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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 147 (1996)

Heft: 12

Artikel: Jahrringe, ein Thema der praktischen forstlichen Forschung

Autor: Schweingruber, Fritz H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-767071

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

Jahrringe, ein Thema der praktischen forstlichen Forschung

Von *Fritz H. Schweingruber*

Keywords: Tree rings; ecology; climate; pointer years.

FDK: 561.24: 81

Einleitung

Ist es nicht erstaunlich, dass wir nach mehr als hundertjähriger forstlicher Forschung kaum wissen, unter welchen klimatischen Bedingungen ein Jahrring breit oder schmal ausfällt? Wer könnte, ohne auf Stammscheiben zu schauen, sagen, ob der Jahrring von 1994 breit oder schmal ausgefallen ist? Wer wagt eine Prognose über den Zuwachs einer dominanten oder unterdrückten Buche, Tanne oder Fichte im Mittelland oder im Gebirge an einem trockenen oder feuchten Standort, wenn die Niederschläge im Juni und Juli gering ausgefallen sind?

Als vor Jahren an der damaligen EAFV die Frage zur Diskussion stand, ob Jahrringforschung betrieben werden sollte, war die Meinung recht klar. Ein alter Kollege brachte es auf den Punkt: «Das bringt nichts, das hat schon Knuchel erfahren». Hermann Knuchel war Professor der Abteilung Forstwirtschaft der ETH. 25 Jahre sind seither ins Land gegangen, und immer noch können wir die eingangs gestellten Fragen nicht präzise beantworten. Die Jahrringforschung jedoch hat in anderen Bereichen enorme Erkenntnisse erarbeitet. Diese sind, so weist eine internationale Bibliographie nach, in über 5000 Artikeln in Hunderten von Zeitschriften beschrieben. In folgenden Büchern sind die wichtigsten Forschungsresultate dargestellt:

Baillie, M. G. L. 1982: Tree-Ring Dating and Archaeology.
Beschrieben ist der Einsatz der Dendrochronologie in der Archäologie in Irland und England. Vieles hat auch in Mitteleuropa Gültigkeit.
Baillie, M. G. L. 1995: A slice through time; dendrochronology and precision dating.
Baillie schlägt die Brücke zwischen der Archäologie und der Klimatologie. Ausführlich beschrieben ist der Zusammenhang zwischen Vulkanismus, Klima und Baumwachstum.

Becker, B. et al. 1985: Dendrochronologie in der Ur- und Frühgeschichte.
Auf dem damaligen Stand der Kenntnisse sind die kalendergenauen Daten der meisten Seeufer- und Moorsiedlungen in der Schweiz und in Süddeutschland aufgeführt.

Cook, E. R. and Kairiukstis, L. A. 1990: Methods of Dendrochronology.
Alle Dendrochronologen mit Rang und Namen beschreiben die dendrochronologischen Techniken (richtet sich an Fachleute).

Fritts, H. C. 1976: Tree rings and climate.
Beschrieben sind der ökophysiologische Hintergrund und die statistische Methodik der Jahrringforschung. Vieles bezieht sich auf die Wälder im amerikanischen Südwesten.

Jones, P. D. et al. 1996: Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years.
Hier ist der aktuelle Stand der weltweiten dendroklimatologischen Forschung dargestellt.

Kaennel, M. und Schweingruber, F. H. 1995: Multilingual Glossary of Dendrochronology.
In sieben Sprachen werden alle in der Dendrochronologie verwendeten Begriffe definiert.

Schweingruber, F. H. 1983: Der Jahrring.
In leicht verständlicher Form sind die Methodik und das ganze Anwendungsgebiet beschrieben.

Schweingruber, F. H. 1993: Trees and Wood in Dendrochronology.
Von allen wichtigen, in der Dendrochronologie verwendeten Arten ist der Aspekt, die Verbreitung, die Ökologie und die dendrochronologische Verwendung dargestellt.

Schweingruber, F. H. und Schoch, W. 1992: Holz, Jahrringe und Weltgeschehen.
In erzählerischer Weise werden wichtige Befunde der Holzartbestimmung und der Dendrochronologie vorgestellt. Das Buch eignet sich als Nachttischlektüre.

Shigo, A. L. 1989: A New Tree Biology: Facts, Photos, and Philosophies on Trees and their Problems and Proper Care.
Ein reich bebildertes Buch, das alle Erscheinungen auf den Stammquerschnitten erläutert.

In den Zeitschriften «Tree Ring Bulletin» und «Dendrochronologia» werden ausschliesslich dendrochronologische Aufsätze publiziert.

Die Archäologie war die erste Nutzniesserin der dendrochronologischen Forschung. Mit dem Aufbau einer 11000jährigen absoluten Jahrringreihe gelingt es heute, das Schlagdatum der Stämme aus historischen Gebäuden und Pfahlbauten zu datieren. Die Dendrochronologie hat die mitteleuropäische Archäologie revolutioniert, indem Fundinventare verschiedener Siedlungen in einen jahrgenauen zeitlichen Raster gefügt werden können. Es geht heute nicht mehr um die Frage, ob eine Siedlung am Zürichsee um 3100 und eine typologisch entsprechende am Neuenburgersee um 3200 vor Christus entstanden sei, sondern darum, ob die Zürcher 3127 und die Neuenburger 3145 v. Chr. das Holz für Siedlungsbauten während oder nach der Vegetationsperiode eingeschlagen haben. Nur wenn wir die prähistorischen Befunde so präzise datie-

ren können, lässt sich Geschichte schreiben. Bruno Huber, Professor für Forstbiologie an der Universität München, ist zu Beginn der 40er Jahre aus dem Feld der Ökophysiologie ausgebrochen und legte mit der Einführung der Dendrochronologie in Europa den Grundstein zu einem neuen Geschichtsverständnis.

Von nicht geringerer Bedeutung ist die Jahrringforschung in der Geophysik. 1948 hat der Physiker Arnold Libby die Methode der Radiokarbondatierung entwickelt. Dafür hat er später den Nobelpreis erhalten. Absolut datierte Jahrringe aus mehrtausendjährigen Bäumen im Westen Nordamerikas und solche aus ägyptischen Pyramiden waren Kronzeugen für die Richtigkeit seiner Entdeckung: Das dendrochronologisch bestimmte Alter entsprach dem des physikalisch berechneten. Hans Süss, ebenfalls ein Physiker, meldete recht bald Zweifel an, denn er stellte fest, dass dendrochronologisch datierte Jahrringe von Borstenkiefern aus der Zeit um 4000 v. Chr. ein Radiokarbonalter von nur 3000 v. Chr. ergaben. Heute wissen wir warum. Nicht zu allen Zeiten ist gleich viel radioaktiver Kohlenstoff mit dem CO_2 auf die Erdoberfläche gelangt, denn das Erdmagnetfeld hat den für die Bildung des radioaktiven Kohlenstoffs verantwortlichen Sonnenwind in unterschiedlicher Stärke abgeschirmt. Die Erkenntnis, dass sich die Intensität des Erdmagnetfeldes über Jahrtausende und die Sonnenfleckenaktivität über Jahrhunderte ändert, ist das Ergebnis einer fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen Physikern und Dendrochronologen.

Das grösste und wohl auch schrecklichste Experiment, das auf Erden je angelegt worden ist, hat sich in jedem Gehölz, in Hochgebirgen, nahe den Polen und in den Tropen, niedergeschlagen. In den 60er Jahren haben Ost und West oberirdische Atombombenversuche durchgeführt, die den Spiegel des radioaktiven Kohlenstoffes um das Siebenfache ansteigen liessen. Mit dem Radiokarbonpeak in tropischen Hölzern lassen sich heute die Jahre 1962/63 genau festlegen und nachträglich ist es möglich, den Austausch der Luftmassen von der Nord- in die Südhemisphäre zu rekonstruieren.

In der heutigen Umweltforschung nimmt die Dendrochronologie eine zentrale Stellung ein. An sie wird die Frage gestellt, ob sich die Wachstumsverhältnisse und das Klima unter dem Einfluss anthropogener Immissionen verändert haben. Die Ergebnisse von Laborversuchen mit freistehenden, optimal ernährten Pflanzen sind eindeutig: sie wachsen bei erhöhtem CO_2-Gehalt besser. Die Ergebnisse dendrochronologischer Studien an alten Bäumen aus Waldbeständen jedoch sind sehr widersprüchlich. In Zentraleuropa steigt und steigt der Zuwachs seit etwa 100 Jahren. Rings um den Pol in den borealen Wäldern ist bei den dominanten Bäumen kein ausserordentlicher Zuwachs feststellbar. Es ist zu vermuten, dass in den Urwäldern Nordamerikas und Russlands das Wachstum nicht durch das CO_2 gefördert werden kann, weil es durch einen andern Faktor begrenzt wird. Warum dann der Anstieg in Mitteleuropa? Ist es die begünstigende forstliche Bewirtschaftung, die heute feh-

lende Streunutzung oder gar der anthropogene Stickstoffeintrag? Die Frage ist heute nicht sicher beantwortbar.

