei konstanter „Kurvenlänge“ von 30 „Jahren“ 5000 „Gleichläufigkeitswerte“ errechnet. Die Anordnung der Ergebnisse erfolgte nach steigendem arithmetischem Mittel. Aus der Darstellung geht hervor, daß der Mittelwert der Gleichläufigkeitskoeffizienten mit zunehmendem Anteil „gleichbleibender“ Kurvenstücke ansteigt. Durch die anfangs stärkere Abnahme der Streuung jedoch wird er zunächst überkompensiert, so daß die daraus resultierende obere 99,9-%-Grenze sinkt, danach steigt sie mit zunehmendem Mittelwert an. Hieraus wird deutlich, daß die Abweichung des arithmetischen Mittels von 1,5% auf dem Anteil

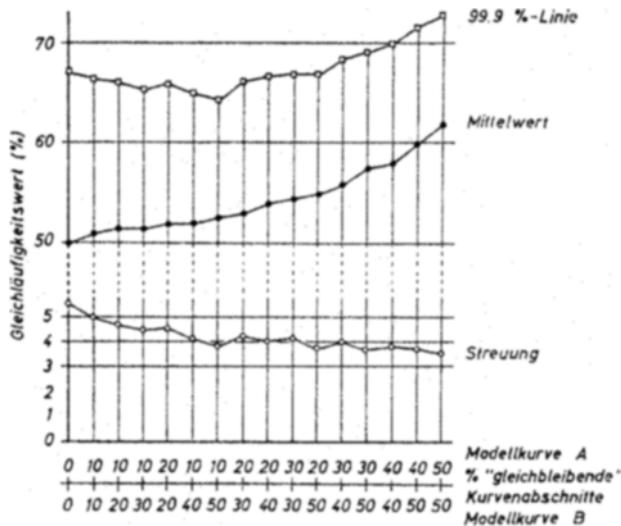


Abb. 7. Mittelwert und Streuung des Gleichläufigkeitswertes und die daraus resultierende 99,9-%-Linie der statistischen Sicherheit in Abhängigkeit von dem Anteil „gleichbleibender Kurvenabschnitte“ bei konstanter „Kurvenlänge“ von 80 „Jahren“

gleichbleibender Kurvenabschnitte beruht. Dieser kann erheblich schwanken und bei kurzen Jahrringfolgen 30% übersteigen, insbesondere, wenn der Zuwachs die 1-mm-Grenze unterschreitet. Abbildung 7 läßt weiterhin erkennen, daß das arithmetische Mittel genau dann 50% beträgt, wenn der Anteil „gleichbleibender“ Kurvenabschnitte gleich Null ist und die Kurvenrichtungen „steigend“ und „fallend“ anteilmäßig gleich vorkommen.

Von diesem Fall ausgehend, wurden in der gleichen Weise wie zuvor „Kurvenlängen“ von 10, 20, 40, 80, 160 und 300 „Jahren“ imitiert. Ein Vergleich dieses Modells mit der von HUBER (1943) vorgeschlagenen Funktion  $s = 50/\sqrt{a}$ , wobei  $s$  die Streuung und  $a$  die Überlappungslänge darstellt, zeigt die Zusammenstellung in der Tabelle 1. Die Werte sind nahezu identisch.

Die Zahlenwerte der Tabelle weichen jedoch von demjenigen Modell ab, das hin-

den bei konstanter „Kurvenlänge“ von 30 „Jahren“ 5000 „Gleichläufigkeitswerte“ errechnet. Die Anordnung der Ergebnisse erfolgte nach steigendem arithmetischem Mittel. Aus der Darstellung geht hervor, daß der Mittelwert der Gleichläufigkeitskoeffizienten mit zunehmendem Anteil „gleichbleibender“ Kurvenstücke ansteigt. Durch die anfangs stärkere Abnahme der Streuung jedoch wird er zunächst überkompensiert, so daß die daraus resultierende obere 99,9-%-Grenze sinkt, danach steigt sie mit zunehmendem Mittelwert an. Hieraus wird deutlich, daß die Abweichung des arithmetischen Mittels von 1,5% auf dem Anteil

sichtlich des Anteils „gleichbleibender“ Kurvenabschnitte den Durchschnitt von zahlreichen Jahringfolgen repräsentiert. Dennoch wurde der Ausdruck  $s = 50/\sqrt{a}$  der rechnerischen Erfassung des Zusammenhanges zwischen Gleichläufigkeitswert und Kurvenlänge zugrunde gelegt. Dies erscheint berechtigt, da die Breiten der Zuwachsschichten von zwei aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden ohnehin nicht auf die Zelle genau gleich sind, so daß die „gleichbleibenden“ Kurvenabschnitte nur durch die generalisierende Auswirkung der Messung zustande kommen. Es erscheint daher sinnvoll, einen von Meßverfahren und wechselnden Anteilen „gleichbleibender“ Abschnitte un-

Tabelle 1

Vergleich von Mittelwert und Streuung der Modellkurve „50:0:50“ und der Funktion  $s = 50/\sqrt{a}$

Überlappungs- länge Jahre	Mittelwert (% Gleichläufigkeit)		Streuung (% Gleichläufigkeit)	
	Modell „50:0:50“	$50/\sqrt{a}$	Modell „50:0:50“	$50/\sqrt{a}$
10 .....	49,8	50	15,8	15,8
20 .....	50,2	50	11,3	11,3
40 .....	50	50	7,8	7,9
80 .....	50	50	5,6	5,6
160 .....	50	50	4,0	3,9
300 .....	51	50	2,8	2,9

abhängigen, allgemeingültigen Ausdruck zu wählen. Mit Hilfe der Funktion „Gleichläufigkeitswert  $W = 50 + 50/\sqrt{a}$ “ wurden somit die 95-%-, 99-%- und 99,9-%-Linien errechnet und in die Abbildung 8 aufgenommen. Eine Sortierung der Gleichläufigkeitswerte nach gleicher Überschreitungswahrscheinlichkeit sollte bereits vor ihrer Ausgabe durch den Elektronenrechner berücksichtigt werden, um so von vornherein die Ergebnisliste zu beschränken und übersichtlich zu gestalten. Daher wurde der oben genannte Ausdruck, der den empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen Gleichläufigkeitswert und Kurvenlänge näherungsweise funktional erfaßt, als Filter in das Computerprogramm eingefügt.

