

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	130 (1979)
Heft:	12
Artikel:	Auswirkungen des Lärchenwicklerbefalls auf die Jahrringstruktur der Lärche
Autor:	Schweingruber, F.H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-764785

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: 07.01.2026

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

Auswirkungen des Lärchenwicklerbefalls auf die Jahrringstruktur der Lärche

Ergebnisse einer Jahrringanalyse mit röntgendiffraktometrischen Methoden

Von F. H. Schweingruber

Oxf.: 561.24 : 145.7

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf)

1. Problemstellung

Die Jahrringanalyse mit röntgenanalytischen Methoden eröffnet neue Möglichkeiten für klimageschichtliche Untersuchungen. So konnte gezeigt werden, dass die Spätholzdichte normal wachsender Nadelbäume aus der subalpinen Stufe des gesamten Alpenraumes in übereinstimmender Weise von makro-klimatischen Faktoren abhängt (Schweingruber und Schär 1976, Schweingruber et al. 1978).

Für dendroklimatologische Arbeiten im Wallis bietet an und für sich die Lärche (*Larix decidua* L.) günstige Voraussetzungen, da Lärchenholz in dieser Gegend als Baumaterial bevorzugt wird und zudem Lärchenstämme aus dem ganzen Holozän in Mooren und in Moränen abgelagert sind (Röthlisberger 1976). Gegen die Verwendung der Lärche als Indikator klimatischer Veränderungen sprechen jedoch die Ergebnisse entomologischer und forstlicher Untersuchungen über die Auswirkungen der periodischen Massenvermehrungen des Grauen Lärchenwicklers (*Zeiraphera diniana* Gn.) auf die Entwicklung der Lärchen (Auer 1975, Geer 1975, Baltensweiler 1978, Baltensweiler et al. in Vorbereitung). Es liegt daher nahe, unter Anwendung der röntgenanalytischen Methode folgende Fragen abzuklären:

- a) Können Jahrringabfolgen mit nachweisbaren Lärchenwicklerschäden noch zur Synchronisation (Datierung) verwendet werden?
- b) Enthalten Jahrringe von Lärchen im Verbreitungsgebiet des Grauen Lärchenwicklers standortkundliche und klimatologische Informationen?
- c) Eignen sich die Verfahren der radiodensitometrischen Jahrringanalyse zur Untersuchung der Populationsdynamik des Grauen Lärchenwicklers und zur nachträglichen Erfassung der aus dem Massenbefall resultierenden forstlichen Folgeschäden?

2. Material

Die vorliegende Untersuchung stützt sich vornehmlich auf Proben aus dem Wallis, wobei Bohrkerne aus lebenden Bäumen und aus verbauten, dendrochronologisch datierbaren Balken verwendet worden sind. In ihrer Zusammensetzung weist die untersuchte Stichprobe eine gewisse Zufälligkeit auf, was zu einer zurückhaltenden Interpretation der Untersuchungsbefunde zwingt.

3. Methode

Für Einzelheiten der radiodensitometrischen Untersuchungstechnik wird auf frühere Arbeiten verwiesen (*Polge 1963, Lenz et al. 1976, Bräker et al. 1978, Schweingruber und Fritts 1979*).

In der vorliegenden Untersuchung werden die Auswirkungen des Lärchenwicklerbefalles auf die beiden kennzeichnenden Messgrößen «Jahrringbreite» und «maximale Dichte des Spätholzes» diskutiert.

4. Ergebnisse

4.1 Auswirkungen des Lärchenwicklerbefalls auf den Jahrringbau

4.1.1 Das Schadenbild in der Dichtestruktur der Jahrringe

Wie schon wiederholt festgestellt worden ist (Auer 1975, Geer 1975), lassen sich die Gipfel der Lärchenwicklergradationen im Jahrringbau ohne Schwierigkeiten nachweisen. Bereits an angewitterten Stirnseiten verbauter Balken treten die Veränderungen — vor allem, wenn sie regelmässig auftreten — ausgeprägt in Erscheinung (Abbildung 1).

In der kontinuierlichen Aufzeichnung der Schwärzungsdichte in Röntgenaufnahmen bzw. der Holzdichte und der anatomischen Struktur der Jahrringe sind die Schadenphasen sehr deutlich am reduzierten radialen Zuwachs wie auch in der Zellwanddichte zu erkennen (Abbildung 2).

Werden Bäume regelmässig stark geschädigt, so zeichnen sich die Schadenzyklen in allen Parametern der Jahrringanalyse ab; selbst die minimale Dichte des Holzes liegt in Schadenjahren tiefer als in Normaljahren (Röthlisberger 1976).

Periodisch auftretende Schadenmuster können zur Synchronisation bzw. zur Datierung der Proben in seltenen Fällen gute Dienste leisten. Für Rückschlüsse auf die Witterungsverhältnisse der einzelnen Vegetationsperioden bieten jedoch Stammquerschnitte mit Lärchenwicklerschäden denkbar ungünstige Voraussetzungen, da sich im vermindernten Zuwachs nur die herabgesetzte Vitalität des Baumes, nicht aber die witterungsbedingte Wuchsleistung spiegelt (Abbildung 3).

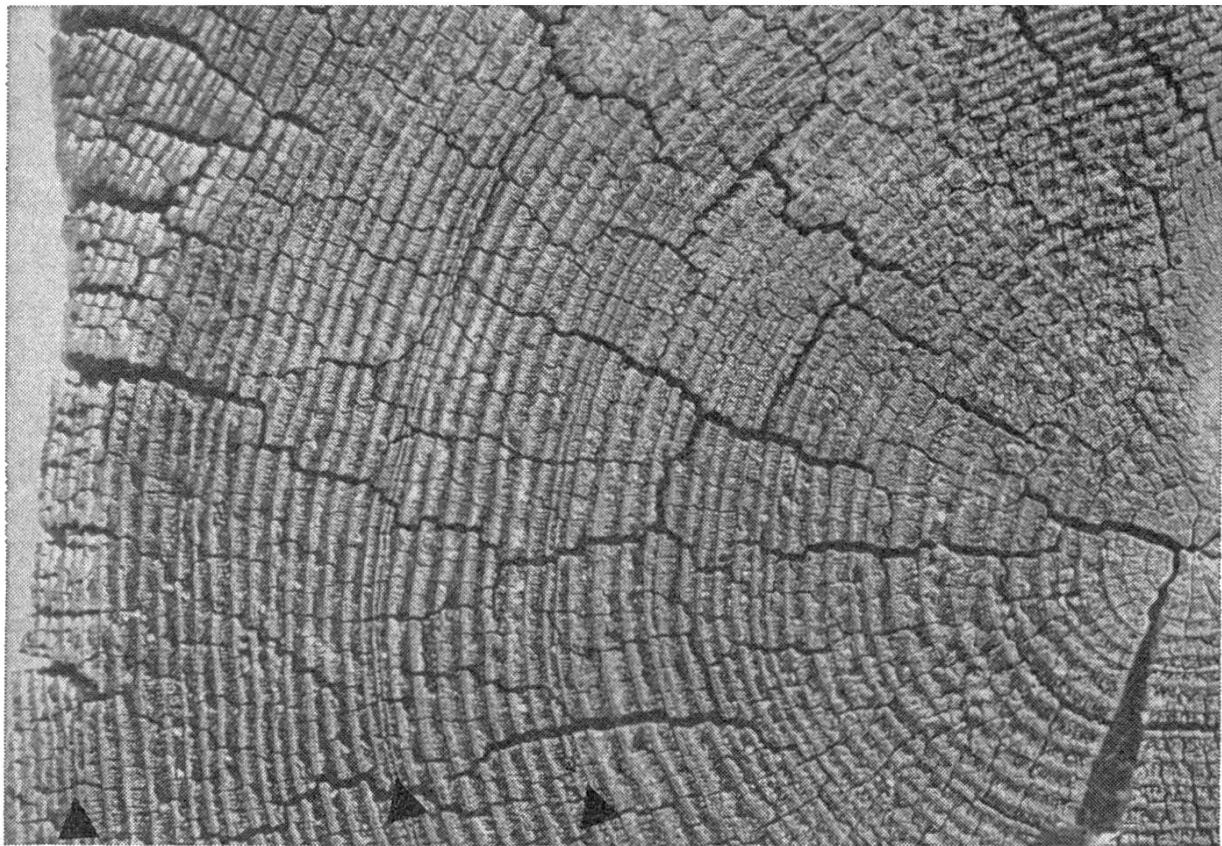


Abbildung 1. Stirnseite eines angewitterten Lärchenbalkens mit Schäden des Grauen Lärchenwicklers (Pfeile) aus einem Hause des 18. Jahrhunderts von Bratsch im Wallis.