Die umweltbezogene Dendrochronologie ist ganz generell mit der Frage der globalen Klimaveränderungen konfrontiert. Sie ist gewillt, dieses hoch komplexe Thema anzugehen, denn es besteht die Gewissheit, dass Veränderungen jahrgenau in den Jahrringabfolgen aufgezeichnet sind. Aus diesem Grunde haben verschiedenste Wissenschaftszweige dendrochronologische Methoden übernommen zur Rekonstruktion kurzfristig extremer und langfristig schleichender Veränderungen. Einerseits werden Wachstumssprünge, sogenannte Ereignisjahre und abrupte Zuwachsveränderungen, in ganzen Populationen festgehalten. Die Häufigkeit von Individuen, die in einem bestimmten Jahr auf ein Ereignis extrem reagiert haben, ist ein Mass für die Intensität eines Ereignisses. Anderseits werden Jahrringbreiten und Jahrringdichten von vielen Individuen gemessen und zu Mittelkurven verarbeitet. Diese besagen vor allem etwas über die biologische Leistungsfähigkeit eines Bestandes.

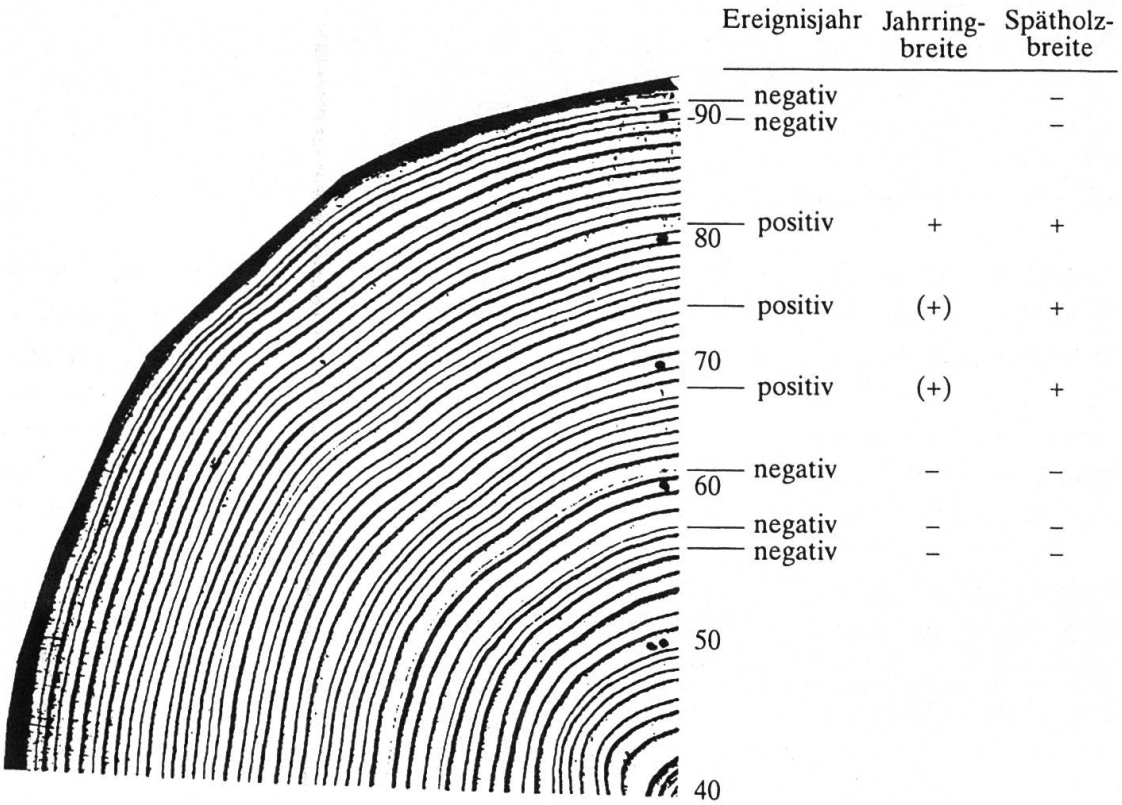


Abbildung 1a. Nadelbaum mit vielen Ereignisjahren und äusserst regelmässigem, langfristigem Zuwachs. Klimatische Ereignisse haben einzelne Jahrringe gekennzeichnet. Extrem schmale Jahrringe entstehen vor allem durch Trockenperioden im Frühsommer, im schweizerischen Mittelland etwa vom Mai bis Juni, oder auch durch Spätfröste zu Beginn der Wachstumsperiode. Extrem breite Jahrringe entstehen, wenn im Mai und Juni viel Niederschlag fällt. Extrem schmale Spätholzzonen entstehen vor allem durch Sommertrockenheit oder bei Insektenbefall. In Bäumen aus Hochlagen sind sie Ausdruck kalter Sommer. Extrem breite Spätholzzonen sind das Ergebnis feuchter Sommer (Juli bis September).

Die jahrringanalytische Forschung besitzt heute ausgefeilte technische und statistische Methoden. Zudem verfügt sie über fundamentale ökologische Kenntnisse, um diejenigen Bäume auszusuchen, die eine Antwort auf eine gestellte Frage versprechen. Diese Voraussetzung erschliesst der forstlichen Forschung eine neue Dimension: Von jedem Baum und jedem Strauch an jedem Ort lässt sich eine kalendergenaue Wachstumsgeschichte rekonstruieren. Der Jahrring ist somit der ideale Träger des Raum-Zeit-Gedankens in der ökologischen Forschung.

Viele Forscher des 19. Jahrhunderts, vor allem Vater Theodor und Sohn Robert Hartig, haben in Deutschland die Grundsteine gelegt. Bruno Huber kombinierte ihr Wissen mit demjenigen der amerikanischen Schule von Andrew Elicott Douglass. Eigenartigerweise hat die auf jahrgenauer Datierung beruhende Jahrringanalyse in der eigentlichen forstlichen Forschung weltweit nie richtig Fuss gefasst.

Mit diesem Aufsatz möchte ich den guten Beobachtern und insbesondere den Forstleuten zeigen, dass Forschung im Wald auch mit einfachen Mitteln und mit wenig zeitlichem Aufwand neue Erkenntnisse und auch Freude vermitteln kann.

Der Stammquerschnitt ist ein biologisches Lesebuch

Bereits an Stammquerschnitten mit rauhen Motorsägeschnitten sind viele Beobachtungen möglich. Besser noch gelingen sie an Stammscheiben, die mit einem Schleifband geglättet worden sind. Die meisten für das Baumleben wichtigen Ereignisse sind an der Stammbasis erkennbar. In viel beschränkterem Masse eignen sich auch Bohrkerne. Da an der Aussenseite des Baumes kaum zu erahnen ist, was sich im Stamm drinnen alles für Merkmale befinden, gibt ein Bohrkern in der Regel nur eine Ahnung vom ganzen wirklichen Geschehen. Bohrungen schädigen den Stamm mechanisch: Es gibt ein etwa 7 mm dickes Löchlein. Da der Baum von Natur aus Abwehrmechanismen besitzt, die unter dem Wort Kompartimentalisierung zusammengefasst sind, entstehen in der Regel Verfärbungen, nur in den seltensten Fällen Fäulen.

An jeden Baumquerschnitt richten wir dieselben, grundlegenden Fragen:

Wann ist der Baum gekeimt? Wenn der Schnitt ganz am Stammfuss erfolgte, gibt die Anzahl Jahrringe den Jahrgang der Keimung an (*Abbildungen 1a–g*).

Wie ist der Baum gestorben? Wir beobachten die äussersten Jahrringe und stellen fest, ob der Tod abrupt oder nach einer Wachstumsreduktionsphase erfolgte. Es ist sogar feststellbar, ob der Baum im Frühsommer, im Spätsommer oder in der Vegetationsruhe abgestorben ist. Dazu müssen wir feststellen, ob der Baum bereits Spätholz angesetzt hat oder nicht.

Zeigen sich auf dem Querschnitt auffallende Einzeljahre? In jeder Lebensphase, sei es in einer sehr produktiven oder einer wenig produktiven, fallen extrem breite oder schmale Jahrringe oder solche mit breitem oder schmalem Spätholz auf (*Abbildung 1a*).