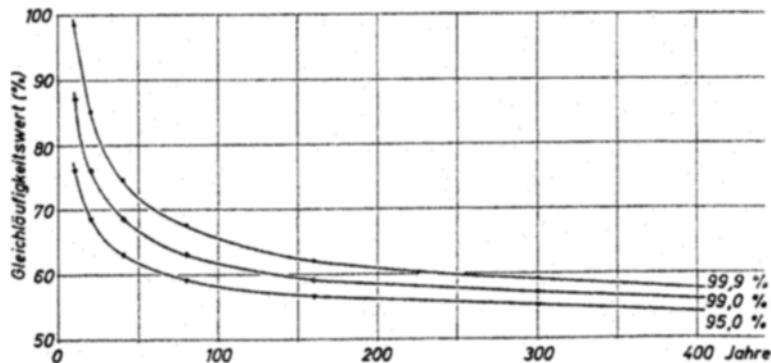


Abb. 8. Der Einfluß der Überlappungslänge auf die Höhe des Gleichläufigkeitswertes bei einer statistischen Sicherheit von 95, 99 und 99,9%

Die beim Vergleich von Jahringfolgen ermittelten Gleichläufigkeiten werden nun entsprechend dem Verlauf der Grenzzlinien sortiert, wobei nur solche Werte ausgedruckt werden, welche die 95-%-Linie überschreiten, eingeteilt in die drei Klassen der gebräuchlichen statistischen Sicherheiten 95%, 99% und 99,9%. In Abbildung 9 ist ein

Datierungsbeispiel dargestellt: Fünf Werte übersteigen die 99,9-<sup>o</sup>/<sub>o</sub>-Linie, obwohl nur in durchschnittlich 0,1 <sup>o</sup>/<sub>o</sub> aller Fälle mit einer Überschreitung des Vertrauensbereiches zu rechnen ist. Es handelt sich hierbei um eine scheinbare Häufung von unabhängigen Ereignissen, die mitunter beobachtet wird, die Gültigkeit der Grenzl意思ien aber nicht in Frage stellt. Alle Werte können eine falsche Lage anzeigen, doch ist die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers bestimmbar und bei dem höchsten Wert – in diesem Fall 75,6 <sup>o</sup>/<sub>o</sub> Gleichläufigkeit – außerordentlich gering.

SYNCHRONISIERUNG VON JAHRRINGKURVEN

LEHRSTUHL FÜR HOLZWIRTSCHAFT / R E I N B E K

VERSION VOM 20.12.1968

VERGLEICH VON

JAHRRINGCHRONOLOGIE VON EICHEN BEIDSEITIGS DER SCHLEI (1752-1969) MIT BIENEK, SCHEUNE, DECKENBALKEN NR. 173

DECKUNGS/LAGE	ÜBERLAPPUNGSLÄNGE	GLEICHLÄUFIGKEITSWERT W NACH 99,9 V.H.	SEINER STATISTISCHEN SICHERHEIT 99,9 V.H.	SICHERHEIT KLASSIFIZIERT 99,9 V.H.
45/ 155	44	W= 65,9		
59/ 155	58	W= 64,7		
69/ 155	64	W= 62,5		
75/ 155	74	W= 65,5		
173/ 155	154	W= 58,1		
232/ 155	154	W= 58,1		
315/ 155	154	W= 59,4		
318/ 155	154	W= 58,1		
360/ 155	154		W= 62,7	
364/ 155	154		W= 61,0	
372/ 155	154		W= 60,4	
408/ 155	154			
420/ 155	154	W= 59,4		
460/ 155	154	W= 58,8		
468/ 155	154			W= 63,3
480/ 155	154	W= 59,4		
484/ 155	154		W= 62,3	
492/ 155	154	W= 58,1		
492/ 155	154	W= 58,8		
436/ 155	154	W= 58,1		
500/ 155	154		W= 61,4	
504/ 155	154		W= 60,4	
508/ 155	154	W= 60,1		
512/ 155	154	W= 58,1		
516/ 155	154		W= 61,7	
520/ 155	154		W= 60,4	
528/ 155	154	W= 58,8		
547/ 155	154		W= 62,3	
551/ 155	154	W= 58,4		
555/ 155	154		W= 62,3	
559/ 155	154	W= 59,4		
563/ 155	154			W= 75,6
567/ 155	154			W= 67,9
571/ 155	154	W= 60,1		
575/ 155	154	W= 58,1		
579/ 155	154			W= 63,6
583/ 155	154		W= 62,3	
587/ 155	154		W= 61,7	
591/ 155	154	W= 58,4		
599/ 155	154			W= 64,6
603/ 155	154	W= 59,7		
614/ 138	137	W= 59,1		
614/ 127	126	W= 59,9		
614/ 123	122	W= 61,1		
614/ 119	118	W= 59,7		
614/ 108	108	W= 62,0		
614/ 49	48	W= 64,6		

Abb. 9. Ergebnisausgabe durch den Elektronenrechner

c. Streubereiche des Gleichläufigkeitswertes

Nachdem in Kapitel 2a der Streubereich der Gleichläufigkeitswerte in nichtsynchrone Lage aufgezeigt wurde, war nun zu untersuchen, wie scharf sich mit Hilfe dieses Maßstabes synchrone Lagen von falschen trennen lassen. Zu diesem Zweck wurden zeitgleich zugeordnete Kurvenpaare geprüft und ihre Gleichläufigkeiten bei 10-, 20-, 40-, 100- und 200jähriger Überlappung errechnet. Die Häufigkeitsverteilungen dieser Stichproben streuten um den Mittelwert von 59 <sup>o</sup>/<sub>o</sub>, die Streuungen nahmen mit zunehmender Kurvenlänge ab. In Abbildung 10 sind die Streubereiche bei synchroner Lage (dünne Linien) und unsynchroner Lage (dicke Linien) leicht schematisiert dargestellt. Im Gegensatz zu den Kurven gleicher Überschreitungswahrscheinlichkeit für nichtsynchrone Lagen besitzen die Linien C und E keine Allgemeingültigkeit. Sie hängen in starkem Maße von dem benutzten Jahrringmaterial, von Standortsunterschieden und -entfernungen ab. Aus dem Schaubild geht hervor, daß sich die Streu-

felder in richtiger und in zufälliger Deckungslage bei kurzer Überlappung erheblich, mit zunehmender Kurvenlänge aber mit abnehmender Tendenz überlagern; eine Trennung ist erst bei solchen Überlappungslängen vorstellbar, die in der Praxis nicht auftreten. Aus dieser Darstellung ist die Forderung nach möglichst über 50jährigen, besser über 100jährigen Jahrringfolgen abzuleiten.