Im Einzelfall prägt sich die Schädigung im Jahrringbild sehr verschieden aus (Abbildung 4). Sie reicht von einer leichten Zuwachsverminderung im Frühholz über ein deutliches Absinken der Jahrringbreite und der maximalen Dichte bis zum Ausfall eines Jahrringes, wobei sich die anschliessende Erholungszeit über mehrere Jahre erstreckt. Oft hält es schwer, anhand der Jahrringabfolge zu entscheiden, ob ein Baum während zwei aufeinanderfolgenden Jahren einem Massenbefall des Lärchenwicklers ausgesetzt war oder ob eine sehr starke Schädigung im ersten Jahr zu nachwirkenden Wachstumsstörungen im Folgejahr geführt hat. Diese Unsicherheit in der Deutung der Schadenmuster führt dazu, dass eine einwandfreie Erfassung der Schadenjahre nur dann möglich ist, wenn die Jahrringabfolgen mehrerer Lärchen des gleichen Standortes unter sich und mit Bäumen verglichen werden können, die nicht vom Lärchenwickler geschädigt worden sind. Schwierigkeiten bereitet die Datierung von Lärchenwicklergradationen an Lärchen suboptimaler Standorte, wie etwa von Bäumen aus der Zone der oberen Waldgrenze oder von Standorten in der Föhrenzone. Zur Erfassung der Schadenphasen in hohen Lagen eignen sich Vergleiche mit Stammquerschnitten der Fichte; so konnten für Vergleiche mit den Lärchenproben aus dem Wallis die Dichtekurven der Fichten aus Lauenen im Berner Oberland herangezogen werden (Abbildung 5).

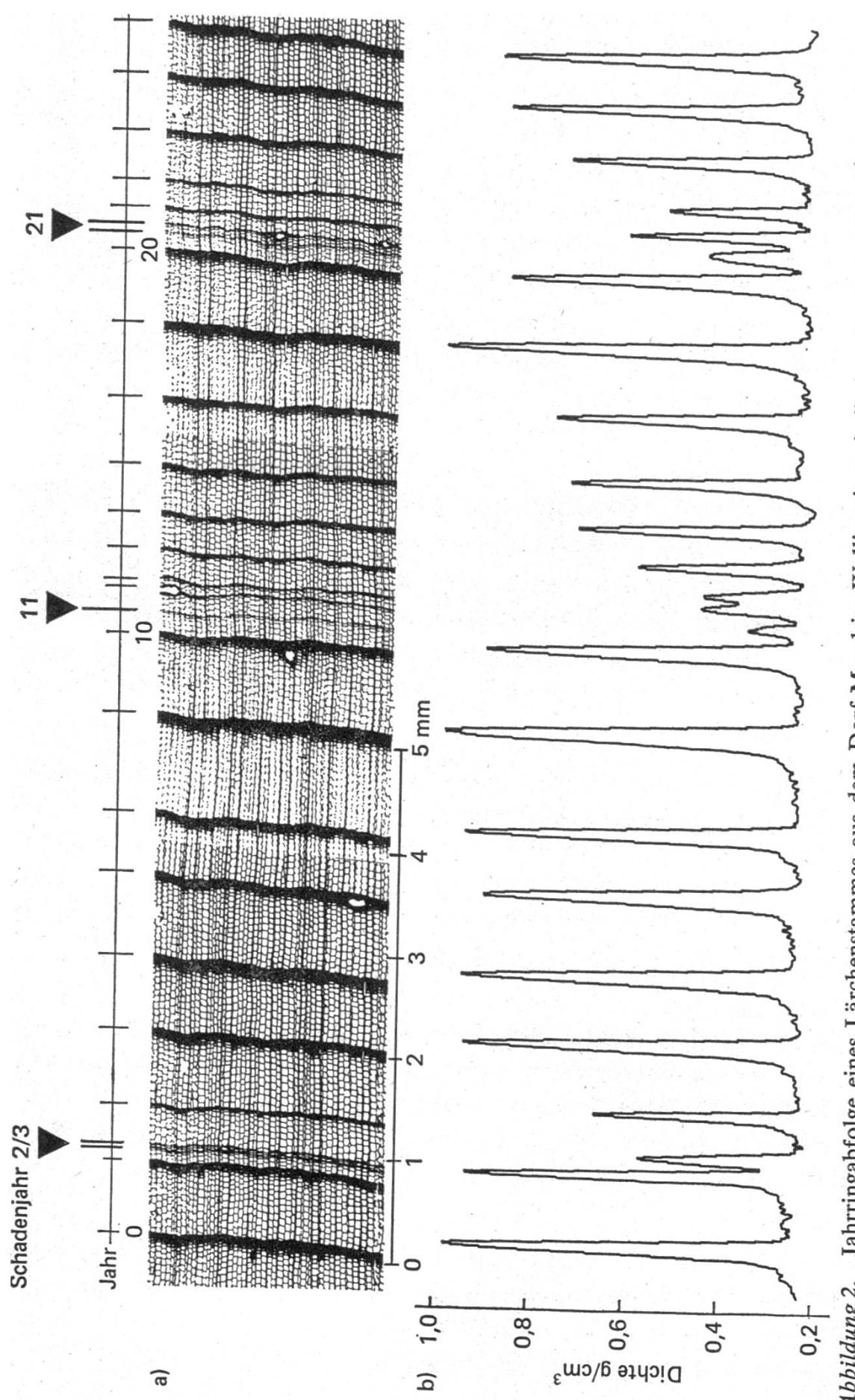


Abbildung 2. Jahringabfolge eines Lärchenstammes aus dem Dorf Mund im Wallis mit periodisch auftretenden Wachstumsstörungen als Folge eines regelmässig wiederkehrenden Massenbefalles durch den Grauen Lärchenwickler im 13. Jahrhundert.
 Die befallenen Stellen sind nicht regelmässig geschädigt; der Intervall bleibt sich \pm gleich!
 a) Mikrobild b) Dichtediagramm

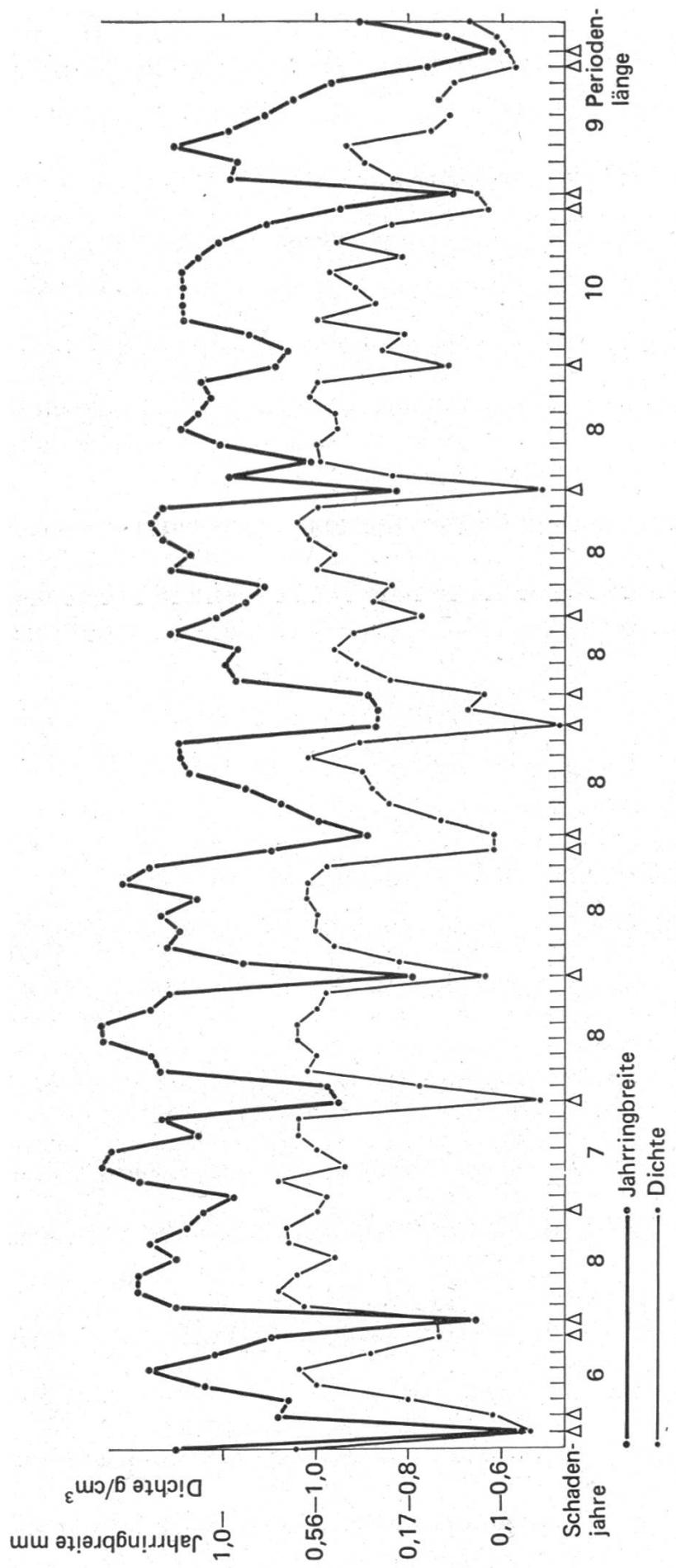


Abbildung 3. Jahrringuntersuchungen an einem verbaute Lärchenstamm aus der Gemeinde Mund im Wallis. Der für die Untersuchung ausgewählte Teil des Stammes stammt aus der Zeit zwischen Ende des 13. und Mitte des 14. Jahrhunderts. In beiden Diagrammen (Jahrringbreite beziehungsweise grösste Dichte im Spätholz) zeichnen sich periodisch wiederkehrende Wachstumsstörungen in zeitlichen Folgen von 6 bis 10 Jahren ab, die auf die Schädigung des Baumes durch den zyklischen Massenwechsel des Grauen Lärchenwicklers zurückgeführt werden.