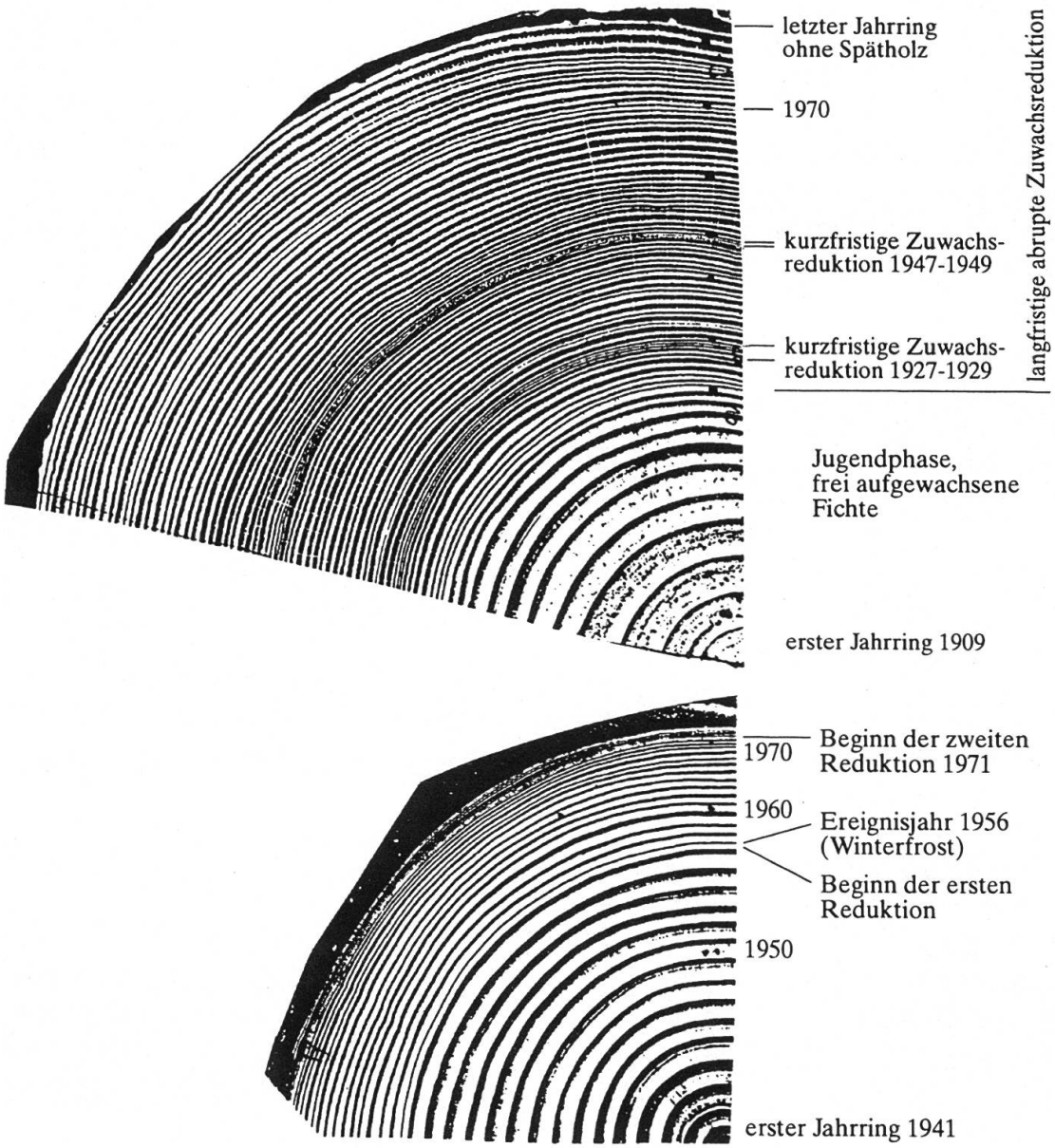


Abbildung 1b. Nadelbaum mit periodisch wechselndem Zuwachs. Abrupte Zuwachsreduktionen entstehen bei einschneidenden Umwelteinflüssen, z.B. bei grossen Kronen- und Wurzelverletzungen. Der Zuwachs geht auch nach kurzfristigen klimatischen Ereignissen wie Frost und Trockenheit zurück. Weshalb bei harter Konkurrenz der Zuwachs abrupt zurückgeht, ist unklar; theoretisch sollten die Jahrringbreiten kontinuierlich schmaler werden. Der obere Querschnitt stammt von einer Tanne aus einem Wirtschaftswald im schweizerischen Mittelland. Der Zuwachs hat sich ab 1927 auf einem durchschnittlichen Niveau von etwa einem Millimeter eingependelt. Der untere Querschnitt stammt von einer abgestorbenen Tanne aus dem Jura. Die äusserst schmalen Jahrringe weisen darauf hin, dass sie den Erschöpfungstod erlitten hat.

Hat der Baum abrupte, viele Jahre dauernde Wachstumsveränderungen erfahren? Wachstumssprünge sind sehr auffallend. Wir können deren Beginn, Ende und Dauer ermitteln (*Abbildung 1b* und *1c*).

Gibt es Jahrringe mit Druckholz? Das Datum eines einzelnen Jahrrings mit Druckholz oder der Beginn und das Ende einer deutlichen Druckholzperiode sind leicht zu erfassen (*Abbildung 1d*).

Seit wann ist der Baum exzentrisch gewachsen? Es ist gut festzustellen, ob ein Baum zuerst zentrisch, also aufrecht gewachsen ist und später schief gestellt wurde und danach auf einer Stammseite mehr Holz anlegte als auf der andern (*Abbildung 1e*).

Hat der Baum Verletzungen erlitten? Leicht erkennbar sind die Überwallungen. An gut geschliffenen Querschnitten ist genau zu sehen, in welchem Jahr die Überwallung begonnen hat. Zugleich ist erkennbar, wie gut oder schlecht das verletzte Gewebe erhalten geblieben ist (*Abbildung 1f*).

Gibt es weitere auffallende Erscheinungen? Oft sind kleine Holzdichteschwankungen innerhalb eines Jahrrings typisch. Besonders in Laubhölzern gibt es kleine, auf Einzeljahre beschränkte Verfärbungen. Nadelhölzer weisen oft Harzgallen (*Abbildung 1g*) oder tangentiale Reihen von Harzkanälen auf. Mit einer Lupe sind auch Frostringe erkennbar.

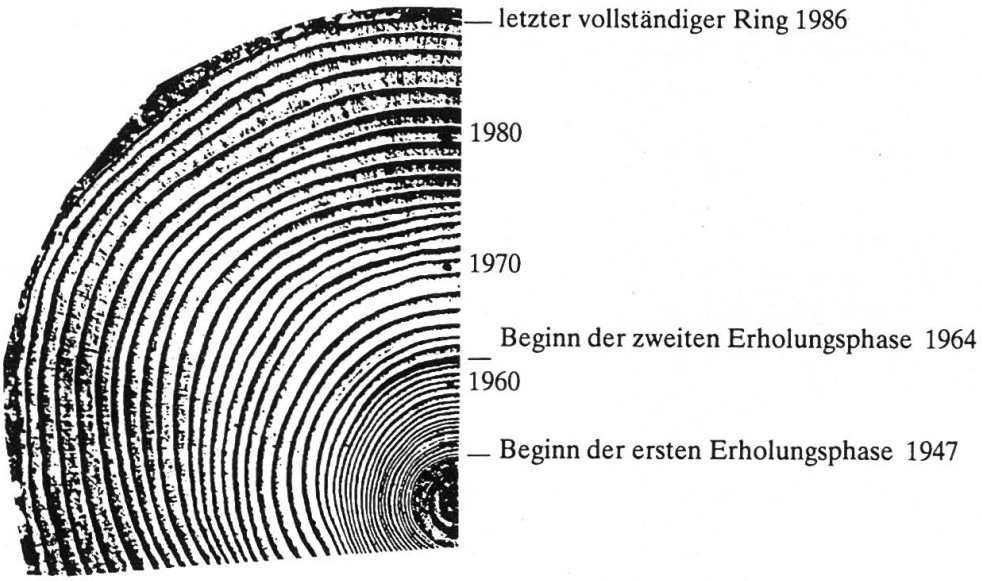
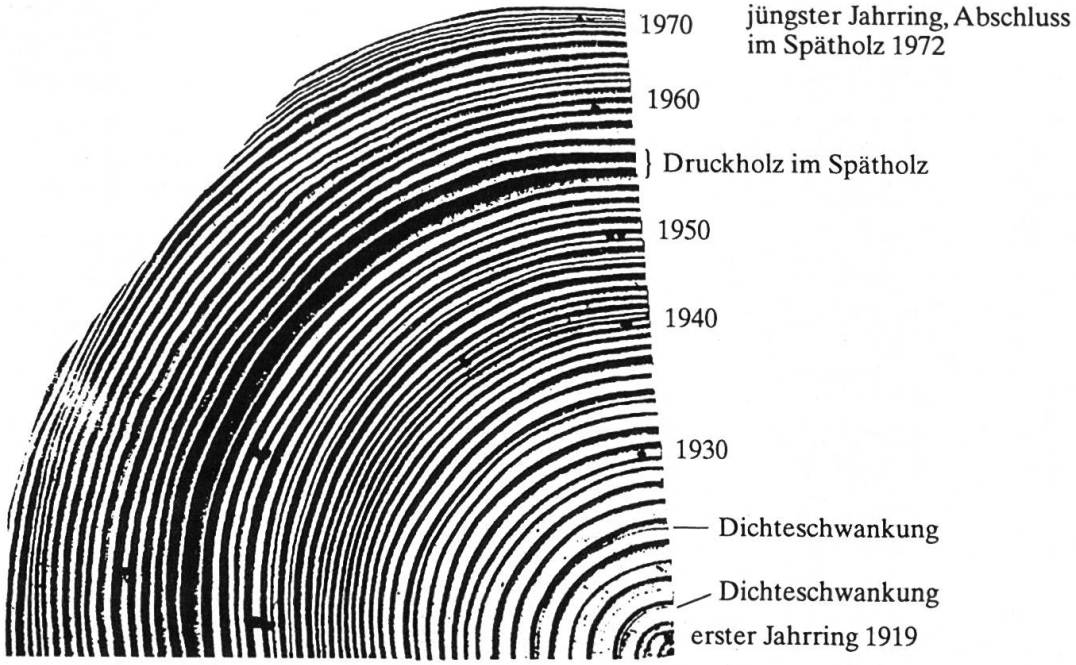


Abbildung 1c. Nadelbaum mit wechselndem Zuwachs. In der ersten Lebensphase stand der Baum auf einem wassergesättigten Hochmoor. Mit der Absenkung des Grundwasserspiegels verbesserten sich die Lebensbedingungen, und der Zuwachs steigerte sich abrupt. Entsprechende Bilder ergeben sich auch nach erfolgreichen Durchforstungen. Junge Fichten und Tannen überleben Beschattungsperioden bis zu hundert Jahre.