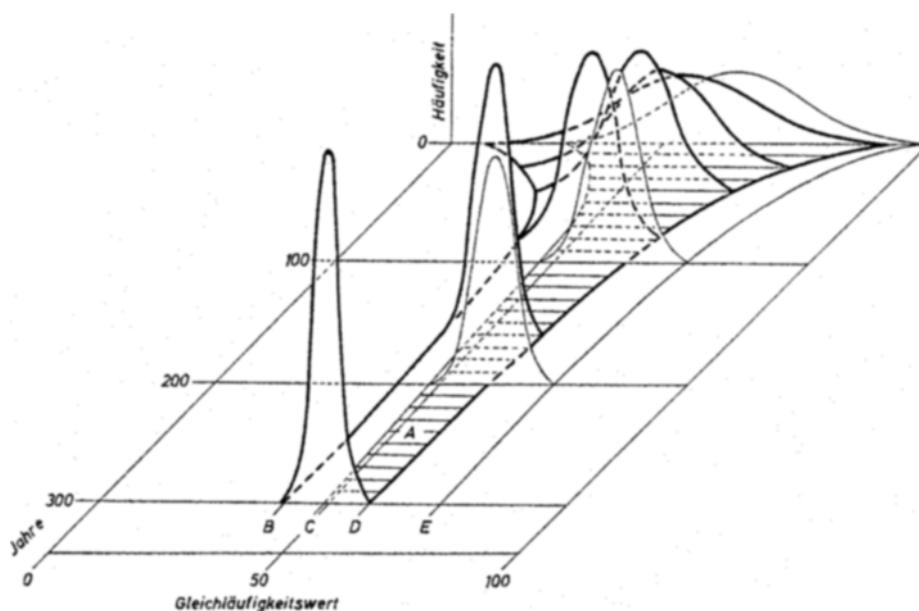


Abb. 10. Streubereiche des Gleichläufigkeitswertes bei synchroner und unsynchroner Lage in Abhängigkeit von der Länge des Überlappungsbereiches. A = Überschneidungsbereich, B = untere und D = obere 99,9-%-Linie der statistischen Sicherheit bei unsynchroner Lage, C = untere und E = obere 99,9-%-Linie der statistischen Sicherheit bei synchroner Lage; Symmetrieachse für unsynchrone Lagen = 50 %, für synchrone Lagen = 59 % Gleichläufigkeit (schematisiert)

#### d. Ermittlung von Weiserjahren

Oft ist eine zuverlässige Einordnung von Jahrringkurven allein an Hand des Gleichläufigkeitswertes nicht möglich, so daß aus einer vom Computer ermittelten Anzahl gleichgünstiger Lagen die optimale visuell am Leuchttisch ausgesucht werden muß. Eine zusätzliche wertvolle Hilfe hierbei stellen die Weiserjahre dar. Ihre Merkmale sind jedoch nicht eindeutig definiert. MÜLLER-STOLL (1951) berücksichtigt alle Minima und Maxima mit hoher Frequenz unabhängig von der Ausschlaghöhe, KOLČIN (1962) nur extrem enge Jahrringbreiten. WEITLAND (1960) wählt eine Frequenz von 75 %, MUNAUT (1966) eine solche von 80 % als Kriterium. ELLING (1966) berücksichtigt zusätzlich die Probenanzahl und fordert, daß von 20 Kurven 90 % gleichen Richtungssinn zeigen.

Es stellte sich daher die Frage, wie sich Jahrringe, die vor allem von äußeren Faktoren bestimmt werden, von solchen unterscheiden lassen, die zufällig auf Grund individueller Baumeigenschaften breiter oder schmaler sind. Werden mehrere Jahrringfolgen in zeitgleicher Lage zur Deckung gebracht, so sind deren Richtungen in einem bestimmten Jahr voneinander unabhängig. Das Verhältnis von aufsteigenden und ab-

fallenden Intervallen würde bei einer Zufallsverteilung im Mittel 50:50 betragen. Im folgenden wird erörtert, innerhalb welcher Grenzen dieses Verhältnis bei einer vorgegebenen statistischen Sicherheit zufällig streuen kann, wenn der durchschnittliche Anteil P der steigenden bzw. fallenden Kurvenintervalle bekannt ist.

Nach GRAF und HENNING (1960) lassen sich die obere Grenze  $P_o$  und die untere Grenze  $P_u$  mit Hilfe des folgenden Ausdrucks bestimmen:

$$P_o = (P - 1/2 * N - \lambda * \sqrt{P * (1 - P/N)}) * 100 \%$$

$$P_u = (P + 1/2 * N + \lambda * \sqrt{P * (1 - P/N)}) * 100 \%$$

wobei  $\lambda = 3,291$  den Kennfaktor der statistischen Sicherheit von 99,9%, P das Mischungsverhältnis – in diesem Fall 0,5 – und N den Stichprobenumfang darstellt. Nach Überprüfung bestimmter Voraussetzungen für die Anwendbarkeit obiger Gleichungen ergibt sich Abbildung 11, welche die obere Grenze in Abhängigkeit von dem Stichprobenumfang angibt, die zufällig erreichbar ist. Es geht daraus hervor, daß bei einer Probenzahl kleiner als 13 keine Weiserjahre sicher ausgeschieden werden können.