Jahrringabfolgen von Lärchen trockener Lagen lassen sich in zweckmässiger Weise mit Dichtekurven der Föhren benachbarter Standorte vergleichen.

4.1.2 Das Schadenmuster im mikroskopischen Bild

Noch differenzierter als in den Verlaufskurven der röntgendiffusionsmetrischen Jahrringanalyse zeichnen sich Schädigungen des Baumes durch starken Lärchenwicklerbefall im mikroskopischen Bild der Jahrringe ab (Abbildungen 6a—c).

Im Schadenjahr ist die Zahl und die Grösse der Frühholzzellen reduziert. Das Spätholz besteht nur noch aus einer einzigen Reihe tangential abgeflachter Zellen; der Spätholzanteil sinkt dadurch von etwa 20 % auf 10 % ab. Ausserdem sind die Zellwände kaum verdickt.

Im folgenden Jahr sind die Wände der Spätholzzellen zwar wieder von normaler Dicke, während die Zahl und die Grösse der Spätholzzellen etwa gleich bleibt wie im Schadenjahr. Aus technischen Gründen zeichnet sich der mikroskopisch erfassbare Unterschied zwischen den beiden Jahren im Dichtediagramm nicht ab.

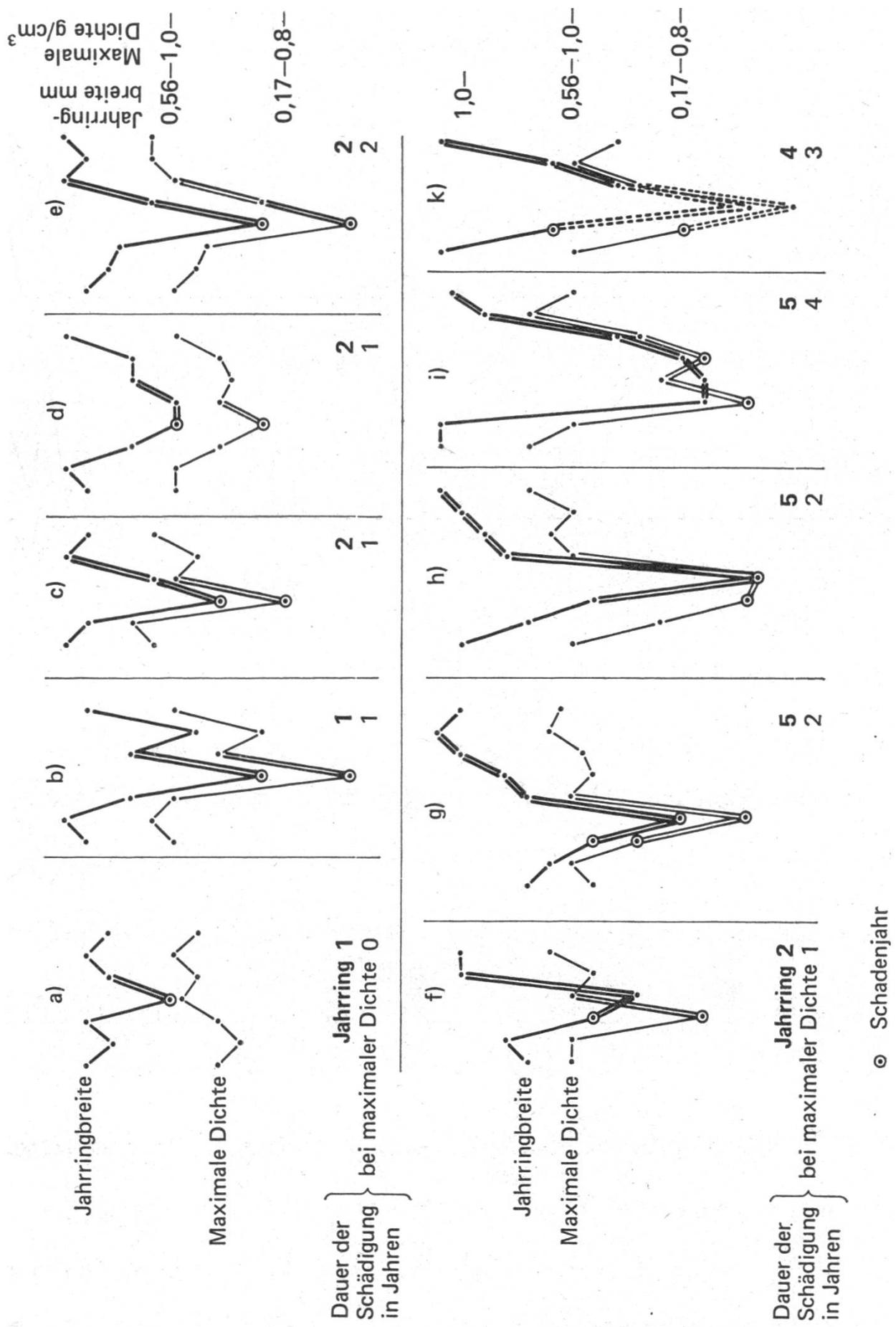
Abbildung 4. Verschiedenartige Schadenmuster in der Jahrringabfolge bei Befall der Lärche durch den Grauen Lärchenwickler.

a—f: Nur ein Schadenjahr

- a: Leichter Schaden in Jahrringbreite. Keine Reaktion in der maximalen Dichte.
- b: Im Schadenjahr sind sowohl Jahrringbreite wie maximale Dichte des Spätholzes vermindert. Im Folgejahr weist der Baum wieder normalen Zuwachs und normale Spätholzdichte auf.
- c/d: Das kambiale Dickenwachstum ist während zwei Jahren vermindert, während sich die Spätholzdichte im zweiten Jahr bereits wieder normalisiert hat.
- e: Die Schädigung der Lärche lässt sich an der Verminderung der Jahrringbreite und der maximalen Spätholzdichte während zwei aufeinanderfolgenden Jahren nachweisen.
- f: Schwächung der kambialen Aktivität. Die geringste Jahrringbreite zeigt das Folgejahr; die maximale Dichte ist bereits wieder normal.

g—k: Vermutlich zwei Schadenjahre

- g/h: In der Jahrringbreite wie in der maximalen Dichte zeichnet sich im zweiten Jahr eine deutlich verstärkte Schädigung des Baumes ab. Die kambiale Aktivität bleibt während weiteren drei Jahren geschwächt.
- i: Eine heftige Attacke über drei Jahre wird von einer mehrjährigen Regenerationsperiode mit allmählich zunehmender Jahrringbreite und wachsender maximaler Dichte gefolgt.
- k: Als Folge einer heftigen Attacke unterbleibt die Bildung eines Jahrrings; die Regeneration zieht sich über einige Jahre hin.