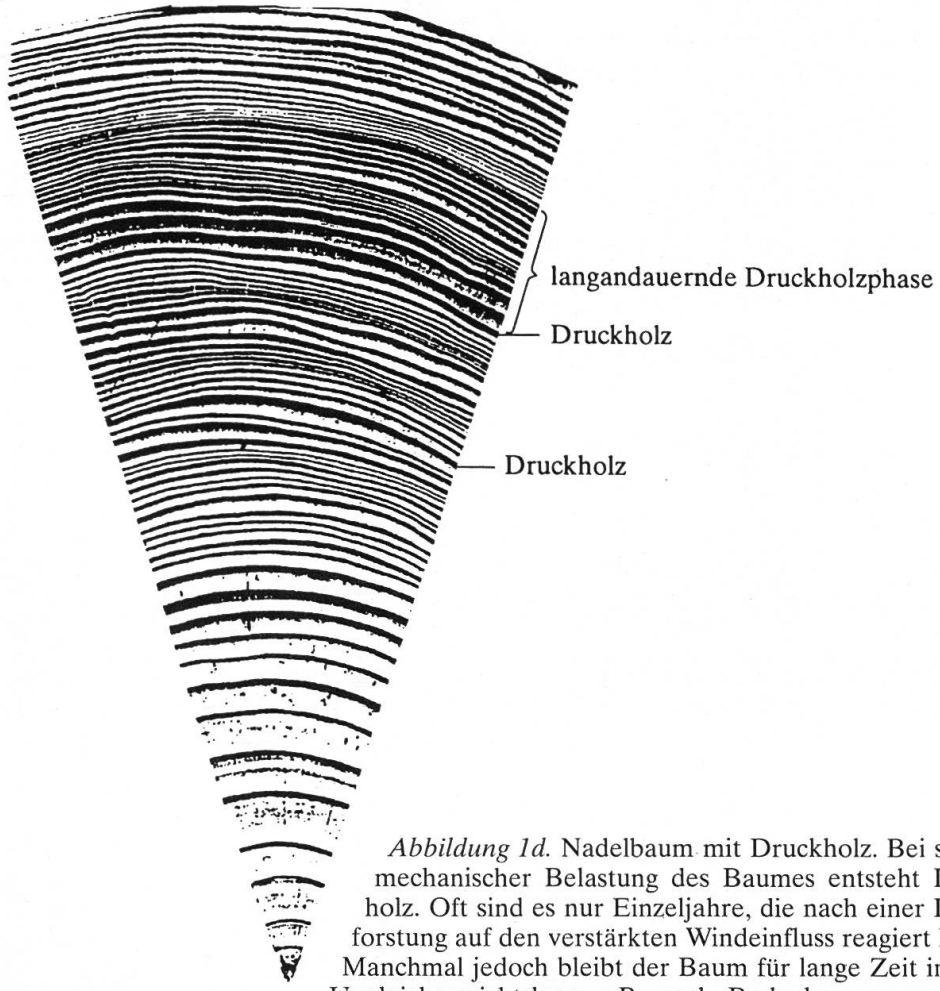


Abbildung 1d. Nadelbaum mit Druckholz. Bei starker mechanischer Belastung des Baumes entsteht Druckholz. Oft sind es nur Einzeljahre, die nach einer Durchforstung auf den verstärkten Windeinfluss reagiert haben. Manchmal jedoch bleibt der Baum für lange Zeit in einer Ungleichgewichtslage, z.B. nach Bodenbewegungen oder einem Lawinenniedergang.

Abbildung 1e. Nadelbaum mit exzentrischem Wuchs. Freistehend aufgewachsene Bäume wachsen in der Jugend oft einige Jahre lotrecht. Wenn sie grösser werden, kann ein einzelner heftiger Windstoss ein exzentrisches Wachstum hervorrufen. Hält die mechanische Beanspruchung an, zum Beispiel bei einseitiger Kronenentwicklung, an Waldrändern oder an Hängen, ist der Zuwachs über Jahrzehnte auf der belasteten Seite grösser als auf der unbelasteten.

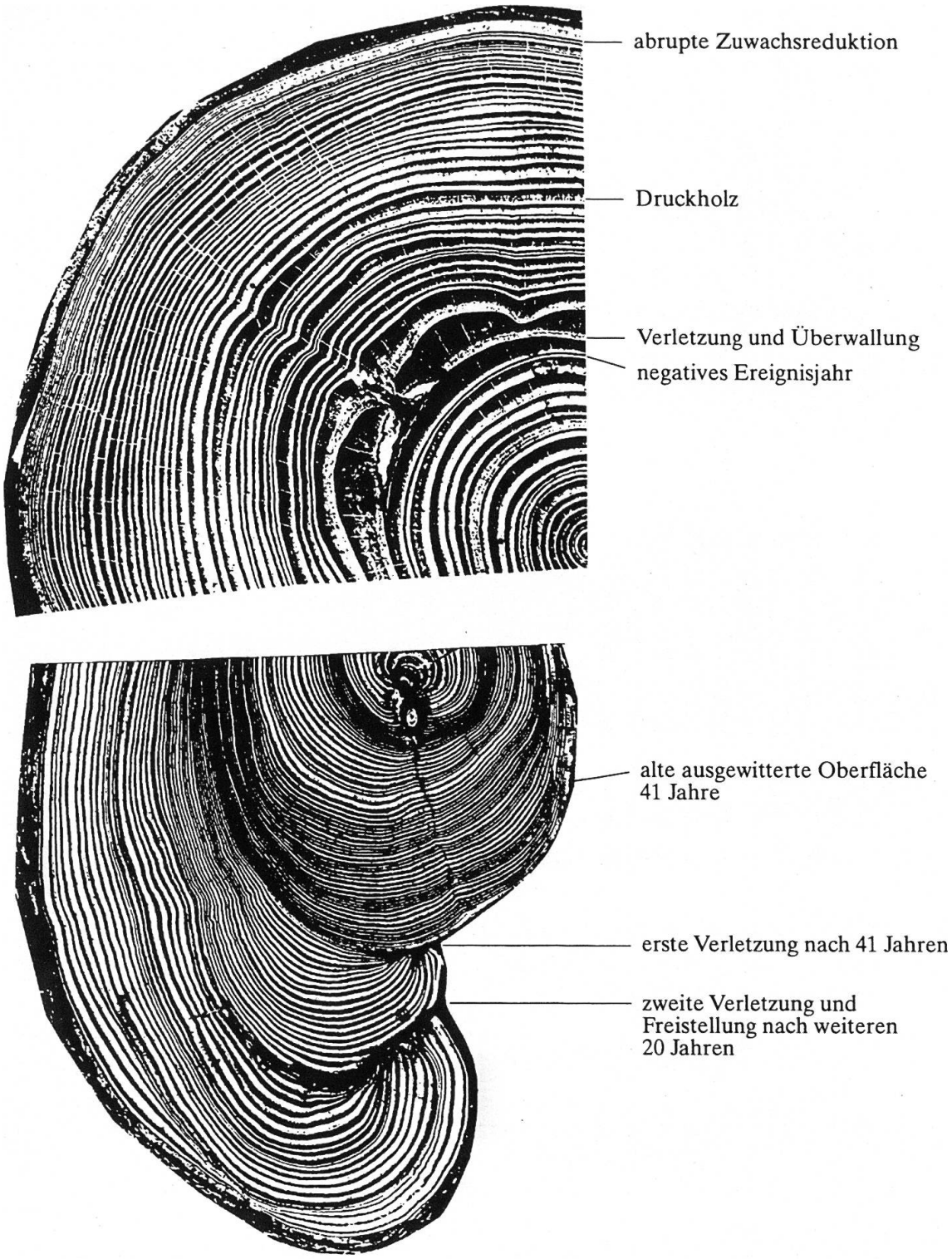


Abbildung 1f. Stämme mit Verletzungen. Bäume haben die Fähigkeit, verwundete Kambien zu reparieren. Unmittelbar nach der Verwundung grenzen fungizide Kernstoffe die verletzte Stelle entlang der Holzstrahlen und der Jahrringgrenzen ab. Vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode setzt ein gesteigertes Wachstum ein, das die Wunde überwallt. Im oberen Stamm ist die Wunde zwei Jahre nach deren Entstehung geschlossen worden. Im unteren Stamm blieben die Wunden offen.