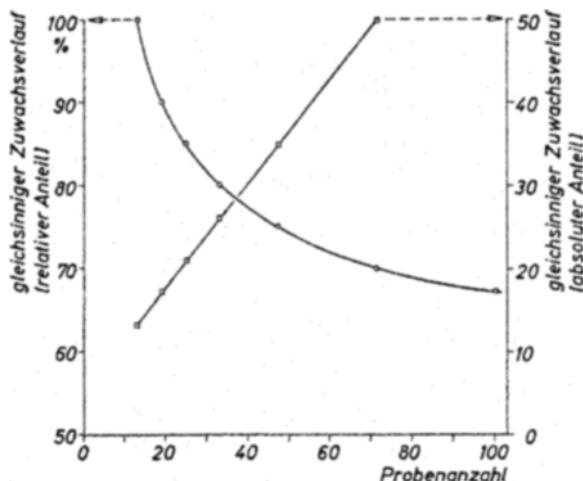


Abb. 11. Der relativ und absolut erforderliche Anteil gleichsinnig verlaufenden Zuwachses zur Kennzeichnung von Weiserjahren in Abhängigkeit von der Probenanzahl bei einer statistischen Sicherheit von 99,9%

oder abfallenden Kurvenintervalle, sofern sie die Grenze S überschreiten. Das geringe Auftreten von Weiserjahren bis etwa zum 160. Jahrring in Abbildung 12 besagt, daß die Probenanzahl für eine sichere Aussage hier nicht ausreicht. Im Durchschnitt wies dieses Material 40 % Weiserjahre auf, die jedoch nicht in allen Kurven vollzählig ausgeprägt sind. Eine Untersuchung an 2200 synchronen, 100jährigen Kurvenkombinationen ergab, daß nur  $24 \pm 3,5 \%$  der Weiserjahre gleichsinnig verlaufen. Die Restgleichläufigkeit, d. h. die Gleichläufigkeit abzüglich des gleichsinnigen Verlaufs der Weiserjahre, schwankte zwischen 30 . . . 49 . . . 68 %. Der Mittelwert von 49 % Gleichläufigkeit entspricht demjenigen bei Zufallsdeckung. Demnach besteht der Gleichläufigkeitswert in synchroner Lage aus dem Anteil sich deckender Weiserjahre und der Anzahl zufällig gleichsinniger Kurvenabschnitte. Da diese beiden Komponenten erheblich streuen, überdecken die daraus resultierenden Werte ebenfalls einen beträchtlichen Bereich, wie in Abbildung 10 gezeigt wurde. Datierungen in direktem Vergleich von Kurven be-

Nur extreme Abweichungen von dem mittleren Mischungsverhältnis lassen sich als Hinweis für ihr Vorhandensein deuten. Nach Ermittlung dieser Wahrscheinlichkeitsgrenzen wurden 70 datierte Eichenproben aus dem Raum Schleswig hinsichtlich des Auftretens von Weiserjahren untersucht.

In Abbildung 12 zeigt die äußere Begrenzungslinie N die variierende Anzahl der in einem bestimmten Jahr beteiligten Proben, während die innere Begrenzungslinie S die davon abhängige 99,9-prozentige obere Grenze der statistischen Sicherheit angibt. Die senkrechten Linien kennzeichnen die absolute Anzahl der gleichsinnig ansteigenden

ruhen demnach im wesentlichen auf solchen Gleichläufigkeitswerten, in denen eine hohe Weiserjahr-Übereinstimmung mit einer Zufallsdeckung aus dem positiven Bereich der Verteilung zusammentrifft. Derartige Gleichläufigkeitswerte sind die Grundlage einer sicheren Altersbestimmung, da nur sie von zufällig erreichbaren Werten unterschieden werden können.

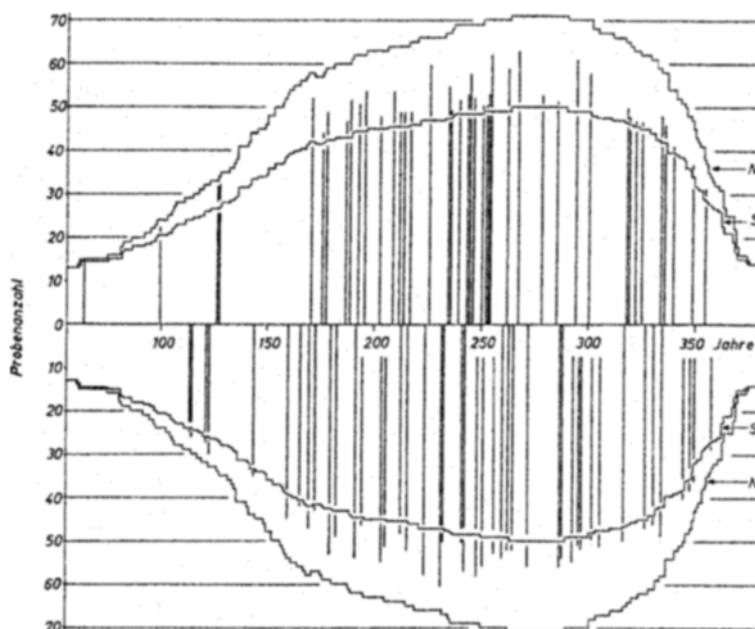


Abb. 12. Kennzeichnung von Weiserjahren bei einem Kollektiv von Eichen aus dem Raum Schleswig. Die obere Diagrammhälfte enthält Weiserjahre mit steigendem, die untere mit fallendem Richtungssinn. N = Anzahl der benutzten Proben, S = Linie gleicher statistischer Sicherheit von 99,9 % in Abhängigkeit von N

### 3. Anwendung des modifizierten Verfahrens für Altersbestimmungen

Mit diesem modifizierten Verfahren konnten in relativ kurzer Zeit bereits mehrere historische Objekte jahrringchronologisch untersucht werden, wovon einige zur Charakterisierung des Wirkungsgrades der Methode kurz angeführt sind:

Die Bauzeit einer in Bremen geborgenen Hansekogge (Abb. 13) wurde an drei Balken ermittelt, deren Jahrringcharakteristika überraschenderweise mit denen der langjährigen süddeutschen Standardkurve übereinstimmten. Der Bau des Schiffes dürfte auf Grund dessen um 1380 n. Chr. erfolgt sein (BAUCH, LIESE und ECKSTEIN, 1967).