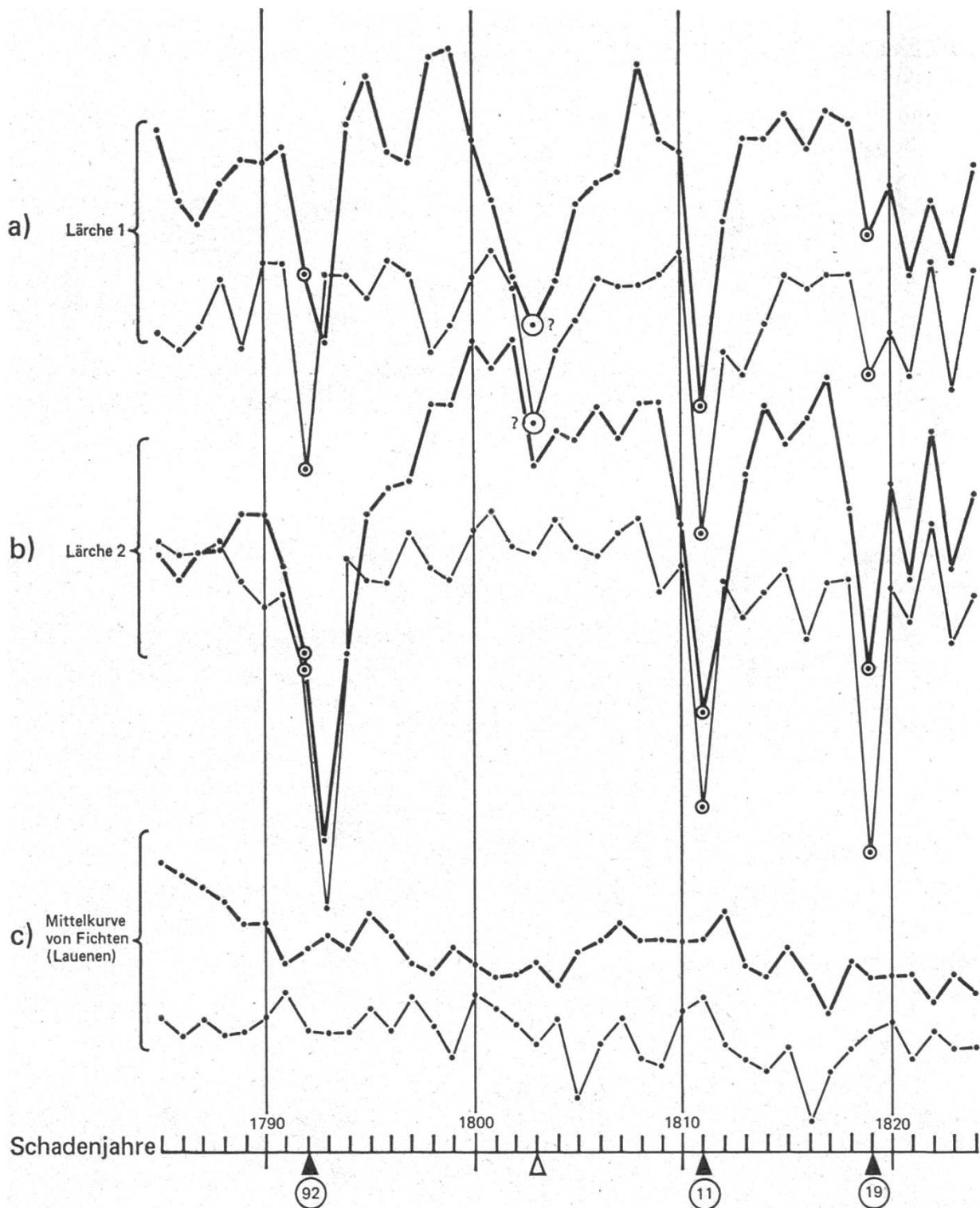


Abbildung 5. Synchronisation von Jahrringabfolgen aus Stammquerschnitten geschädigter Lärchen durch Vergleich mit Jahrringabfolgen der Fichte.

- a: Jahrringabfolge der Lärche 1 aus einem Altbestand bei Münster im Goms
- b: Jahrringabfolge der Lärche 2 aus einem Altbestand bei Münster im Goms
- c: Jahrringabfolge der Fichte (Mittelwerte) aus einem Bestand von Lauenen im Berner Oberland

Kreis mit Punkt: Schadenjahr. ►

Sollte die Lärche in zwei aufeinanderfolgenden Jahren geschädigt werden, so lässt sich annehmen, dass auch im zweiten Jahr die Verdickung der Zellwände im Spätholz unterbleibt. Damit kann vermutlich die mikroskopische Untersuchung der Jahrringe eine Differenzierung der beiden Schadenmuster

- Schädigung in zwei aufeinanderfolgenden Jahren
- Schädigung im ersten Jahr, Nachwirkungen im zweiten Jahr erlauben.

4.2 Ökophysiologische Ursachen der Jahrringveränderungen

Ganz allgemein wird das Wachstum der Lärche durch das mannigfaltige Wechselspiel der Standort- und Witterungseinflüsse während der Vegetationsperiode bestimmt. Ein starker Befall durch den Lärchenwickler setzt die physiologische Aktivität des Baumes herab, wobei je nach Zeitpunkt und Intensität der Parasitierung die Jahrringbreite und die Zellwanddichte auf verschiedene Weise betroffen werden.

Noch ist es nicht möglich, das Zusammenspiel der massgebenden Faktoren zu überblicken, die in ihrem Ineinandergreifen zur Ausprägung kennzeichnender Schadenmuster in der Jahrringabfolge führen. Immerhin lassen sich einige Zusammenhänge vermuten, die aber noch einer eingehenden Klärung durch weitere Untersuchungen bedürfen:

- Bei der Jahrringbildung hängen Zellenzahl, Zellengrößen und Zellwanddicken von der Menge der eingelagerten Nährstoffe im Stamm ab, deren Mobilisierung von der Lufttemperatur zu Beginn und während der Vegetationsperiode beeinflusst wird.
- Die Entwicklung des Lärchenwicklers ist in allen Stadien sehr stark von der Temperatur abhängig (Maksymov, 1959). Aus diesem Grunde bewirken die grossen örtlichen Temperaturunterschiede in der Zone des subalpinen Strahlungsklimas lokal — aber auch innerhalb des gleichen Baumes — stark wechselnde Zusammensetzungen der verschiedenen Ent-

Die Synchronisation der Jahrringabfolgen der Einzelbäume (a,b) und die Datierung der Schadenjahre mit Schädigung durch den Grauen Lärchenwickler gelingt nur, wenn die zeitliche Zuordnung eines langjährigen Ausschnittes einigermassen bekannt ist und zudem kennzeichnende Sequenzen in den ungestörten Zwischenjahren der zyklischen Lärchenwicklergradation auftreten.

Im ausgewählten Beispiel wird der Zeitabschnitt 1785—1824 verglichen. Beide Lärchen sind 1792/93, 1811 und 1819 geschädigt worden; im Jahre 1803 lässt sich nur im Stammquerschnitt der ersten Lärche eine Schädigung nachweisen, während die zweite Lärche kaum betroffen wird. Für die Synchronisation der Jahrringabfolgen bietet die auffällige Sequenz der Jahre 1820—24 eine günstige Vergleichsmöglichkeit.

Die starke Störung des Dickenwachstums der Lärche bei Befall durch den Lärchenwickler erlaubt keine klimatologische Interpretation der Jahrringabfolgen a und b.

wicklungsstadien des Insektes. Die Unterschiede treten vor allem auch deshalb in Erscheinung, weil die Raupen des Lärchenwicklers im allgemeinen ortstreu sind.

Je nach Temperaturverlauf im Verlaufe des Frühlings und Frühsommers und je nach der Exposition und Höhenlage der Lärchenbestände fällt die Phase der Schädigung (Larven des 4. und 5. Stadiums) mit der Bildung des Frühholzes oder mit dem Beginn der Spätholzentwicklung zusammen (Tabelle 1).

Fall 1: Verliert die Lärche zur Zeit der *Frühholzbildung* einen grossen Teil ihrer Nadeln, so wird nur eine schmale Frühholzzone ausgebildet. Mit der Verpuppung der Raupen findet die mehrwöchige Schädigungsphase ihren Abschluss. Während des Hochsommers treiben nochmals neue Nadeln aus, wobei deren Bildung vorwiegend über die Mobilisierung von Reservestoffen aus dem Vorjahr ermöglicht wird. Nach dieser Regeneration der Nadeln steigt die Photosyntheseleistung wieder an; die verbesserte Stoffwechselaktivität erlaubt die Entwicklung einer Spätholzzone reduzierter Dichte. Der Verbrauch der Reservestoffe für den Aufbau einer zweiten Nadelgeneration im Schadenjahr führt im Folgejahr zu einer Reduktion des Frühholzzuwachses. Tritt im zweiten Jahr keine weitere Schädigung mehr auf, so entwickelt die Lärche in der Regel eine normale Spätholzzone.

Fall 2: Einen ganz anderen Verlauf nimmt die Entwicklung, wenn die Krone zur Zeit der beginnenden *Spätholzbildung* geschädigt wird. In diesem Falle ist das Frühholz noch normal ausgebildet. Die geschädigte Lärche vermag den Nadelverlust nicht mehr auszugleichen und zehrt deshalb im Spätsommer und Herbst von den Reserven des Vorjahres und des Frühsommers. Die Photosyntheseleistung bleibt gering; das Spätholz weist nur eine geringe Dichte auf. Im folgenden Frühjahr werden aus Mangel an Reservestoffen Nadeln geringer Grösse ausgebildet; Photosynthese und Stoffwechsel bleiben aus diesem Grunde gering. Die Frühholzentwicklung ist bescheiden, während im Zuge der allmählichen Erholung zumeist eine normale Spätholzzone ausgebildet wird.

4.3 Die Variabilität der Schadenmuster in Baum, Bestand und Region

4.3.1 Variabilität des Schadenmusters innerhalb des Einzelbaumes

An Proben aus Münster (Wallis) ist festgestellt worden, dass bei starker Schädigung durch den Lärchenwickler die typischen Veränderungen der Jahrringe in Bohrkernen aus gegenüberliegenden Sektoren des Stammquerschnittes auftreten. Bei leichteren Schäden kommt es aber vor, dass ein Jahrring an der einen Stelle des Stammes Schadenmerkmale aufweist, während er in einem anderen Sektor des Querschnittes normal ausgebildet ist. Bei Untersuchung eines Stammes auf Lärchenwicklerschäden sollten daher stets mehrere Proben von verschiedenen Stellen analysiert werden.

Tab. 1 Entwicklung des Schadenmusters bei frühzeitigem oder spätem Lärchenwicklerbefall



Der im Schema gezeigte Ablauf ist nur gültig, wenn folgende Annahmen getroffen werden:

- Das Alter und die Vitalität der am gleichen Standort stehenden Lärchen sind gleich.
 - Die Baumkronen werden in beiden Fällen gleichermassen von den Frassschäden des Lärchenwicklers betroffen.
 - Die klimatischen Bedingungen sind in beiden Vegetationsperioden gleich.
 - Die Frühholzzellen werden aus Reservestoffen gebildet.
 - Die Spätholzzellwände sind das Produkt der photosynthetischen Aktivität des Baumes während der Bildungsphase.

