

Michael Grabner und Wolfgang Gindl
Institut für Botanik, Institut für Holzforschung
Universität für Bodenkultur Wien

Neue Jahrringchronologien vom Dachstein

Eine 1250-jährige Rekonstruktion der Sommertemperatur

Kurzfassung

Der Zusammenhang von Temperatur und Baumwachstum ermöglicht es, aus Jahrringchronologien das Klima von Jahrhunderten, aus denen keine instrumentellen Aufzeichnungen vorliegen, zu rekonstruieren. Mit dem Ziel, eine möglichst lange Jahrringchronologie zum Zwecke der Klimarekonstruktion zu erstellen, wurden in den Jahren 1998 und 1999 stehende Bäume und subfossile Stämme aus einem See auf dem Dachsteinplateau in der Obersteiermark beprobt. Die resultierenden Chronologien reichen bis ins 5. Jahrhundert, mehrere undatierte schwimmende Chronologien würden bei einer Schließung der Lücken eine mindestens 4000-jährige Chronologie ergeben. Bis ins Jahr 750 ist die Chronologie bereits so gut belegt, dass Klimarekonstruktionen gerechnet werden können. Das Ergebnis der Rekonstruktion stimmt gut mit publizierten Arbeiten aus Skandinavien und Sibirien überein und zeigt, dass die Erwärmung im 20. Jahrhundert gerade noch innerhalb der Variabilität während der letzten 1250 Jahre liegt.

Abstract

Making use of the relationship between temperature and tree growth it is possible to infer the climate of the pre-instrumental era from tree ring chronologies. Aiming at the construction of a long chronology for climate reconstruction, standing trees and subfossil stems from a lake were sampled at the Dachsteinplateau in the years 1998 to 1999. The resulting chronologies date reach back to the 5th century, several undated "swimming" chronologies would make a 4000 year series, if dated. Starting in 750 A.D. the sample depth is sufficient to calculate a climate reconstruction. The result of the temperature reconstruction agrees well with already published studies from Scandinavia and Siberia. The main result is that the 20th century warming lies within the variability observed within the past 1250 years.

Einleitung

Die Diskussion über einen möglichen Klimawandel hat die Frage nach guten Methoden zur Erstellung langer und zuverlässiger Datenreihen neu aufgeworfen (Bradley und Jones 1995). Ein geeigneter und methodisch ausgereifter Weg, Zeitreihen über mehrere Jahrhunderte bzw. Jahrtausende zu erstellen ist die Analyse der Jahrringe von Bäumen (Wimmer und Vetter 1999).

Bäume weisen ein sekundäres Dickenwachstum auf, d.h. eine meristematische Schicht - das Kambium - liefert durch Teilung nach innen Holz-(Xylem-)zellen und nach außen Rinden-(Phloem-)zellen. Die neugebildeten Holzzellen werden jeweils an die vorhandenen angelagert, wodurch es zu einer Dickenzunahme des Stammes kommt, was gleichzeitig eine Vergrößerung des Kambiummantels nach sich zieht.

In kühl-feuchten, gemäßigten Klimagebieten bilden die Bäume jährlich einen Zuwachsring (Jahrring) aus. Das Kambium produziert im Frühjahr große, dünnwandige, im Sommer dagegen kleine und dickwandige Zellelemente. Nadelbäume (wie z.B. Fichte; Lärche, Zirbe) bilden nur gleiche Zelltypen - die Tracheiden - aus. Diese sind im Frühholz großlumig und dünnwandig und im Spätholz kleinumig und dickwandig.

Die Reaktionsmechanismen im Baum sind äußerst komplex und sie laufen zwischen den einwir-

kenden Umweltfaktoren und verschiedenen Rezeptoren des Baumes ab. H.C. Fritts (1976) zeigte, wie sich eine herrschende Klimasituation, charakterisiert durch Temperatur und Niederschlag, über physiologische Mechanismen auf die Jahrringbildung auswirken kann.

Die in den Stämmen der Bäume aus jahreszeitlich beeinflussten Klimaten gebildeten Zuwachszonen (Jahrringe) repräsentieren durch unterschiedliche Jahrringbreiten, wechselnde Zellgrößen und unterschiedliche Dichteverläufe auch die Einflüsse von Temperatur und Niederschlag. Voraussetzung für die Rekonstruktion dieser Größen sind einerseits die Kenntnis der Abgrenzung klimatisch einheitlich beeinflusster Gebiete und andererseits datierte Jahrringbreitenverläufe (= Chronologien).