Bei der Altersbestimmung des Zisterzienserinnenklosters Wienhausen bei Celle sollen die verschiedenen Gebäudeabschnitte einander chronologisch zugeordnet werden. Als bisher interessantestes Ergebnis aus der Untersuchung von 40 Eichenbalken ist das Zeitverhältnis von Agneshalle und Winterrefektorium zueinander anzusehen. Entgegen einer lang vertretenen Ansicht ist die Agneshalle etwa 20 Jahre später erbaut worden als das im Westflügel befindliche Winterrefektorium (BAUCH, LIESE und ECKSTEIN, 1967).

Ein weiteres Beispiel für die Aufklärung der chronologischen Verhältnisse mit Hilfe der Dendrochronologie stellt der wikingerzeitliche Handelsplatz Haithabu bei Schles-



Abb. 13. Bergung der Hanse-Kogge in Bremen. (Aufn.: Focke-Museum Bremen)



Abb. 14. Glockenhaus in Struxdorf/Südangeln

wig dar, wo im Laufe einer vierjährigen Grabung (1965–1969) rund 4000 jahrringchronologisch auswertbare Eichenproben anfielen. Bisher war es möglich, eine relative Chronologie der Holzbawerke zu erstellen, deren Baujahre sich über 118 Jahre verteilen (ECKSTEIN und LIESE, 1970). An welcher Stelle der häufig genannten Gesamtbesiedlungszeit von 250 Jahren diese Zeitstafel eingeordnet werden kann, ist derzeit noch nicht feststellbar.

Für die Siedlung Haithabu hat zwar eine Relativdatierung die weitaus größere Bedeutung, doch wurde auch eine absolute Datierung vorbereitet. Bei diesem Versuch (ECKSTEIN, BAUCH und LIESE, 1970) wurden die kunsthistorischen Angaben von 42 konstruktiv selbständigen Objekten in Schleswig und Umgebung an Hand von 179 Einzelproben durch jahrringchronologische Daten bereichert. Insbesondere gelang dabei eine fast geschlossene Einordnung der zahlreichen hölzernen Glockenhäuser (Abbildung 14) in Angeln und Schwansen. Die bislang aufgebaute Bezugskurve reicht bis in das Jahr 1352 n. Chr. zurück.

### Schlußbetrachtung

Das dendrochronologische Datierungsverfahren bestand bisher aus Tätigkeiten, die sequentiell ausgeführt wurden und sich teilweise als sehr arbeitsintensiv erwiesen. Infolgedessen war die Jahrringchronologische Altersbestimmung von Holzfunden langwierig und für Großzahluntersuchungen unzureichend.

Durch die Einführung eines maschinengetriebenen Bohrers konnte die Probenentnahme erleichtert und beschleunigt werden. Somit steht insgesamt mehr Material für eine Jahrringanalyse zur Verfügung, wodurch häufig eine bessere Interpretation der Ergebnisse möglich ist. Einen weiteren Engpaß im zeitlichen Ablauf stellte das Ausmessen der Zuwachsschichten mit einer einfachen Mikroskopapparat dar. Daher erfolgen nunmehr die Messungen mit einer speziellen Mikroskopeinrichtung, wobei die Meßwerte automatisch registriert und gleichzeitig auf Lochkarten übertragen werden. Die angefertigten Lochkarten dienen einmal als Eingabedatenträger für die Erstellung von Jahrringkurven durch einen Plotter, zum anderen werden sie einer elektronischen Rechenanlage zur selbsttätigen Synchronisierung eingegeben. Die Einschaltung eines Computers ermöglicht eine Ergebnisausgabe für jeden Kurvenvergleich, wobei die Gleichläufigkeitswerte bereits nach statistischen Sicherheiten vorsortiert werden. Hierdurch wird die langwierige Arbeit am Leuchttisch stark reduziert, in vielen Fällen sogar ganz eingespart. Inzwischen hat sich gezeigt, daß Gleichläufigkeitswerte mit 95%iger Sicherheit für Synchronisierungen nicht aussagekräftig genug sind. Aber auch in den Gruppen höherer statistischer Sicherheit können gleichwahrscheinliche Lagen vorkommen, doch gestatten in diesen Fällen oft zusätzliche Kriterien, wie z. B. Weiserjahre und der langwellige Kurventrend, eine zumindest objektivierbare Synchronisierung. Durch die Möglichkeit, jede gewünschte Kurvenkombination auf Ähnlichkeit prüfen zu lassen, erhöht sich zwangsläufig die Datierungsquote, da nach dem Prinzip gleitender Ähnlichkeiten (HUBER und v. JAZEWITSCH, 1958) die Wahrscheinlichkeit einer zweifelsfreien Synchronisierung mit zunehmendem Umfang des Vergleichsmaterials steigt. Durch den lückenlosen Vergleich aller Deckungslagen werden mögliche bessere Positionen nicht übersehen, und die Zahl der Fehldatierungen wird auf ein Minimum begrenzt.

Mit dem Messen der Jahrringbreiten verzweigt sich also die Arbeitsfolge in parallele Abläufe, die automatisch erfolgen, so daß sich der Bearbeiter mehr den vorbereitenden Tätigkeiten der Probenauswahl und -zurichtung und vor allem der Auswertung widmen kann, die bislang unter der Beschränkung des Materials gelitten hat. Die effektive Zeitersparnis durch das modifizierte Verfahren kann infolge der unterschiedlichen manuellen Arbeitsweise der Bearbeiter nicht exakt durch Zahlenvergleiche belegt werden. Sie wirkt sich mit zunehmender Probenzahl überproportional positiv aus. Die Gesamtdauer der Auswertung von beispielsweise 20 Bohrkernen mit durchschnittlich 100 Jahresringen konnte nach eigenen Erfahrungen gegenüber dem bisherigen Zeitaufwand auf etwa 10% gesenkt werden. Mit dieser rationalisierten und zugleich objektivierten Datierungsmethode ist es für Mitteleuropa erstmals gelungen, Großzahl-datierungen mit einem vertretbaren Zeit- und Kostenaufwand durchzuführen.