4.3.2 Variabilität des Schadenmusters zwischen Lärchen des gleichen Bestandes

Untersucht man Proben einer grösseren Zahl von Lärchen eines eng begrenzten, nur wenige Arealen umfassenden Standortes mit den Methoden der Jahrringanalyse, so kann aus dem Anteil der Bäume mit Schadenmustern aus gleichen Jahren in grober Weise auf die Intensität des Lärchenwicklerbefalles geschlossen werden. Bei diesem Vorgehen wird nur festgestellt, ob ein bestimmter Jahrring in einem Bohrkern als «geschädigt» oder «nicht geschädigt» zu bezeichnen ist. Wie am Beispiel Münster im Goms gezeigt werden kann (Abbildungen 5 und 7), führt dieses statistische Verfahren zu vielversprechenden Ergebnissen, lassen sich doch aus den Resultaten einer derartigen Untersuchung im jahrhundertealten Periodismus der Lärchenwicklerentwicklung Phasen mit stärkeren oder schwächeren Schadenfolgen feststellen.

Der Bestand und das Holz weisen folgende Charakteristika auf:

Münster, Goms, 1400 m ü. M., Koordinaten 663 275/149 000

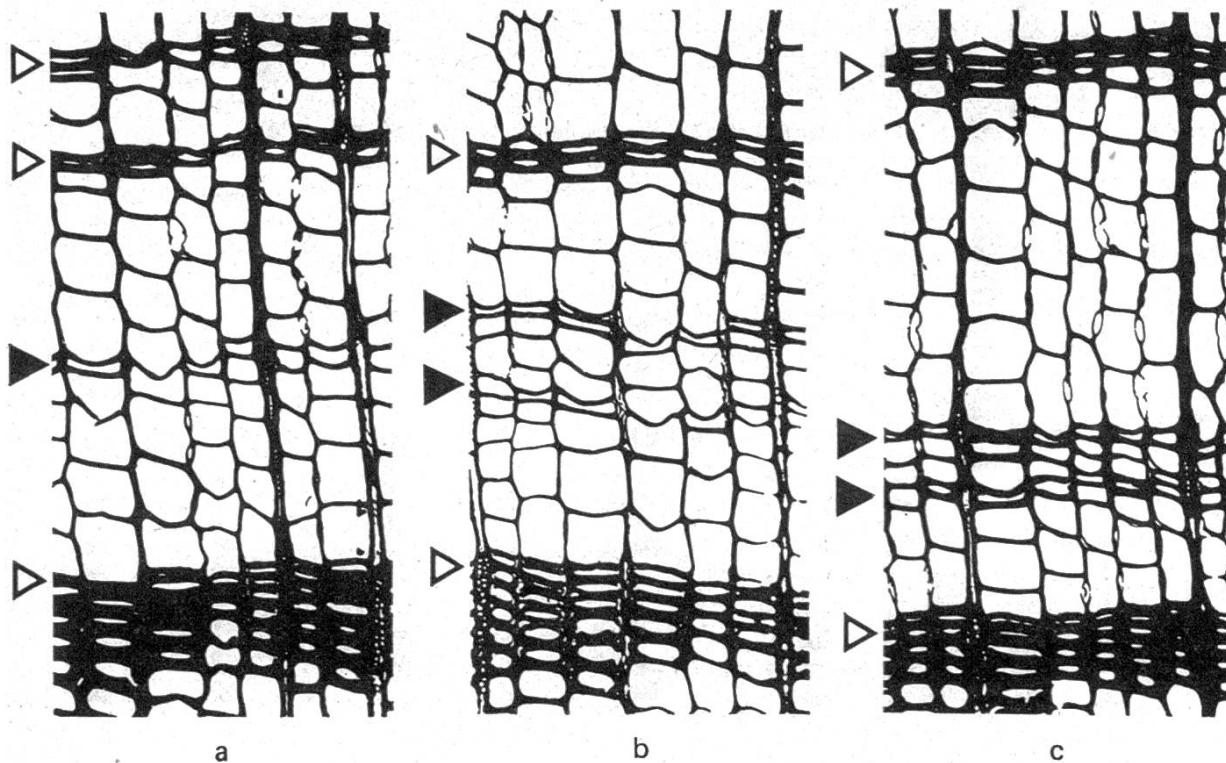


Abbildung 6. Mikroskopische Bilder von Jahrringen, die infolge Lärchenwicklerfrassschäden abweichende anatomische Eigenheiten aufweisen.

- a: Jahrringabfolge mit vermutlich nur einer Schadenphase (schmale Jahrringe, geringer Spätholzanteil, geringe Spätholzdichte in einem Jahrring).
- b/c: Jahrringabfolge mit vermutlich zwei Schadenphasen (schmale Jahrringe, geringe Spätholzdichte in zwei Jahrringen).
- △ Normal ausgebildete Spätholzzellen
- ▲ Spätholzzellen mit reduzierter Zellwandbreite

Homogener nordexponierter Hang (30—35°), Braunerde, Gneis, Fläche 12 a
 Ehemalige Waldweide, *Trisetum flavescentis*
 12 Bäume, 12 Bohrkerne, alle Bäume älter als 200 Jahre
 Befallsperioden deutlich

Charakteristikum: Alte Bäume mit schmalen Jahrringen, geringem Spätholzanteil und leichtem Frühholz.

<i>Zuwachs</i>	<i>Durchschnitt</i>	<i>Extreme ganzer Bohrkerne</i>
Jahrringbreite	0,87 mm	(0,59—1,29) mm
Spätholzanteil	23,8 %	(14—30) %
Maximale Dichte	1,01 g/cm ³	(0,91—1,07) g/cm ³
Minimale Dichte	0,23 g/cm ³	(0,21—0,27) g/cm ³

4.3.3 Variabilität der Schadenmuster an Lärchen verschiedener Standorte der gleichen Region

Wertvolle Anhaltspunkte über die Möglichkeiten der Jahrringanalyse zur Erfassung periodisch wiederkehrender Schädigungen der Lärche bietet eine vergleichende Untersuchung mehrerer Lärchenbestände aus verschiedenen Gebieten der gleichen Region (Abbildungen 7, 8 und Tabelle 2).

Tabelle 2. Standorte der untersuchten Lärchen (siehe Abbildung 8) aus verschiedenen Gebieten der gleichen Region (Wallis).

<i>Ort</i>	<i>Koordinaten</i>	<i>Höhe m ü. M.</i>	<i>Exposition</i>	<i>Waldtyp</i>	<i>Stufe</i>
Aletschwald	644 450/136 775	2000	N	Lärchen-Arven-Wald	Obere subalpine Stufe
Riederalp	646 500/136 350	1800	S	Lärchen-Fichten-Weidwald	Mittlere subalpine Stufe
Münster (Goms)	663 275/149 000	1400	N	Lärchenwald	Untere subalpine Stufe
Bratsch	620 500/130 200	1200	S	Föhren-Lärchen-Wald	Montane Stufe