Erster Schritt dieser Arbeit ist das Erstellen von Regionalchronologien. Diese Arbeit hat den "Nebeneffekt", dass Chronologien zur Datierung historischer Bau- oder Kunstwerke damit erarbeitet werden. Da es nur sehr vereinzelt möglich ist, sehr alte Bäume in Beständen vorzufinden (300 Jahre und älter), ist es notwendig, die Chronologien mit Holzproben aus verbautem Holz oder mit konservierten alten Baumstämmen zu verlängern.

Das Verfahren der Dendrochronologie

Jeder Baum ist ein Individuum mit charakteristischen Eigenheiten. Mit der Analyse von Jahrringreihen aus einzelnen Individuen wird man aber kaum erschöpfend Auskunft über die Umwelteinflüsse innerhalb eines Waldbestandes oder einer Gegend erhalten. Deshalb werden Mittelkurven zusammengefasst.

In Zusammenfassungen werden nur zeitgleiche Jahre der einzelnen analysierten Radien gemittelt. Es wäre daher sinnlos zwei Kurven zu mitteln, bei denen an irgendeiner Stelle in einer Kurve ein Jahrring fehlt. Daher müssen die Einzelkurven miteinander synchronisiert werden. Dies geschieht anhand von Ereignisjahren und des Kurvenverlaufs. Dieser Vorgang des Datierens wird Crossdating genannt. Mittels des Crossdatings ist es möglich, eine sehr lang zurückreichende Jahrringabfolge zu erstellen, und damit wiederum ist es möglich, Holzproben unbekanntens Datums zu datieren (siehe Abb. 1).