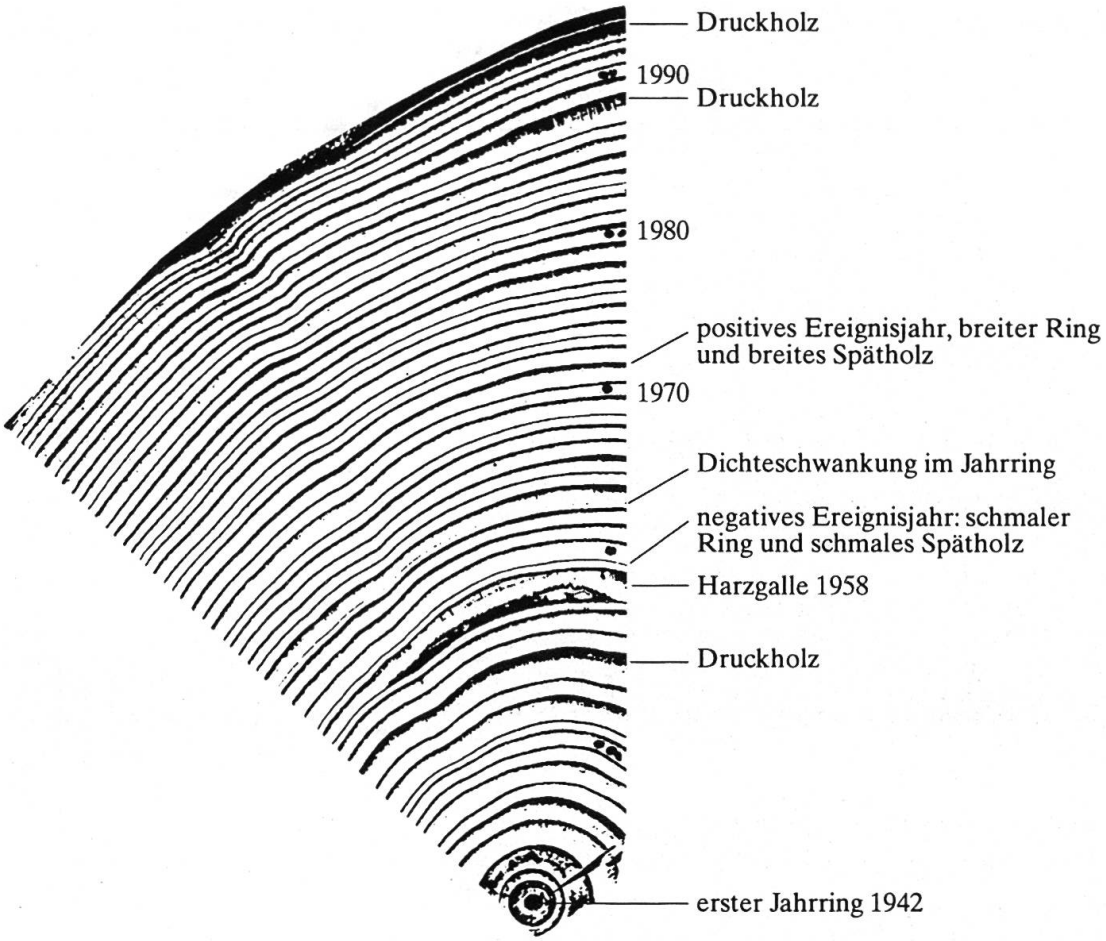


Abbildung 1g. Stamm mit einer Harzgalle. Tangentiale, mit Harz gefüllte Risse in Bäumen sind datierbar. Sie entstehen in der Regel nach mechanischem Stress, z.B. nach intensiver Windbelastung. Wenn die Zellwände aus klimatischen Gründen wenig verdickt sind, so auf diesem Querschnitt, bilden sich auch nach kleineren Ereignissen Harzgallen.

Das Beobachten und Aufzeichnen der Merkmale

Die Merkmale zeichnen wir in zeitlich richtiger Folge, in sogenannten Skeleton plots auf. Dazu benötigen wir das amerikanische Inch-Quadratpapier[1].

Aufgezeichnet werden mehr als drei Jahre dauernde, abrupte *Zuwachsveränderungen* und ein bis drei Jahre dauernde Folgen von *Ereignisjahren*. Wenn zeitgleiche Ereignisjahre in mehr als 40% der untersuchten Bäume auftreten, werden sie als *Weiserjahre* bezeichnet.

Im Skeleton-plot-Verfahren wird vor allem gefragt, wieviele Individuen in einem Bestand auffallende Jahrringe aufweisen. Die Häufigkeit des Auftretens ist ein Mass für die Intensität des Ereignisses, z.B. Frost, Trockenheit, Hangrutschung, Maikäferbefall. Auf diese Weise arbeitet die epidemiologische Forschung. In der medizinischen Epidemiologie ist es zum Beispiel wichtig zu wis-

[1] Erhältlich bei Aerni-Leuch, Sportweg 38, CH-3097 Liebefeld.

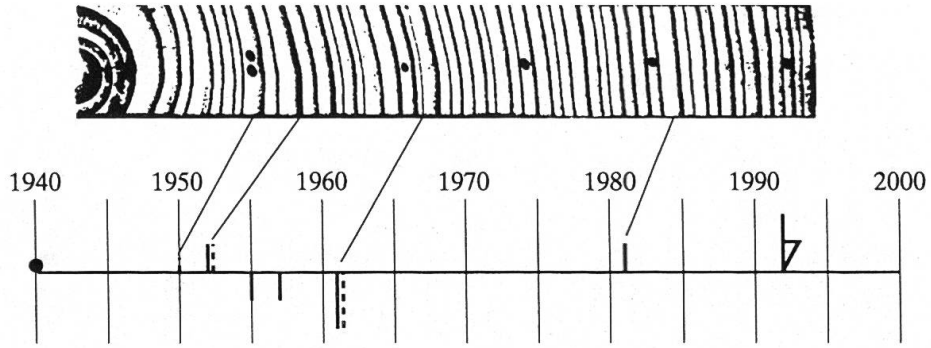


Abbildung 2a. Nadelbaum mit Ereignisjahren. Breite Jahrringe (Striche) oder Spätholzzonen (punktierte Linie) werden *über*, schmale *unterhalb* der Mittellinie aufgetragen. Wenn beide Merkmale in einem Jahrring auftreten, liegen die ausgezogene und die punktierte Linie nebeneinander.

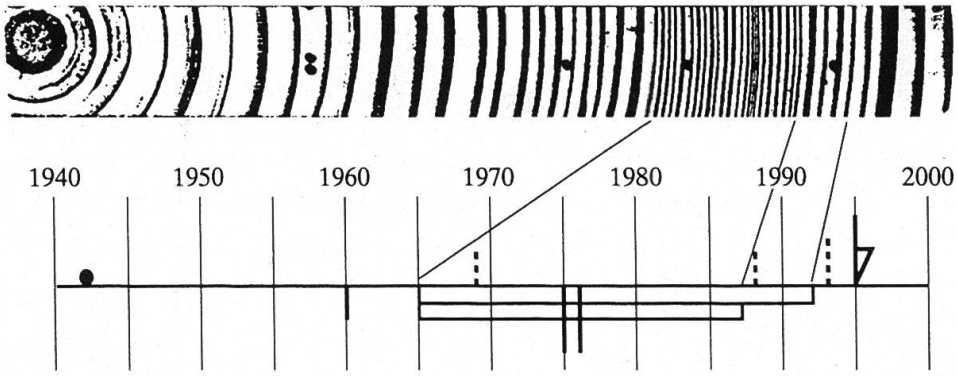


Abbildung 2b. Nadelbaum mit einer langjährigen, zweistufigen Zuwachsreduktionsphase. Den Standard bildet die erste Wachstumsphase. Die Reduktionsperiode dauert gesamthaft von 1965 bis 1991; 1977 erfolgte eine erste Erholung. In jeder Lebensphase treten kurzfristige extreme Ereignisse auf, z.B. 1960, 1975 und 1976.

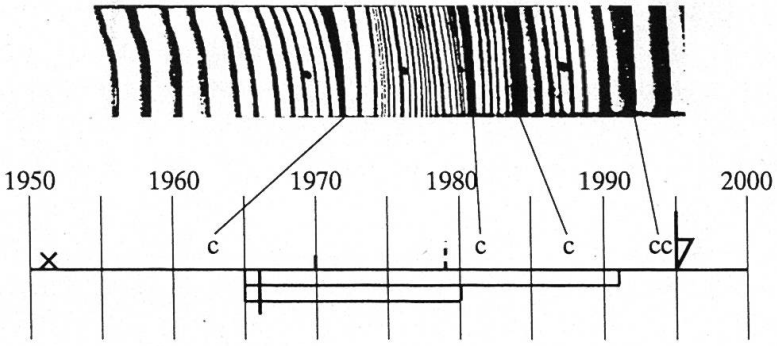


Abbildung 2c. Nadelbaum mit einer zweistufigen Zuwachsreduktionsphase, Ereignisjahren und Spätholzzonen mit Druckholz (c).

sen, wie viele Menschen zum Zeitpunkt x in Genf an Grippe erkrankt sind; die durchschnittliche Körpertemperatur jedoch ist unwichtig. Gleiches gilt für die Jahrringanalyse. Die Intensität eines Ereignisses ist von geringer Bedeutung, da die Merkmale innerhalb eines Stammes sehr variabel sind (*Abbildungen 1a–g*). Die Praxis des Skeleton plots ist in den *Abbildungen 2a–c* dargestellt.