Neben den methodischen Grundlagen wurden auch die Prinzipien der Synchronisierung überprüft, denn eine ausgedehnte Anwendung der Dendrochronologie setzt voraus, daß Datierungen frei von subjektiven Einflüssen erfolgen. Dieser Forderung dient der Gleichläufigkeitswert als Maßstab für die Ähnlichkeit von Jahrringkurven. Die großen Schwankungen, denen dieser Wert unterliegt, waren Anlaß zu einer Untersuchung. Es ergab sich, daß die Zufallsvariabilität von der Länge des Überlappungsbereiches abhängt und mit zunehmender Kurvenlänge asymptotisch gegen null geht. Eine vollständige Trennung der Streufelder in synchroner und nichtsynchroner Lage

erfolgt nicht im Bereich der in der Praxis üblichen Kurvenlängen. Besondere Vorsicht ist daher bei kurzen Jahrringfolgen geboten, wie sie z. B. MOLSKI (1965) zur Altersbestimmung von zehn Hölzern der Altstadt von Stettin benutzt hat, die zudem noch von vier Holzarten stammten. Ebenso arbeitete ČERNICH (1967) mit Proben geringer Jahrringanzahl, die außerdem über eine Zeit von vier Jahrhunderten verteilt waren. Wegen der unzuverlässig kurzen Überlappungen nimmt er die Novgoroder absolute dendrochronologische Skala als Basis. MUNAUT (1966) hält eine Überlappung von 50 Jahren für eine Mindestforderung. Obwohl er ebenfalls eine abnehmende Tendenz der Streuung mit der Kurvenlänge feststellt, legt er der Sicherheitsbeurteilung von Datierungen eine konstante Standardabweichung zugrunde. Daher können seine aufgestellten Schätzungen nicht verallgemeinert werden.

Ebenso wirkt sich besonders bei kurzen Jahrringfolgen bzw. Überlappungsbereichen die durch verschiedene Anteile der Kurvenrichtungen „steigend“, „gleichbleibend“ und „fallend“ bedingte Variabilität des Gleichläufigkeitswertes aus. Dieser Einfluß ist größer, wenn ein Zuwachs von weniger als 1 mm vorliegt und durch die generalisierende Wirkung des Messens ein hoher Anteil „gleichbleibender“ Kurvenabschnitte auftritt. Im Durchschnitt ist der Einfluß jedoch gering, so daß er auch bei der rechnerischen Erfassung des Zusammenhanges zwischen Gleichläufigkeitswert und Kurvenlänge nicht berücksichtigt wurde.

Wenn der Gleichläufigkeitswert synchrone Lagen von zufälligen Deckungen trennen soll, kann die Richtung der einzelnen Kurvenabschnitte von Jahrringfolgen nicht nach Zufallsgesetzen angeordnet sein. Als Hinweis für diese Annahme wurde die Ermittlung einer Reihenkorrelation zwischen den Jahrringbreiten einer Folge gewertet. FRITTS (1962) hat für *Quercus alba* L. gezeigt, daß ihr Zuwachs von der Ringbreite des Vorjahres, dem Klima der vorhergehenden Vegetationsperiode und dem Klima des laufenden Jahres abhängt. Hoch korreliert ist insbesondere die Breite des Frühholzes mit der Spätholzproduktion des vorausgegangenen Jahres. Dieser sog. „carry-over-effect“ ist auch bei der einheimischen Eiche ausgeprägt (MAMMEN, 1952), da sie als ringporige Holzart ihr Frühholz aus den Reserven des Vorjahres bilden muß. Ebenso fand ELLING (1966) eine enge Beziehung zwischen der Jahrringbreite der Traubeneiche und den Klimawerten des vorausgehenden Jahres. Einen weiteren Beweis für die Annahme einer nicht zufälligen Aufeinanderfolge der Kurvenrichtungen erbrachten die Versuche mit der modellmäßigen Erfassung von Jahrringkurven in unsynchroner Lage. Die erzielten Gleichläufigkeitswerte deckten sich nahezu identisch mit denen, die aus dem biologischen Material bei unsynchroner Lage gewonnen worden waren, während sich der Streubereich der Gleichläufigkeitswerte in synchroner Lage erheblich davon unterschied. Somit können die Kurvenrichtungen nicht oder nicht immer rein zufällig angeordnet sein, wie lange Zeit angenommen wurde. Durch diesen Nachweis erfährt die Gleichläufigkeits- bzw. die Gegenläufigkeitsberechnung eine nachträgliche Bestätigung.

Auf der Reihenkorrelation beruht demnach, daß zufällige Lagen von der synchronen Zuordnung unterschieden werden können. Die Tatsache, daß Jahrringkurven in Süddeutschland oder in Zonen mit nur einem Minimumfaktor besser übereinstimmen als im norddeutschen Tiefland, scheint durch eine höhere Reihenkorrelation der Jahrringfolgen bedingt zu sein. Diese Vermutung wird durch die Feststellung von FRITTS (1965) gestützt, daß die Reihenkorrelation entlang eines Gradienten von feuchten Standorten zu der semiariden Baumgrenze steigt. Auf feuchteren Standorten wird der Wachstumsprozeß nicht so häufig durch das Klima begrenzt, so daß der Einfluß individueller biotischer und edaphischer Faktoren zunimmt. Er verursacht Unterschiede zwischen den Jahrringfolgen, die eine Ähnlichkeit in den Schwankungen manchmal nicht offensichtlich werden lassen.

Die Analyse zur Differenzierung von zufallsgeprägten und klimatisch determinierten Zuwachsraten hat ergeben, daß ein relativ hoher Jahrringanteil von Umweltfaktoren mit mindestens 99,9%iger Sicherheit bestimmt wird. Derart signifikante Zuwachsschichten können generell als Weiserjahre angesehen werden. Aus Abbildung 12 läßt sich ableiten, daß einige Jahrringe eine erheblich höhere Signifikanz als 99,9% besitzen. Diese Extremweiserjahre entsprechen den Weiserjahren, wie sie HUBER charakterisiert hat. Beim Aufbau von Standardchronologien scheint daher eine Signifikanzanalyse an ausreichendem Material als zusätzliches Hilfsmittel zur sicheren Datierung von unbekanntem Vergleichsproben angebracht.