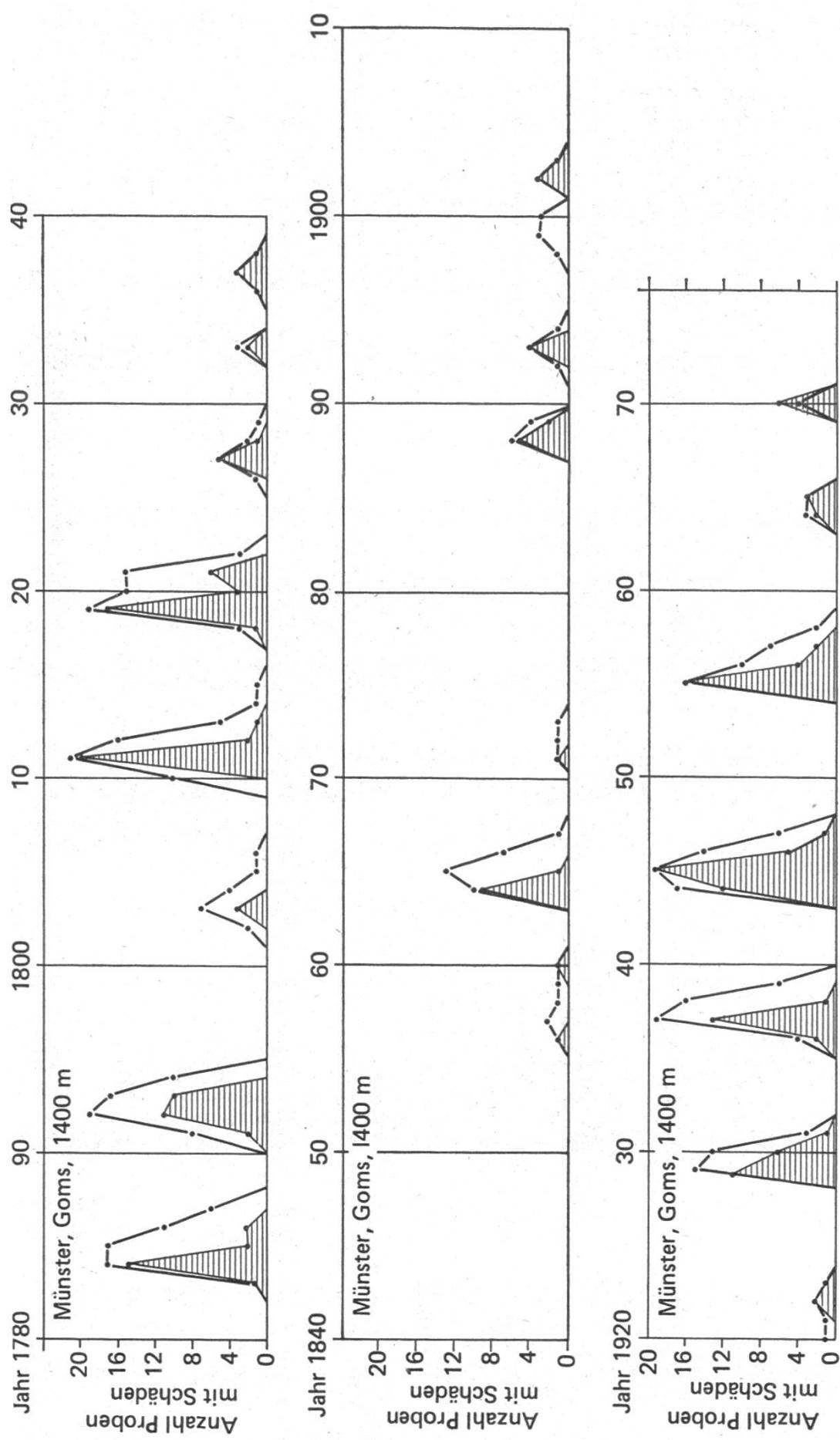


Abbildung 7. Erfassung der Schädigung des Lärchenwachstums bei Befall durch den Grauen Lärchenwickler an 22 Bohrkernen aus einem alten Lärchenbestand von Münster im Goms (Wallis) in der Zeit von 1780—1976. Auf der Ordinate ist die Anzahl Proben aufgetragen, die in einem jeweiligen Jahr in der Jahrtringbreite (obere Linie) und der maximalen Dichte (untere Linie mit schraffierter Fläche) reduzierte Zuwachse aufweisen.

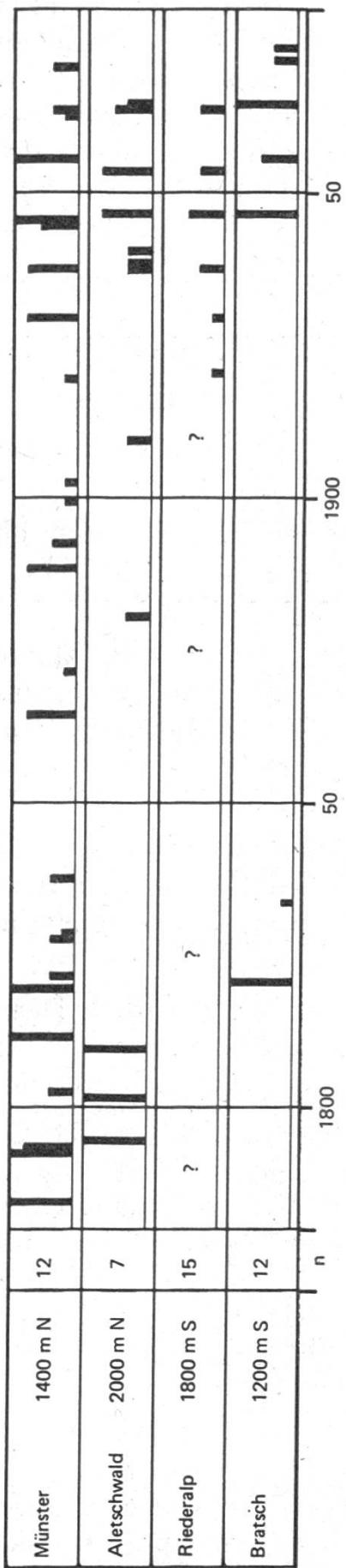


Abbildung 8. Vergleichende Darstellung von Lärchenringerschäden in Jahrringen von Bäumen aus verschiedenen Standorten des oberen Wallis in der Periode von 1780—1976.

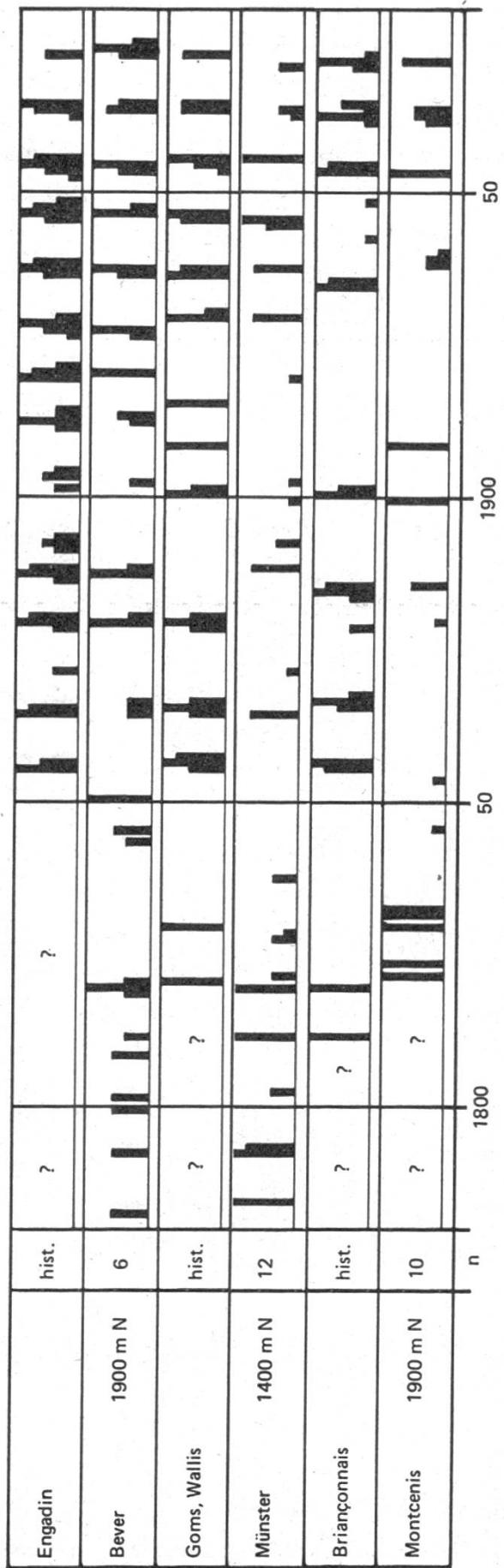


Abbildung 9. Vergleichende Darstellung historisch nachgewiesener Lärchenwicklergradation (hist.) und Zuwachsschäden in Jahrringabfolgen von Lärchen (Anzahl) aus verschiedenen Gebieten der Alpen.

Bei diesem Vergleich lässt sich feststellen, dass auch in Zwischenjahren Schädigungen des Jahrringaufbaues auftreten können, so dass gelegentlich mit Abgrenzungsschwierigkeiten zu rechnen ist. Trotz diesem Vorbehalt führt die Jahrringanalyse an einer grösseren Zahl von Lärchen des gleichen Bestandes meist zu einem recht klaren Bild über den langfristigen Verlauf der Wachstumsstörungen, die durch den periodischen Massenwechsel des Lärchenwicklers hervorgerufen werden.

Aus dem Vergleich der vier Bestände im Wallis lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Lärchen der vier Standorte unterscheiden sich in den Verlaufskurven der Jahrringbreite und der maximalen Spätholzdichte (Abbildung 7).
- Bei wenig geschädigten Bäumen spricht die Jahrringbreite deutlicher auf den Befall an als die maximale Dichte (Abbildung 4c, Riederalp).
- Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann nicht entschieden werden, ob alte oder junge Lärchen empfindlicher auf den Massenbefall durch Lärchenwicklerraupen reagieren.
- Die Intensität der Schädigung wechselt im Verlauf der Zeit: Starke Schäden lassen sich in den Jahren 1811 und 1819 erkennen; geringe bis mässige Schädigungen sind 1864 und 1871 aufgetreten, während die Gradationen zwischen 1844 und 1855 wie auch 1879 überhaupt keine Schäden verursacht haben.
- Die zeitliche Datierung der Befallsjahre anhand der Jahrringparameter ist nicht unproblematisch, da sich die Schadenbilder eines einmaligen heftigen Befalls nicht eindeutig von Mustern eines wiederholten Befalls in zwei aufeinanderfolgenden Jahren unterscheiden.
- Es bestehen Anhaltspunkte, dass Jahrringe mit geringer maximaler Dichte dem Befallsjahr entsprechen. Sollte diese Annahme richtig sein, so wären die Bäume aus dem Dorf Münster wiederholt während zwei aufeinanderfolgenden Jahren befallen worden, z. B. 1792/93, 1929/30, 1944/45.
- Wie auch Geer (1975) festgestellt hat, können Lärchenwicklerpopulationen während der Anstiegsphase der Gradation bereits im Jahre vor dem Hauptschaden die physiologische Aktivität der Bäume beeinträchtigen (1783, 1791, u. a.), ohne dass die Krone sichtbar geschädigt erscheint.