Der erste Jahrring wird folgendermassen aufgezeichnet:
- • das Mark ist vorhanden,
- ○ das Mark ist nahe,
- x die zeitliche Stellung des Marks ist unbestimmbar.

Der letzte Jahrring hat folgende Symbole:
- ♭ lebender/toter Baum mit vollständig ausgebildetem Spätholz
- ⊬ lebender/toter Baum mit fehlendem oder unvollständigem Spätholz.

Ein Ereignisjahr wird zu Beginn, d.h. am linken Rande des Quadrats eingetragen. Die abrupte Zuwachsreduktion beginnt am linken Rande des Quadrats (Frühholz) und endet am rechten Rand (Ende Spätholz).

Die Intensität der Ereignisjahre wird mit Strichlängen von 1–5 Quadraten über oder unter der Mittellinie aufgetragen. Ein extrem auffallender Jahrring wird mit 5, ein eben noch gut erkennbarer mit 1 Quadrat vermerkt.

Für die Definition der Intensität der abrupten Zuwachsreduktionen wird die Periode mit den breitesten Jahrringen als Standard gewählt. Die leichteste Reduktion ist 40 bis 55%, die mittlere 56 bis 70 und die intensivste mehr als 70% geringer als die vorausgehende Periode.

Mit Histogrammen kann die Wirkung eines Ereignisses in einem Bestand dargestellt werden. Diese Zusammenfassungen werden als Masterplots bezeichnet (*Abbildung 3*).

Themen für die praktische forstliche Forschung

Bereits am Material von normalen Holzschlägen können eine Menge Fragen angeschnitten und zum Teil auch beantwortet werden. Wenn das Interesse tiefer geht, lässt sich an gezielt gewonnenem Material noch mehr aussagen. Im folgenden sind einige Themenkreise erwähnt, die allein anhand einfacher Beobachtungen und Jahrringzählungen bearbeitet werden können. Die folgenden Gedanken sollen darauf hinweisen, dass es sich auf alle Fälle lohnt, auf Stammquerschnitte zu achten.

Wann bilden sich denn die Jahrringe?

An jedem Baumquerschnitt kann festgestellt werden, ob die Jahrringbildung im Frühholz unterbrochen wurde oder ob das ganze Spätholz vorhanden

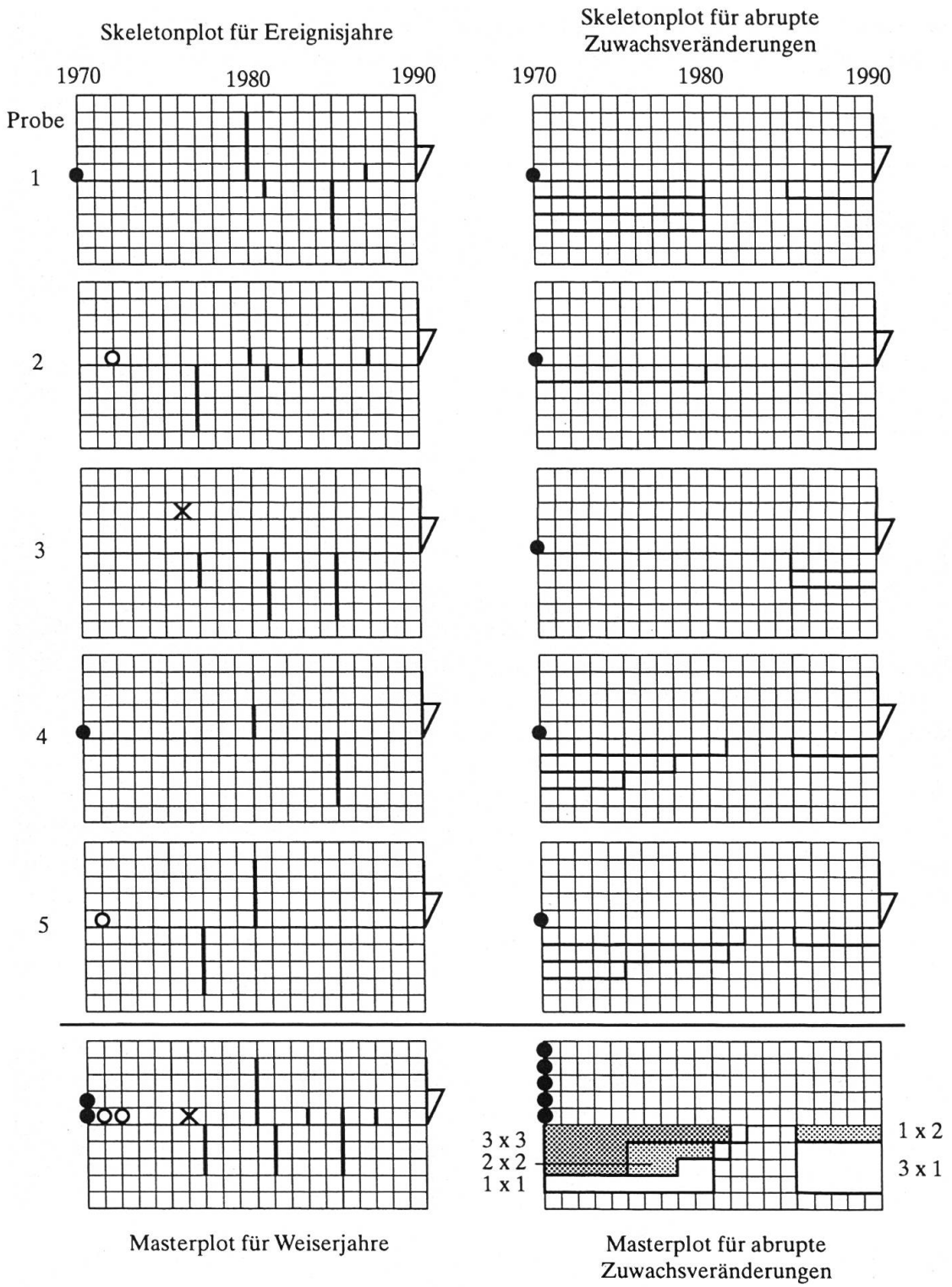


Abbildung 3. Zusammenfassung von Skeleton plots in Master plots. Im einfachsten Falle werden einfach die Ereignisjahre ohne Gewichtung zusammengezählt (linke Darstellung). Alle Ereignisse, die in über 40% der Bäume vorkommen, gelten als Weiserjahre. Bei den abrupten Zuwachsveränderungen (rechte Darstellung) wird alljährlich festgestellt, wieviele Bäume in einer Zuwachsreduktion stecken. Einfachheitshalber werden die intensiven Reduktionen innerhalb der leichteren aufgezeichnet.

ist. Bereits mit einer Handlupe ist zu erkennen, ob beispielsweise im Mai die Jahrringbildung am Stammfuss, in 4 m Höhe oder in den Ästen schon begonnen hat. Wir können uns auch die Frage stellen, wie eng der Zusammenhang zwischen Laubaustrieb und Zuwachs ist.

Wie erfüllen Bäume Schutzfunktionen im Gebirge?

Wie reagieren Bäume auf Lawinenniedergänge? Die Bäume entlang von Lawinencouloirs sind schiefgestellt, in der Krone und am Stamm verletzt (*Abbildung 1f*). Anhand des Druckholzes auf der belasteten Stammseite (*Abbildung 1d*), der abrupten Zuwachsreduktionen und der Stammverletzungen sind die den Baum beeinträchtigenden Ereignisse zu datieren.

Wie überleben die Bäume die Wirkungen des Kriechschnees? Die meisten Bäume an Hängen in Gebirgen weisen alphornförmige Stammbasen auf. Auf dem Querschnitt lässt sich erkennen, über welchen Zeitraum der Baum Druckholz ausbildete (*Abbildung 1d*). Das Ende der Druckholz-Bildungsphase gibt an, wann der Baum nicht mehr mechanisch gestresst war.

Wie reagieren Bäume auf schwere Nassschneelasten? Schief gedrückte oder halb niederliegende Nadelbäume zeigen auf der belasteten Seite Druckholz (*Abbildung 1d*). Der Beginn der Druckholzbildung gibt an, wann das Ereignis stattgefunden hat.

Wie häufig verletzen Steine die Bäume an Steilhängen und entlang von Runsen und wie überleben diese die Stammverletzungen? Anhand der Überwallungen kann die Häufigkeit der Ereignisse datiert und in Beziehung zu Stammfäulen gesetzt werden. Es ist sehr interessant zu sehen, dass verschiedene Arten unterschiedlich sensibel auf Fäulepilze reagieren und sich unterschiedlich vegetativ regenerieren. Aus der Anzahl der Jahrringe neu entstandener Triebe geht hervor, wann und wieviele Triebe nach einem Ereignis entstanden sind.