Beim Vergleich von Jahrringfolgen ist man in Nord- und Mitteleuropa (ORDING, 1941; HUBER, 1943) schon früh von der rein visuellen Korrelation zur numerischen Erfassung der Ähnlichkeit übergegangen. In der amerikanischen und osteuropäischen Jahrringforschung dagegen gelten teilweise heute noch die einfachen „memory method“ und „skeleton plot method“ oder Modifikationen davon. In dem eigenen Bestreben, den Maßstab für die Bestimmung der Ähnlichkeit von Zuwachsfolgen weiter zu verfeinern, wurden Synchronisierungskoeffizienten entwickelt, die jedoch noch verbesserungsfähig erscheinen und daher vorerst nicht eingeführt werden sollen.

Durch diese Analyse der biologischen Voraussetzung und der methodischen Grundlagen konnte die Einsatzfähigkeit der Dendrochronologie auch für Norddeutschland erwiesen werden.

### Zusammenfassung

Das in Mitteleuropa eingesetzte jahrringchronologische Datierungsverfahren wurde im Hinblick auf Rationalisierung und Aussagesicherheit geprüft. Als zeitliche Engpässe erwiesen sich die Probenentnahme, die Jahrringbreitenmessung, das Zeichnen der Zuwachskurven und vor allem der manuelle Kurvenvergleich. Durch Einsatz einer elektronischen Rechanlage und anderer Hilfsmittel konnte der Ablauf beschleunigt werden.

Für eine sichere Synchronisierung von Jahrringfolgen wurde der dafür gewählte Gleichläufigkeitswert untersucht. Obwohl sich der Streubereich dieses Wertes bei synchroner und unsynchroner Deckungslage weitgehend überschneidet, gestattet der Gleichläufigkeitswert dennoch eine objektive Differenzierung, an Hand derer visuell eine sichere Altersbestimmung möglich ist.

Ein Gleichläufigkeitswert resultiert aus den klimatisch geprägten, gleichsinnig verlaufenden Zuwachsschwankungen (Weiserjahre) und aus den zufällig sich deckenden Kurvenabschnitten. Die Werte beider Komponenten streuen. Erst wenn sich Werte aus den beiden positiven Streufeldern summieren, liegt der daraus resultierende Gleichläufigkeitswert außerhalb der Zufallsstreuung.

Zur Demonstration des modifizierten dendrochronologischen Verfahrens wurden einige Datierungsbeispiele angeführt.

### Summary

The dendrochronological dating method as used in Central-Europe has been analyzed with regards to accuracy and possibilities of rationalization. The drawing of samples, measurement of width of tree-rings, plotting of growth diagrams, and above all, the manual identification of tree-ring series has to be regarded as time-consuming. The use of a computer and other automated auxiliary apparatus enabled a speeding up of the dendrochronological process.

The "Gleichläufigkeitswert" (coefficient of parallel variation),—as used for exact synchronization of tree-ring series—was investigated. Although the variation of this

value overlaps to some extent in synchronous and in asynchronous position, it nevertheless permits an objective pre-classification by means of which an exact determination of age can be visually performed afterwards.

The "Gleichläufigkeitswert" results from climatically determined, parallel-oriented increment fluctuations (Weiserjahre) and also from sections of growth diagrams which are congruent by chance. The values of both components vary. Only when the values of both positive variations are adding up the resulting "Gleichläufigkeitswert" will exceed the random variation.

Examples of dating are given to demonstrate the modified dendrochronological method.