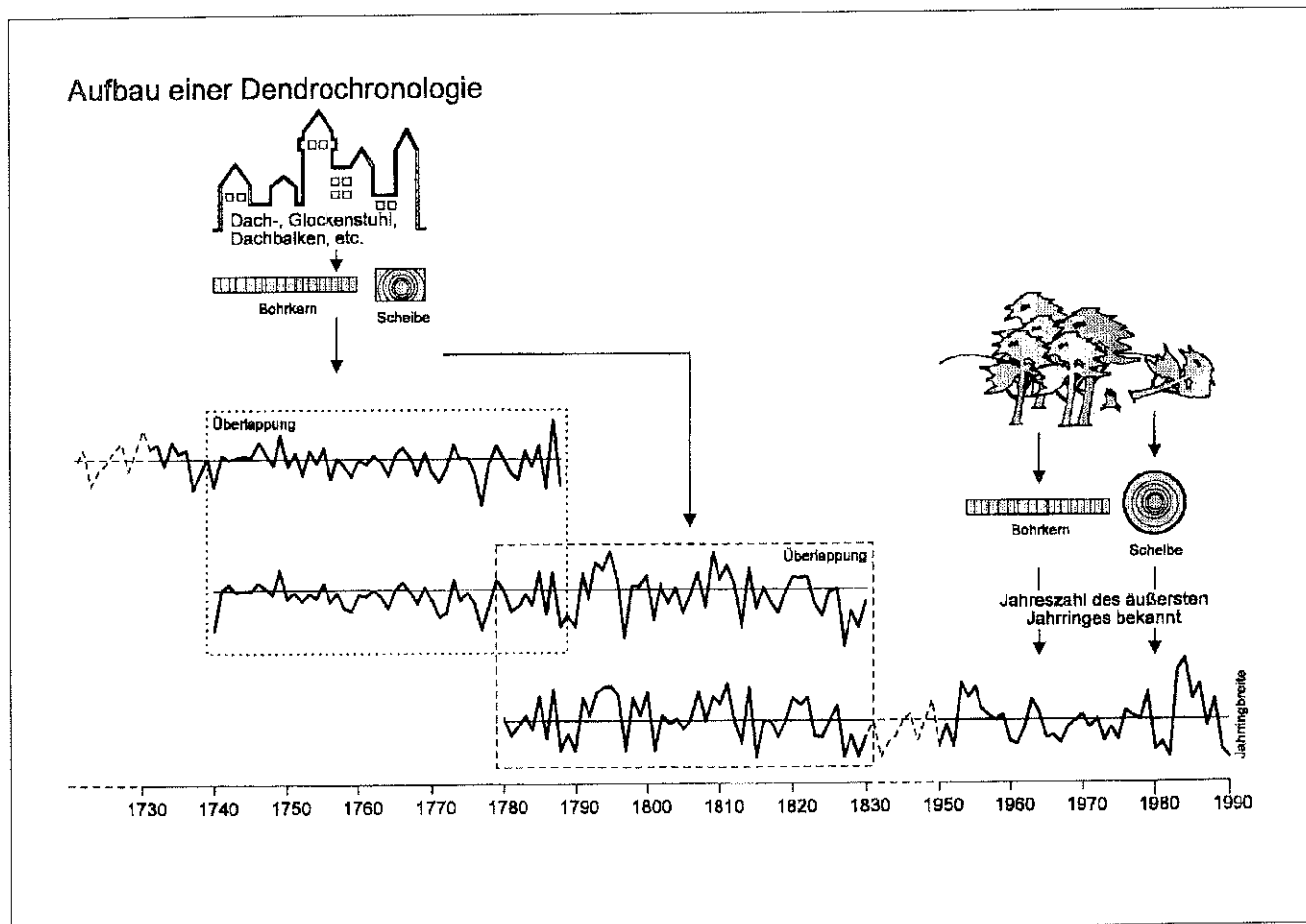


Abb. 1: Das Datierungsprinzip in der Jahrringforschung (aus Liebert 1996)

Die Auswertungen werden mittels Computern durchgeführt. Eine Kurve bekannten Datums wird mit einer oder mehreren Kurven unbekanntem Datum verglichen, und die möglicherweise synchronen Stellen werden angezeigt. Die vom Computer vorgeschlagenen Ergebnisse werden anhand von ausgedruckten Kurvenverläufen durch Übereinanderlegen optisch kontrolliert. Das Prinzip der Dendrochronologie wirkt zwar einfach, jedoch die konkreten Schwierigkeiten sind das Erkennen von fehlenden Jahringen, die Alterstrendkorrekturen, das Erkennen von Zuwachstrendänderungen, z.B. durch Freistellung eines Baumes etc.

Probennahme im Dachsteingebiet

Im Sommer 1998 wurden im Rahmen des vom FWF geförderten Projektes "Dendroklimatologische Klimarekonstruktionen" (911097-GEO) unter der Leitung von Ao. Univ. Prof. Dr. Rupert Wimmer am Dachsteinplateau stockende Bäume beprobt (Abb. 2). Franz Mandl ermutigte uns zu einer nochmaligen Betauchung des "Schwarzen See". An dieser Stelle sei den Eigentümern (Österr. Bundesforste AG) und der Naturschutzbehörde des Landes Steiermark für die wohlwollende Genehmigung gedankt.

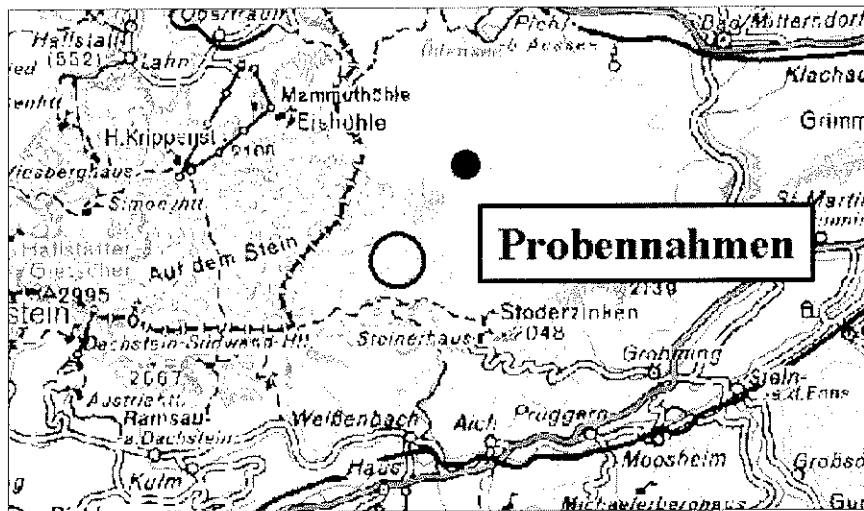


Abb. 2: Probennahmegebiete am Dachsteinplateau. Das Areal beprobter stehender Bäume ist durch einen Kreis, der Schwarze See durch einen ausgefüllten Kreis ausgewiesen.