Wie reagieren die verbleibenden Bäume im Bestand oder am Bestandesrand auf Sturm- oder Brandereignisse? Die abrupten Zuwachsveränderungen besagen, ob der Baum in seiner Wuchskraft geschädigt worden ist oder ob er durch den vermehrten Lichtgenuss profitiert hat (*Abbildungen 1b* und *1c*). Das Alter der Jungbäume sagt aus, wie rasch die Regeneration erfolgte. Von Interesse ist sicher das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Baumarten an unterschiedlichen Standorten, z.B. auf Kreten oder in feuchten Senken.

Wie reagieren Bäume auf Hangrutschungen? An der äusseren Form der Bäume und der Gestalt der Bodenoberfläche lässt sich beurteilen, ob eine Rutschung stattgefunden hat. Die abrupt wechselnden Zuwachsverhältnisse (*Abbildung 1d*) sagen aus, wann die Rutschung erfolgte, zum Beispiel ein einmaliger, grosser Rutsch oder viele kleine, sich über längere Zeit erstreckende

Rutschungen, und wie lange die Bäume brauchten, um wieder ein Gleichgewicht zu finden.

Wie widerstehen die Bäume extremen Winden auf Kreten? Anhand der Stammquerschnitte ist zu erkennen, ob der Baum extrem einseitig gewachsen ist und ob er Reaktionsholz ausbildete (*Abbildung 1e*). Möglicherweise zeigt sich auch, wann heftige Windstösse den Baum aus dem Gleichgewicht gebracht haben.

Lassen sich extreme Windereignisse in abgelegenen Wäldern datieren? Wenn Bäume vom Sturm geworfen werden, bringen sie Nachbarbäume aus dem Gleichgewicht (*Abbildung 1d*). Im leichtesten Falle wird ein Baum schief gestellt. Der Beginn der Druckholzbildung gibt den Zeitpunkt des Ereignisses an. Oft werden kleinere Bäume niedergelegt. Der Beginn des Wiederaufrichtens lässt sich anhand der regelmässigen, zentrischen Jahrringbildung datieren. Oft lösen heftige Windstösse auch eine nur einjährige Druckholzbildung aus.

Wie gehen Bäume mit Erkrankungen um? Wie überleben Bäume die Schädigungen durch Tiere und Pilze?

Wie ist das Jahrringbild in einer vom Borkenkäfer befallenen Fichte? Anhand der äusseren Jahrringe ist festzustellen, ob normal gewachsene oder im Zuwachs reduzierte Bäume vorwiegend befallen wurden. Sind es wirklich die weniger vitalen Bäume, die befallen werden?

Wie äussert sich der Lärchenwicklerbefall in Jahrringen? Anhand periodisch wiederkehrender extrem schmaler Jahrringe lässt sich die Frequenz von intensiven Lärchenwicklerbefällen rekonstruieren. Es ist noch wenig bekannt über die standörtliche Variabilität des Befalls. Waren beispielsweise die Befälle in den 40er- und 80er Jahren in allen Höhenlagen an unterschiedlichen Standorten gleich stark? Ist denn ein Lärchenwicklerbefall im Rahmen von ein bis zwei Jahrhunderten gesehen überhaupt ein Schaden?

Hat der Schwammspinnerbefall im Tessin seine Spuren im Jahrringbild hinterlassen? Die Frage ist ungelöst und könnte leicht anhand allfällig auftretender extrem schmaler Ringe (*Abbildung 1a*) beantwortet werden.

Wie überleben die Bäume den Verbiss? Seit wann haben wir intensive Wildschäden in den Wäldern? Verbissschäden sind am Habitus der Pflanze leicht erkennbar. Anhand der Jahrringbreiten-Reduktion ist feststellbar, wann die Nadelmenge stark reduziert worden ist. Wenn das Wild auch Fegeschäden hinterlassen hat, kann anhand der Verletzungen bzw. der Überwallung das Datum des Ereignisses datiert werden (*Abbildung 1f*). In Gebieten mit vielen Ziegen ist anhand der Wundenüberwallungen genau festzustellen, wann die Verbissschäden am Stamm entstanden sind.

Wie intensiv sind Mäuseschäden an natürlichen Bestockungen oder an Pflanzungen? Die Überwallungen an der Basis der Pflanzen geben an, ob

Mäuse die Pflanze beschädigt haben. Anhand der Jahrringe im Überwallungswulst ist festzustellen, in welchem Jahr und während welcher Jahreszeit der Frass stattgefunden hat.

Wie überleben Bäume den Befall von Pilzen? Vor allem Jungpflanzen werden von Schneeschüttepilz (*Phacidium infestans*), Triebschütte (*Gremeniella* sp.) und Scheeschimmelpilz (*Herpotrichia nigra*) befallen. Einige Individuen überleben, andere sterben. Aus dem Jahrringbild ist zu erkennen, wann der Baum eine Zuwachseinbusse erlitten hat. Diese ist meistens in Zusammenhang mit dem Beginn des Befalls zu korrelieren. An toten Bäumen ist festzustellen, wie lange die Absterbephase dauerte und ob die Pflanze während oder nach der Vegetationsperiode abgestorben ist.

Wie entsteht ein Wald auf einer Brachlandfläche?

In den letzten 50 Jahren sind in der Schweiz in abgelegenen Gebieten (z.B. Tessin und Wallis) einige hundert Hektaren oder gar Quadratkilometer neuer Wald entstanden. Nachdem die Menschen die landwirtschaftlichen Flächen nicht mehr bewirtschafteten, eroberte sich der Wald das Land zurück. Aus den Jahrringen ist abzulesen, ob die Bäume Startschwierigkeiten im hohen Gras oder Adlerfarnbestand hatten oder ob die Regeneration problemlos erfolgte. Die abrupten Zuwachsreduktionen auf den Querschnittflächen der Bäume zeigen, welche Stellung der Baum in einem gewissen Zeitpunkt im Bestand hatte (*Abbildung 1c*).

Wie reagieren Bäume auf forstliche Eingriffe?

Wie haben Bäume Stammschäden überstanden oder repariert, die beim Rücken entstanden sind? Vor allem an den Stammfüssen sind die alten, überwallten Rückeschäden zu erkennen und zu datieren. Es ist leicht zu erkennen, ob sich die alte Wunde zu einer Fäule entwickelt hat. In jedem Forstbetrieb könnte festgestellt werden, ob die Fäulen standortsabhängig sind.

Wie haben Bäume die Futterlaubgewinnung durch Schneitelung überstanden? Während Jahrhunderten haben Menschen die Bäume als Futterpflanzen verwendet. Sie haben die Bäume, vorwiegend Eschen, im Spätsommer geschneitelt. In der Schweiz sind die missgeformten Eschen und Eichen noch heute zu erkennen. Im Jahrringbild zeigt sich die Reduktion der Krone durch eine abrupte, meistens andauernde Zuwachsreduktion im Stamm. An gefällten Bäumen kann die Häufigkeit und die Intensität der Futterlaubgewinnung rekonstruiert werden.

Wie wirkt sich eine Durchforstung auf den Zuwachs aus? An der basalen Scheibe grosser gefällter Bäume ist die Lebensgeschichte ablesbar. Wie ist der

Baum aufgewachsen, im Schatten eines Kronendachs oder freistehend? Im ersten Falle sind die reduzierte Zuwachsphase, der Beginn des Durchforstungseingriffes und die produktive Phase zu erkennen (*Abbildung 1c*). Oft weisen plötzlich auftretende Druckholzperioden (*Abbildung 1d*) und exzentrischer Wuchs (*Abbildung 1e*) auf veränderte Windeinflüsse nach Durchforstungen hin. Es ist auch der Frage nachzugehen, weshalb einzelne Bäume auf den Eingriff nicht reagiert haben.

Dickungspflege. Es ist erstaunlich, dass junge Laubhölzer überleben, wenn ihnen auf Brusthöhe die ganze assimilierende Krone abgeschnitten wird. Die im Stamm und der Wurzel vorhandenen Reserven genügen, um innerhalb weniger Wochen neue, begrünte Triebe auszubilden. Das radiale Stammwachstum erhält in solchen Situationen letzte Priorität. Die anatomische Struktur verliert ihre normale Gestalt und passt sich den Stressbedingungen an.

Niederwaldbewirtschaftung. Die Strünke reagieren ähnlich wie die Bäume bei der Dickungspflege. Aus dem Strunk entstehen viele Langtriebe. Einige sterben ab und nur wenige setzen sich durch. Auf den Querschnitten der toten Individuen ist der Konkurrenzdruck vor dem Absterben ersichtlich (*Abbildung 1b* unten). Die Querschnitte der überlebenden, in die Kronenschicht hinauf gewachsenen Triebe weisen sehr variable Jahrringabfolgen auf. Dies ist Ausdruck der Konkurrenzverhältnisse.

Wie reagieren Bäume auf extreme anthropogene Luftbelastungen?

Begasungsversuche in Klimakammern und Bäume in der Nähe von Aluminiumhütten und Schwefeldioxid emittierenden Quellen haben den Beweis erbracht, dass Bäume auf schwere Umweltbelastung reagieren. Aus Jahrringen von Bäumen im Bereich von diffusen, nicht extrem starken Belastungen ist die Schädlichkeit kaum abzulesen, weil normale Umweltfaktoren den Zuwachs stärker beeinflussen als die schädlichen Gase. Wohl lassen sich abrupte Zuwachsreduktionen vor dem Absterben erkennen, doch dies ist noch lange nicht der Beweis, dass die vermutete belastende Quelle den Baum zum Absterben gebracht hat.