### Literatur

- BARTH, R., und BERNT, R., 1968: Ergebnisse und Erfahrungen bei der Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung zur Aufbereitung von Inventurdaten der Forsteinrichtung. Sozial. Forstwirtschaft. 18, 265-269. — BAUCH, J., LIESE, W., und ECKSTEIN, D., 1967: Über die Altersbestimmung von Eichenholz in Norddeutschland mit Hilfe der Dendrochronologie. Holz Roh- u. Werkst. 25, 285-291. — BECKER, B., und GIERTZ-SIEBENLIST, V., 1969: Eine über 1100jährige mitteleuropäische Tannenchronologie. Forstw. Cbl. 88 (im Druck). — ČERNÝCH, N. B., 1967: Dendrochronologija postroek drevnego smolenska. Kratek Soob. Inst. Archeologii 110, 129-135. — CRAWFORD, R. M. M., and WISHART, D., 1968: A rapid classification and ordination method and its application to vegetation map. J. Ecol. 56, 385-404. — ECKSTEIN, D., 1969: Entwicklung und Anwendung der Dendrochronologie zur Altersbestimmung der Siedlung Haithabu. Diss. Univ. Hamburg. — ECKSTEIN, D., BAUCH, J., und LIESE, W., 1970: Der Aufbau einer Jahrringchronologie für den Raum Schleswig-Holstein (in Vorbereitung). — ECKSTEIN, D., und LIESE, W., 1970: Jahrringchronologische Untersuchungen zur Altersbestimmung von Holzbauten der Siedlung Haithabu (in Vorbereitung). — ELLING, W., 1966: Untersuchungen über das Jahrringverhalten der Schwarzerle. Flora, Abt. B, 156, 155-201. — FRANZ, F., 1968: Elektronische Datenverarbeitung in der Forstwissenschaft. Forstw. Cbl. 87, 257-269. — FRITTS, H. C., 1962: The relation of growth ring width in American beech and white oak to variations in climate. Tree-Ring Bull. 25, 2-10. — FRITTS, H. C., 1962: Computer programs for tree-ring research. Tree-Ring Bull. 25, 2-7. — FRITTS, H. C., SMITH, D. G., CARDIS, J. W., and BUDELSKY, C. A., 1965: Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in Northern Arizona. Ecology 46, 393-401. — GLOCK, W. S., 1937: Principles and methods of tree-ring analysis. Carnegie Inst. Wash. Publ. 486, Washington. — GORCZYŃSKI, T., MOLSKI, B., and GOLINOWSKI, W., 1965: Podstawy dendrochronologii w zastosowaniu do potrzeb archeologii. Archeologia Polski 10, 75-114. — GRAF, U., und HENNING, H.-J., 1960: Statistische Methoden bei textilen Untersuchungen. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer. — HALLER, K. E., 1968: Inventory of natural forests. A computer program for the processing of data. Unasylva 22, 22-28. — HØEG, O. A., 1956: Growth-ring research in Norway. Tree-Ring Bull. 21, 2-15. — HOLLSTEIN, E., 1965: Jahrringchronologische Datierung von Eichenhölzern ohne Waldkante. Bonner Jahrbuch 165, 12-27. — HUBER, B., 1941: Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrring-Chronologie. Mitt. Herm.-Göring-Akad. Dtsch. Forstwiss. 1, 110-125. — Ders., 1943: Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. Holz Roh- u. Werkst. 6, 263-268. — HUBER, B., und JAZEWITSCH, W. v., 1958: Jahrringuntersuchungen an Pfahlbauhölzern. Flora 146, 445-471. — HUBER, B., SIEBENLIST, V., und NIESS, W., 1965: Jahrringchronologie hessischer Eichen. Büdinger Geschichtsblätter V, 29-32. — KENNEL, R., 1968: Die Auswertung eines Praxisdüngungsversuches als einfaches Beispiel integrierter Datenverarbeitung in der Forstwissenschaft. Forstw. Cbl. 87, 269-275. — KOLČIN, B. A., 1962: Dendrochronologija Novgoroda. Sovetskaja Archeologija 6, 113-139. — MAMMEN, E., 1952: Der Einfluß einiger Witterungsfaktoren auf Jahrringbreite und Spätholzbildung verschiedener Holzarten des gleichen nordwestdeutschen Standortes. Diss. Univ. Göttingen. — MOLSKI, B., 1965: Preliminary dendrochronological investigation in archaeological stand on "vegetable market" in Szczecin (Poland). Archaeologia Polona 8, 190-207. — MÜLLER-STOLL, H., 1951: Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. Bibliotheca Bot. 122, 1-93. — MUNAUT, A. V., 1966: Recherches dendrochronologiques sur Pinus silvestris. I. Etude de 45 sylvestres récents originaires de Beligues. Agricultura 14, 193-232. — ORDING, A., 1941: Åringsanalyser på gran og furu. Medd. Norske Skogforsøksv. 7, 105-354. — PRESTEMON, D. R., 1965: Improving the power increment borer for hardwoods. J. For. 63, 763-765. — RUDAKOV, V. E., 1958: O metode uzúčenija vlijanija kolebanij klimata na širinu godičnyh kolec dereva. Botaničeskij Žurnal 43,

1708-1712. — SCHÖPFER, W., 1966: Einsatz des Datenverarbeitungssystems IBM 1401 bei der Sorten- und Wertberechnung stehender Waldbäume. IBM Nachrichten 16, 47-55. — VICHROV, V. E., and KOLČIN, B. A., 1962: Osnovy i metod dendrochronologii. Sovetskaja Archeologia 6, 95-112. — VINŠ, B., 1962: Plotting unit—a contribution to the automation of animal ring analyses. Sozial. Landwirtschaft XI, 201-208. — WEITLAND, J., 1960: Jahrringchronologische Untersuchungen an Laubbaumarten Norddeutschlands. Mitt. Bundesforsch.-Anst. Forst- u. Holzwirtsch. N. 48.

## II. MITTEILUNGEN

### Victor Dieterich zum 90. Geburtstag



Am 26. August dieses Jahres vollendet o. Universitätsprofessor em. an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Dr. Dr. h. c. VICTOR DIETERICH, sein 90. Lebensjahr. Dieser seltene Festtag allein wäre schon Anlaß genug, zu gratulieren und Glückwünsche darzubringen – und dies sei auch von Herzen getan. Es gibt aber einmal mehr dem großen Kreis der Schüler Gelegenheit, ihren Dank zum Ausdruck zu bringen jenem Mann, der durch seine Lehren, sein Werk und durch seine tätige Anteilnahme am Geschick des Waldes und der Forstwirtschaft bis in die jüngste Zeit hinein ihr Denken und Handeln wohl am stärksten geformt, gestaltet und beeinflußt hat. Es sei dieser Dank nicht noch einmal mit einer Würdigung des Lebensganges und Lebenswerkes verbunden. Dies ist aus berufenerem Munde bereits vor zwei Jahrzehnten

in dieser Zeitschrift geschehen und könnte heute nur mit vielen Wiederholungen nachvollzogen werden. Fortführend sei nur nachgetragen:

Was DIETERICH während seines ganzen aktiven Berufslebens zutiefst beschäftigte, die vielfältigen Beziehungen, Bindungen, Spannungen zwischen dem Menschen und dem Wald zu ergründen, zu analysieren und daraus zu einer Synthese und zu einer Harmonie der Funktionen zu gelangen, das ließ ihn auch nicht los, als er nach 23jähriger Lehrtätigkeit an der Münchner Universität in die Heimat zurückkehrte. Immer wieder meldete er sich zu Wort als Mahner und Streiter für eine Forstwirtschaft, die sich nicht allein der rentablen Produktion von Holz verschrieb oder die Interessen einer Besitzart im Auge hatte, sondern danach strebte, allen Belangen, in denen der Wald dem Menschen nutzen und dienen kann, gerecht zu werden. Immer wieder rief er auf, die Beziehungsgefüge Mensch-Wald und Waldbesitzerhaushalt-Wald noch tiefer zu durchdringen, das Handeln umfassender und dabei doch detaillierter zu planen und später sachlicher und sachgerechter sich Aufschluß zu verschaffen über das Geleistete. Und er wurde nicht müde, daran zu erinnern, daß gerade in unserer materialistischen, immer stärker industrialisierten und technisierten Welt die Forstwirtschaft ihre biologischen und ökologischen Grundlagen und Bindungen nicht vergessen dürfe, sie nicht als Fesseln, sondern als Verpflichtung zu betrachten habe.