4.3.4 Variabilität der Schadenmuster in verschiedenen Regionen

Baltensweiler (1970—1975) hat mit der synoptischen Darstellung der Lärchenwicklerschäden in den Alpen den Nachweis erbracht, dass sich die Schadendurchgänge wie die Gradationen zeitlich von W nach E ver-

schieben. Es war deshalb anzunehmen, dass diese Tendenz auch im Vergleich von Jahrringsequenzen aus verschiedenen Gebieten zum Ausdruck kommen sollte. Das jahrringanalytische Ergebnis ist in dieser Hinsicht enttäuschend (Abbildung 9). Eine regelmässige, gleichsinnige zeitliche Verschiebung der Schäden von den Südwestalpen (Mt. Cenis) zu den östlichen Zentralalpen (Bever) fehlt. Dieser Befund mag damit in Zusammenhang stehen, dass mit den hier vorliegenden Analysen nur an lokal eng begrenzten Standorten Schäden erfasst worden sind. Es wäre erwünscht, in einer breit angelegten Studie nachzuprüfen, ob die in den letzten 20 Jahren gemachten Feststellungen über die zeitlich verschobenen Manifestationen der forstlichen Schäden in den verschiedenen Verbreitungsgebieten des Lärchenwicklers jahrringanalytisch erkannt werden können.

4.4 Die Variabilität der Schadenmuster in der Zeit

4.4.1 Bestimmung der Schadenjahre an verbautem Holz

Radiodensitometrische Jahrringanalysen eröffnen die Möglichkeit, durch Untersuchung verbauten Lärchenholzes Schadenphasen zu ermitteln und bei einer ausreichenden Zahl von Proben auch zu datieren. Da in der Regel der ursprüngliche Standort der untersuchten Bäume nicht mehr ausfindig gemacht werden kann, sollte bei der Analyse verbauten Holzes davon abgesehen werden, Rückschlüsse auf den damaligen Befallsgrad der Lärchen zu ziehen.

4.4.2 Veränderungen der jahrringanalytisch erfassbaren Lärchenwicklerschäden im Verlauf der Jahrhunderte

Anhand von Direktbeobachtungen hat Baltensweiler (Schadenberichte 1970—1975) festgestellt, dass in den Jahren starken Befalls die Kronenschäden an Lärchen ein kleinflächiges Mosaik unterschiedlich geschädigter Bäume bilden. Aus dieser Feststellung muss geschlossen werden, dass die Jahrringanalyse an einzelnen Stämmen nur mit grossen Vorbehalten dazu benutzt werden kann, Aussagen über die Intensität des Lärchenwicklerbefalls eines ganzen Gebietes zu machen. Immerhin dürfte es sich lohnen, mit einer breit angelegten Untersuchung in einem geschlossenen Verbreitungsgebiet des Lärchenwicklers die geographische Verteilung des Befallsgrades zu kartieren und stichprobenweise die resultierenden Schadenmuster im Holz zu analysieren.

Baltensweiler (1966) vertritt die Auffassung, dass es möglich sein sollte, über Jahrringanalysen wenigstens auf regionaler Ebene die Lärchenwicklerschäden in früheren Jahrhunderten zu rekonstruieren.

In der Tat hat eine Untersuchung 14 verbauter Lärchenhölzer, die aus Wäldern am Südhang des Walliser Haupttales in der Umgebung von Ersch-

matt und St. German stammen, ein aufschlussreiches Bild über Lärchenwicklerschäden während des Zeitraumes zwischen 1380 und 1800 ergeben. Die Datierung der Gesamtreihe stützt sich auf die eingeschnitzte Jahrzahl 1568 am Dielbaum des Hauses Imseng in St. German. Bei der Erfassung und Datierung einiger Schadenjahre bestehen noch gewisse Unsicherheiten, sei es, weil für bestimmte Zeitspannen nur wenig Proben zur Verfügung stehen, oder weil in Schadenjahren bei einzelnen Lärchen — besonders bei schwachwüchsigen Bäumen — einzelne Jahrringe ausfallen können. Aus diesen Gründen ist es auch zu erklären, dass die nachstehende Chronologie nicht mit den Angaben Röthlisbergers (1976) übereinstimmt, der seine Angaben in der Regel nur auf einen einzigen Bohrkern stützen konnte.

Folgende Schadenjahre sind aus den Jahrringbildern zu ermitteln:

1387	1408	1503	1600/01	1706/07?
1395	1414	1510/11	1609/10	1714?
	1421	1521?	1617/18	1723?
	1428	1528	1626/27	1731?
	1437	1535?	1634/35	1739?
	1446	1546	1643—46?	1746?
	1453/54	1551—53	1657—59	1754?
	1461/62	1559	1666/67	1759?
	1469/70	1568	1676/77	1767?
	1478/79	1576	1682/83	1779?
	1487/88	1584	1689	1784
	1496/97?	1591?	1698	1792/93
		1594?		

Nach H. N. Müller und F. Röthlisberger (mdl.) sind Schadenphasen über Jahrhunderte in römischer und spätneolithischer Zeit festgestellt worden.

Mit diesem Befund lässt sich zeigen, dass die Vitalität der Lärche der schädigenden Wirkung des Grauen Lärchenwicklers angepasst ist. Dieses Gleichgewicht hat sich im Verlauf der Evolution seit der Einwanderung des Lärchenwicklers in den Alpen als Parasit der Lärche eingespielt. Weder die Lärche noch der Lärchenwickler scheinen im jetzigen Zeitpunkt in ihrer Existenz gefährdet zu sein, auch wenn in den letzten Jahrzehnten an verschiedenen Orten intensive Schadenphasen aufgetreten sind.

4.4.3 Vergleich jahrringanalytischer und historisch belegter Chronologien der Lärchenwicklerschäden

Als lohnend erweist sich ein Vergleich der jahrringanalytisch nachgewiesenen Chronologie der Lärchenwicklerschäden mit Angaben aus historischen

Quellen. Als Beispiel werden Vergleichsreihen (Abbildung 9) aus dem Oberengadin (Graubünden), dem Goms (Wallis) und der Hte. Maurienne gegeben, wobei die historischen Angaben aus der Arbeit Baltensweilers (1978) entnommen sind.

Bei der Aufstellung der jahrringanalytischen Chronologien sind vorerst in jeder Einzelprobe die mutmasslichen Schadenjahre anhand der Veränderungen der Jahrringbreite und der maximalen Dichte des Spätholzes ermittelt worden. Als Mass für die Schädigung des erfassten Lärchenbestandes wird der Anteil der im einzelnen Schadenjahr als geschädigt bezeichneten Einzelbäume gewählt (Abbildung 9).

Aus den Vergleichen der Zeitreihen «Oberengadin» und «Goms» lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Aus Jahrringsequenzen lebender Bäume lassen sich Schadenperioden feststellen, die in Zeiten weit vor Beginn der geschichtlich bekannten Aufzeichnungen zurückreichen.
- Die Datierung der Schadenperioden nach den Methoden der Jahrringanalyse deckt sich weitgehend mit den Angaben in den historischen Quellen.
- Zwischen den geschichtlichen Angaben über das Ausmass des Lärchenwicklerbefalls und den jahrringanalytisch nachweisbaren Schadenmustern bestehen Unterschiede. Eine Erklärung mag darin liegen, dass sich die historischen Aufzeichnungen auf den grossflächigen Massenbefall in einer ganzen Region beziehen, während die Jahrringanalyse vorerst nur Aussagen über den Befallsgrad einzelner Bäume liefert und damit nur auf Schäden an einem lokal eng begrenzten Standort hinweist.

Die Interpretation von jahrhundertelangen Zeitreihen zur Erfassung der periodisch auftretenden Lärchenwicklerschäden im Jahrringbild erlaubt auch, die Überlagerungseffekte zwischen grösseren regionalen Klimaschwankungen und den kurzfristig sich wiederholenden Lärchenwicklerschäden zu untersuchen. Eine Verstärkung oder Abschwächung des Schadenverlaufs als Folge der bekannten, an anderen Baumarten des alpinen Raumes nachgewiesenen Klimaveränderungen lässt sich anhand des untersuchten Materials nicht belegen. Die bisher bekannten jahrringanalytischen Ergebnisse scheinen eine früher geäusserte Vermutung (Auer 1961) zu bestätigen, dass die «abiotischen Einflüsse sehr bald durch die Wirkung populationsdynamischer Kräfte überdeckt werden».

5. Diskussion

Die häufig festzustellenden Störungen des Jahrringaufbaus als Folge eines periodisch auftretenden Massenbefalls durch Raupen des Grauen Lär-

chenwicklers schränken die Verwendung von Lärchenholz in der Dendrochronologie erheblich ein, da sich die parasitisch bedingte Veränderung des Jahrringbildes den witterungsabhängigen Wachstumsschwankungen des Baumes im Schadenjahr — und oft auch in den Folgejahren — zumeist deutlich überlagert.

Gelingt es jedoch, für dendrochronologische Untersuchungen Stämme zu erhalten, die nicht oder nur sehr selten durch Lärchenwicklerbefall geschädigt worden sind, bieten die oft mehr als 500jährigen Lärchen ausgezeichnete Möglichkeiten, um die klimatischen Verhältnisse im Verbreitungsgebiet dieser Baumart während der letzten 9000 Jahre zu rekonstruieren (Röthlisberger 1976, Schweingruber und Röthlisberger 1978).

Lärchen mit geringen Lärchenwicklerschäden sind im Wallis am ehesten aus der Arven-Lärchenzone der Nordhänge oder in Fichten-Lärchenzonen an südgeneigten Hängen an der alpinen Waldgrenze oder dann in tiefen Lagen der Föhren-Lärchenzone zu erwarten (Höhenlage 650—800 m an nordexponierten, unter 1300 m an südexponierten Hängen).