Die Tauchgänge wurden von einer Tauchgruppe des Jagdkommandos Wiener Neustadt unter Hptm. F. Wenhoda durchgeführt.

Die am 19. Juli 1999 begonnene und eineinhalb Wochen dauernde Betauchung des Sees ist umseitig in Abb. 3a-i ausführlich dokumentiert. Da viele Ausrüstungsteile zu schwer bzw. zu sperrig waren, um zu Fuß über den Steig von der Forststraße weg transportiert zu werden, mussten wir diese mittels Hubschrauber zum See bringen lassen. Die Probennahme selbst geschah meist so, dass nach dem Auffinden eines Stammes dieser mit einem Bergebalken gesichert wurde, und danach ein Stammabschnitt von rund einem halben Meter Länge mit einer hydraulisch betriebenen Unterwasser-Kettensäge herausgeschnitten wurde. Dieser wurde dann auf ein Schlauchboot gezogen und ans Ufer gebracht. Dort wurde erst die endgültige Probenscheibe abgetrennt. Auf diese Weise wurden 211 Proben (Bäume) geborgen.

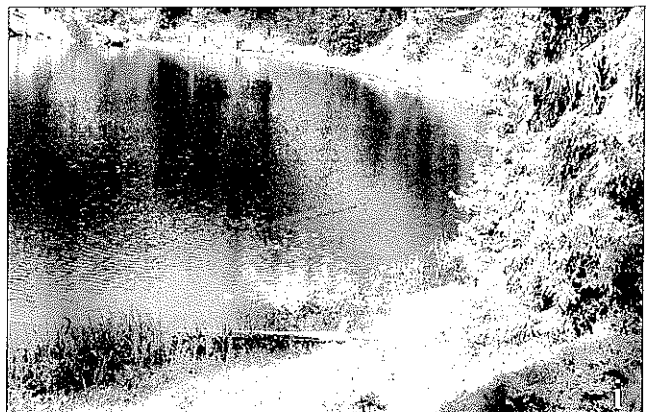
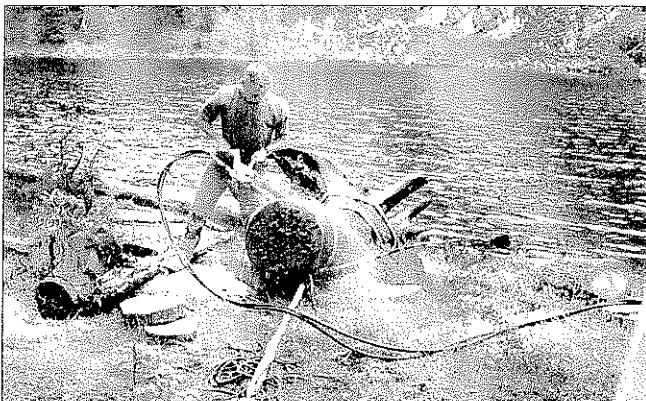
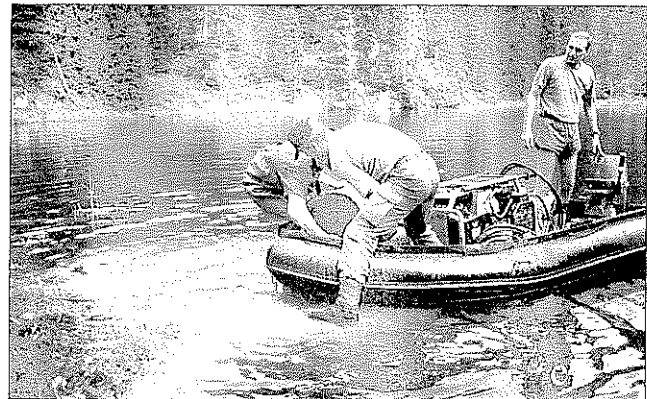
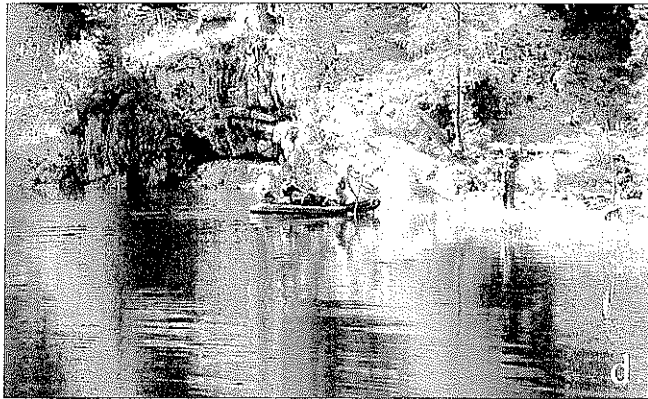