Wie reagieren Bäume auf klimatische Ereignisse?

Mit der Feststellung und Datierung extremer Jahrringbreiten- und Spätholz-Ereignisjahre (*Abbildung 1a*), lässt sich oft eine Korrelation zum Klima herstellen. Grundlage für solche Vergleiche sind die Skeleton plots (*Abbildungen 2a–c*) verschiedener Bäume und meteorologische Aufzeichnungen aus der Nähe des Baumstandortes. Jahrringbreiten-Messreihen von Bäumen aus dem gemässigten Klima Mitteleuropas sind in ihrer Gesamtheit klimatologisch meistens nicht erklärbar.

In Bäumen des schweizerischen Mittellandes ist die Anzahl der Weiserjahre hoch, aber von Baumart zu Baumart recht verschieden. Wir wissen, dass verschiedenste klimatische Extreme das Wachstum einschränken, zum Beispiel ein kurzzeitiger Spätfrost im Mai, eine Trockenheit im Frühsommer oder eine solche im Spätsommer des vorausgehenden Jahres. Von besonderem Interesse sind die Trockenjahre 1947, 1949 und 1976 sowie der Kältewinter von 1956.

In Bäumen in Trockengebieten, z.B. Kiefern von Südhängen im Wallis, dürften die meisten Weiserjahre auf Sommertrockenheit zurückzuführen sein. Die Vermutung muss aber unbedingt nachgeprüft werden, denn da bestehen noch viele Unsicherheiten.

Nadelbäume in Hochlagen sollten theoretisch auf tiefe Sommertemperaturen reagieren. Die Jahrringbreiten tun dies in der Regel jedoch nicht. Einzig die unterschiedlich dunklen Spätholzzonen weisen auf Temperaturunterschiede hin. Besonders auffällig sind die Jahrringe 1912 und 1972.

Wie reagieren Bäume auf Konkurrenz?

An Querschnitten von dicht stehenden Bäumen nehmen die Jahrringbreiten mit zunehmendem Alter ab (*Abbildung 1b*). Zum kleinen Teil ist dies altersbedingt; in den meisten Fällen macht sich die Konkurrenz bemerkbar. Sehr oft geht der Zuwachs schrittweise (*Abbildung 1b*) abrupt zurück. Dies ist Ausdruck der Konkurrenz. Da in der Regel keine Beziehungen zu klimatischen Ereignissen herzuleiten sind, muss angenommen werden, dass irgendwann ein Faktor ins Minimum geraten ist, der bei der Jahrringbildung wichtig ist. Anhand von Baumquerschnitten lässt sich am Material von Durchforstungen feststellen, wann und wie intensiv sich die Konkurrenz auf den radialen Zuwachs auswirkte.

Die Beziehungen zwischen der Kronendichte und dem Zuwachs

Es gibt äusserst grosse Überraschungen, wenn wir den Zuwachs mit der Kronentransparenz in Beziehung setzen. Bäume mit dichten Kronen können sehr schmale und solche mit schütteren Kronen breite Jahrringe aufweisen. Oft wachsen alte, schüttere Bäume seit Jahrhunderten langsam, ohne dass sie in ihrer Vitalität geschwächt wären. Am besten sind derartige Beobachtungen an 4-Meter-Scheiben zu machen, denn hier sind keine Störungen des Wurzelanlaufs mehr vorhanden.

Die Beziehungen zwischen der Pflanzengesellschaft, der Bestandesform und dem Zuwachs

Pflanzensoziologische Karten bilden die Grundlage der modernen Waldbewirtschaftung. Es wäre interessant, an Stammscheiben zu untersuchen, ob

sich der Zuwachs bei dominanten und unterdrückten Bäumen aus verschiedenen Pflanzengesellschaften unterscheidet und ob die Sensibilität aller Individuen in allen Beständen gleich ist. Anhand der Häufigkeit der Weiserjahre ist diese Frage zu beantworten.

Eine Ausstellung von Baumquerschnitten weckt das Verständnis für den Wald

Durchforstungen liefern eine Fülle von interessantem Material. Geschliffene, beschriftete Stammscheiben wecken das Interesse der meisten Besucher auf dem Forstamt. Vielleicht ist auch die Lehrerschaft bereit, im Rahmen einer Kurswoche oder eines Waldbesuches im Schulhausgang eine Ausstellung schöner und interessanter Scheiben aufzuhängen.

Die WSL gibt gerne Auskunft

Gewiss, es werden Fragen auftauchen. Wir sind gerne bereit, diese zu beantworten oder gar im Rahmen eines Kurses an Ort und Stelle zu erläutern.

Zusammenfassung

Es gibt keinen anderen Organismus als den Baum, der in Form von Jahrringen die Vergangenheit kalendergenau aufzeichnet. Archäologen verwenden die Jahrringe, um historische und archäologische Bauten der letzten 6000 Jahre genau zu datieren, und Physiker bestimmen die Isotopengehalte in der Zellulose und rekonstruieren damit die Intensität des Erdmagnetfeldes und des Sonnenwindes. Der praxisorientierte Förster kann mit dem Lesen der Jahrringe viele Fragen klären, denen er tagtäglich begegnet. Die Wirkungen des Schnees, der Pilze, Insekten und Nager, des Feuers und Windes, der forstlichen Eingriffe und des Klimas zeigen sich auf Stammscheiben oft als langandauernde oder einjährige abrupte Wachstumsveränderungen in Form von Reaktionsholzzonen oder Verletzungen.

Résumé

Les cernes annuels, un thème de la recherche forestière

Il n'existe aucun autre organisme que l'arbre qui inscrit le passé, année après année, sur la ligne de ses cernes. Les archéologues utilisent les cernes annuels pour dater les structures historiques ou archéologiques des six derniers millénaires. Les physiciens

s'en servent pour déterminer les isotopes dans la cellulose, ce qui leur permet de reconstruire l'intensité du champ magnétique terrestre et du vent solaire. Les forestiers trouvent dans les cernes la réponse à nombre de questions auxquelles ils sont quotidiennement confrontés. Les effets de la neige, des champignons, des insectes et des rongeurs, du feu et du vent, des interventions sylvicoles et du climat se remarquent sur les rondelles de troncs où apparaissent des zones de bois de réaction ou des blessures qui trahissent souvent des modifications lentes ou subites de la croissance de l'arbre.

Summary

Tree rings, a topic of practical forestry research

No other organism but the tree provides a chronologically accurate record of the past in the form of growth rings. Archeologists use growth rings to date precisely buildings erected in the past 6000 years and physicists determine the isotope content of the cellulose in the rings to reconstruct the intensity of the earth's magnetic field and the solar wind. The practical forester can use tree rings to find the answers to many of the questions with which he is confronted every day. The effects of snow, fungi, insects and rodents, of fire and wind, forest operations and the climate are often manifested in stem discs as long-lasting growth changes or abrupt ones lasting only one year in the form of zones of reaction wood or wounds.

Literatur

Baillie, M.G.L. (1982): Tree-Ring Dating and Archaeology. London, Croom Helm. 274 S.

Baillie, M.G.L. (1995): A Slice Through Time; Dendrochronology and Precision Dating. London, Batsford Ltd. 176 S.

Becker, B., Billamboz, A., Egger, H., Gassmann, P., Orcel, A., Orcel, C., Ruoff, U. (1985): Dendrochronologie in der Ur- und Frühgeschichte. Die absolute Datierung von Pfahlbausiedlungen nördlich der Alpen im Jahrringkalender Mitteleuropas. Antiqua 11. Jahrb. Schweiz. Ges. Ur-Frühgesch. 68 S.

Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (eds) (1990): Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht, Kluwer. 394 pp.

Fritts, H.C. (1976): Tree Rings and Climate. London, Academic Press. 567 pp.

Jones, P.D., Bradley, R.S., Jouzel, J. (eds) (1996): Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. NATO ASI Series; Global Environmental Change, vol. 41. Berlin, Springer. 649 pp.

Kaennel, M., Schweingruber, F.H. (Compilers) (1995): Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Haupt. 467 S.

Schweingruber, F.H. (1983): Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern, Haupt. 234 S.

Schweingruber, F.H., Schoch, W. (1992): Holz, Jahrringe und Weltgeschehen. Herausgeber Lignum. Baufachverlag Dietikon 1435.

Schweingruber, F.H. (1993): Trees and Wood in Dendrochronology. Morphological, Anatomical, and Tree-Ring Analytical Characteristics of Trees Frequently Used in Dendrochronology (Springer Series in Wood Science). Berlin/Heidelberg, Springer. 402 S.

Schweingruber, F.H. (1993): Jahrringe und Umwelt – Dendroökologie. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 474 S.

Shigo, A.L. (1989): A New Tree Biology: Facts, Photos, and Philosophies on Trees and their Problems and Proper Care. 2nd edition. New Hampshire, Shigo & Trees. 618 S.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser:
Prof. Dr. Fritz H. Schweingruber, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.