Die Vitalität der Bäume und jene der Lärchenwicklerpopulationen bestimmen das Ausmass an Zuwachsschäden. Junge Bäume an extremen Standorten (Waldgrenze, Trockenstandorte in der Föhrenzone) weisen praktisch keine Schäden auf. Ältere Bäume scheinen empfindlicher zu sein. Am regelmässigsten und intensivsten treten die Schäden in Proben aus Normalstandorten der oberen montanen bis zur mittleren subalpinen Stufe in reinen Lärchenbeständen auf. Die kambiale Aktivität wird durch Schädigungen der Baumkrone eher reduziert als das Wachstum der Zellwand im Spätholz; auch wirkt die Verminderung der kambialen Aktivität oft länger nach.

Klimaschwankungen beeinträchtigen die Entwicklung der Lärchenwicklerpopulationen. Die Schadenwelle wird aber je nach Standort unterschiedlich häufig überschritten. Aus diesem Grunde sind im montanen Trockenstandort Bratsch im Wallis zwischen 1800 und 1950 drei, im subalpinen Standort Bever 15 Schadenphasen feststellbar. Standörtliche Unterschiede verunmöglichen das Erkennen kurz- und langphasiger Klimaschwankungen.

Die Dynamik der Lärchenwicklerpopulationen kann mit langen Jahrringsequenzen von Bäumen aus gleichartigen Standorten recht genau rekonstruiert werden (Abbildung 6). Anhand verbauter Lärchenstämme mit unbekannter Herkunft bzw. Standortsverhältnissen war festzustellen, dass im Wallis Gradationen mit grosser Regelmässigkeit auftreten (12 bis 13 pro Jahrhundert). So sind von 1387 bis 1793 ungefähr 50 und von 1800 bis 1975 22 schädigende Gradationen nachweisbar. Schadenperioden über Jahrhunderte sind aus dem frühen Mittelalter, der römischen Zeit und dem Neolithikum bekannt.

Die Anwendungsmöglichkeit jahrringanalytischer Methoden für die Erfassung rezenter und historischer Forstschäden, die durch den periodischen

Massenbefall von Raupen des Grauen Lärchenwicklers verursacht worden sind, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Erwünscht ist vor allem die kartographische Erfassung der Befallsdichte in einem geschlossenen alpinen Verbreitungsgebiet des Lärchenwicklers auf dem Höhepunkt des Massenwechsels, die Erhebung der nachfolgend feststellbaren Forstschäden und der Vergleich mit dem resultierenden Schadenmuster im Aufbau der Jahrringe.

Résumé

Conséquences de l'attaque de la Pyrale grise sur la structure du cerne chez le Mélèze

Le développement de la méthode radiodensitométrique a permis de déceler les dommages de la Pyrale grise dans des séquences de cernes, établies à partir d'échantillons prélevés dans des mélèzes sur pied et des pièces faisant partie d'anciennes constructions. Les questions posées au début de cet article peuvent être répondues comme suit:

- Lorsque le houppier est fortement décimé par les chenilles de la Pyrale grise du Mélèze, la physiologie de l'arbre est tellement atteinte que cela se manifeste dans l'élaboration du cerne. De tels échantillons de bois ne peuvent normalement que difficilement être synchronisés et datés et ils sont pratiquement inutilisables pour des études dendroclimatiques.
- La vitalité de l'arbre et celle des populations de la Pyrale grise déterminent l'intensité des pertes d'accroissement en largeur. Les jeunes arbres sur les stations marginales (limite supérieure de la forêt, stations séchardes de la zone du Pin) ne montrent pratiquement aucun dégât. Les arbres âgés semblent être plus sensibles. Les dommages sont les plus réguliers et les plus intensifs chez les échantillons provenant de peuplements purs de Mélèze, issus de stations normales de l'étage montagnard supérieur à l'étage moyen subalpin. L'activité cambiale se trouve réduite plus longuement par les dégâts du houppier que la croissance de la paroi cellulaire du bois final.
- Les fluctuations du climat influencent le développement des populations de la Pyrale grise. Le seuil d'intensité de l'attaque, où les dégâts sont marqués dans le cerne, diffère selon la station. C'est pour cette raison que l'on trouve, entre 1800 et 1950, trois phases de dommages chez les mélèzes de Bratsch dans le Valais, station sécharde de l'étage montagnard, contre 15 phases chez les arbres de la station subalpine de Bever. Ces différences dues à la station empêchent de discerner les phases courtes et longues des variations climatiques.
- La dynamique des populations de la Pyrale grise du Mélèze peut être reconstituée de façon précise au moyen de longues séquences de cernes provenant d'arbres ayant crû sur des stations semblables (figure 6). A l'aide de madriers et de charpente de mélèze, dont l'origine et respectivement les conditions de

station sont inconnues, on a pu établir qu'en Valais les gradations avaient lieu avec une grande régularité (12 à 13 par siècle). De 1387 à 1793, il se produisit environ 50 gradations, laissant des traces dans les cernes, et 22 gradations de 1800 à 1975. On a constaté des périodes de dommages sur plusieurs siècles par la Pyrale grise au cours du bas Moyen Age, de l'Epoque romaine et du Néolithique.

Traduction: *O. Lenz*

Verdankungen

Für die Beschaffung und Bearbeitung der Proben danke ich meinen Kollegen O. U. Bräker, P. Nogler und E. Schär. Herrn F. H. Schwarzenbach und Frau M. Wino danke ich für die gründliche redaktionelle Bearbeitung, Herrn M. Sebek für die Herstellung der Zeichnungen und O. Lenz für die französische Übersetzung.

Literatur

- Auer, Ch. (1961): Ergebnisse zwölfjähriger quantitativer Untersuchungen der Populationsbewegung des Grauen Lärchenwicklers *Zeiraphera griseana* Hübner (= *diniana* Guénée) im Oberengadin (1949/60). Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 37, 173—263.*
- Auer, Ch. (1975): Dendrometrische Grundlagen und Verfahren zur Schätzung absoluter Insektenpopulationen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 50, 89—131.*
- Baltensweiler, W. (1966): Zur Erklärung der Massenvermehrung des Grauen Lärchenwicklers (*Zeiraphera griseana* Hb. = *diniana* Gn.). Schweiz. Z. f. Forstw., 466—491.*
- Baltensweiler, W. (1970—1975): Die Entwicklung der gegenwärtigen Massenvermehrung des Grauen Lärchenwicklers (*Zeiraphera diniana* Gn.) in den Alpen. Interne Berichte. Entomologisches Inst. ETH Zürich.*
- Baltensweiler, W. (1978): Die Massenvermehrung des Grauen Lärchenwicklers im Alpenraum. Allg. Forst- und Jagdz. 149, 168—172.*
- Baltensweiler, W., Rubli, D., Rappo, H.: Forstliche Aspekte der Lärchenwickler-Massenvermehrungen im Gebirgswald. In Vorbereitung.*
- Bräker, O. U., Schär, E., Schweingruber, F. H. (1978): Time series of coniferous tree ring parameters. (In): Evolution des atmosphères planétaires et climatologie de la terre, 365—368. Centre national d'études spatiales Toulouse, France.*
- Geer, G. A. (1975): Der Einfluss des Grauen Lärchenwicklers, *Zeiraphera diniana* (Gn.) auf den Zuwachs der Lärche, *Larix decidua* (Mill.) im Oberengadin. Diss. ETH Zürich, Clausthal-Zellerfeld, Bönecke-Druck, 85 S.*

- Kulman, H. M.* (1971): Effects of insect defoliation on growth and mortality of trees. Ann. rev. Entomology 16, 289—324.
- Lenz, O., Schär, E., Schweingruber, F. H.* (1976): Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz, Holzforschung 30, 114—123.
- Maksymov, J. K.* (1959): Beitrag zur Biologie und Ökologie des Grauen Lärchenwicklers *Zeiraphera griseana* (Hübner) (Lepidoptera, Torticidae) im Engadin. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. 35, 277—315.
- Polge, H.* (1963): Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: L'analyse densitométrique de clichés radiographiques. Annales de l'école nationale des eaux et forêts 20, 531—581.
- Röthlisberger, F.* (1976): Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferrière und Arolla. Die Alpen 52, 59—152.
- Schweingruber, F. H., Schär, E.* (1976): Röntgenuntersuchungen an Jahrringen. Neue Zürcher Zeitung 180, 4. Aug., 33.
- Schweingruber, F. H., Röthlisberger, F.* (1978): Long chronologies by x-ray densitometry for subalpine conifers and their value for indicating holocene temperatures. (In): Dendrochronology in Europe, J. Fletcher, ed. Oxford. B.A.R. int. Ser. 51, 115—116.
- Schweingruber, F. H., Bräker, O. U., Schär, E.* (1978): X-ray densitometric results for subalpine conifers and their relationship to climate. (In): Dendrochronology in Europe, J. Fletcher, ed. Oxford. B.A.R. int. Ser. 51, 89—100.
- Schweingruber, F. H., Fritts, H. C., Bräker, O. U., Drew, L., Schär, E.* (1978): The x-ray technique as applied to dendroclimatology. Tree Ring Bull. Nr. 38, 61—91.