Abb. 3 (vorhergehende Seite) a Stammstück mit Axtspuren, b Hubschraubertransport, c Beprobung einer stehenden, jedoch bereits toten Zirbe, d Boot mit Druckaggregat, e Anlandung eines geborgenen Stammstücks, f Abtrennen einer Stammscheibe, g Stammscheibe (Fichte), h der Schwarze See, i Schwarzer See mit subfossilen Stämmen

Die Baumartenverteilung unter den geborgenen Stämmen ist in Abb. 4 dargestellt und entspricht in etwa auch der gegenwärtigen Verteilung. Der Zustand des Holzes - vor allem der Lärchen - war im Großen und Ganzen sehr gut. Bäume, die vor allem im Innenteil zum Teil sehr stark abgebaut waren, dürften längere Zeit tot am Ufer gestanden haben, bevor sie umgebrochen und in den See gefallen sind. Andererseits gab es Proben, die bis auf eine gräuliche Verfärbung und leichten Abbau im Außenbereich kaum Veränderungen aufweisen, von denen sich aber im Zuge der Datierung herausstellte, dass sie sehr alt waren. Diese dürften als lebende Bäume ins Wasser gestürzt sein.

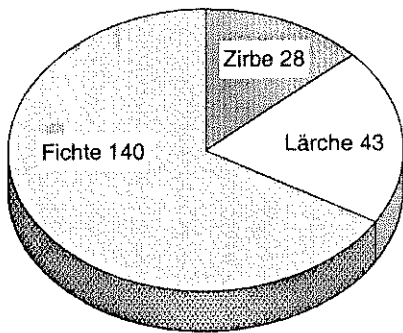


Abb. 4: Verteilung der Baumarten unter den geborgenen subfossilen Stämmen aus dem Schwarzen See.

Ein interessantes Detail konnte an Hand einiger Lärchen-Proben festgestellt werden: Es wurden sieben Lärchenstämme mit eindeutigen Behauspuren von Äxten gefunden (Abb. 4a) und auf das Ende des 17. Jahrhunderts datiert.

Zum Teil wurden sehr alte Bäume gefunden. So war die älteste (am meisten vorhandene Jahrringe) Lärche 718 Jahre alt. Die älteste Fichte 475, und die älteste Zirbe 461 Jahre alt. Die mittlere Probenlänge betrug bei Lärche 278, bei Fichte 189, und bei Zirbe 223 Jahrringe.

Jahrringbreitenmessung und Datenverarbeitung

Vor der Bearbeitung wurden die Holzproben getrocknet und fein geschliffen. Mittels einer LINTAB Messmaschine, die aus einem fahrbaren Schlitten mit elektronischem Wegaufnehmer und einem Stereoauflichtmikroskop mit Fadekreuz besteht, wurden die Jahrringbreiten auf 1/100 mm genau vermessen. Die Software TSAP ermöglicht die direkte Übernahme der Messdaten in einen PC. Mit Unterstützung dieser Software sowie am Leuchttisch wurden die synchronen Lagen der ermittelten Jahrringkurven ermittelt.

Die Jahrringbreite innerhalb eines Baumes unterliegt nicht nur dem Einfluss des Klimas, sondern auch einem Alterstrend: Mit zunehmendem Alter werden immer schmalere Jahrringe gebildet (Schweingruber 1989). Es muss daher der Alterstrend aus der Jahrringkurve entfernt werden. Zu diesem Zweck wird eine mathematische Funktion, die den Alterstrend möglichst gut modelliert an die Jahrringserie angepasst. In der Folge wird jeweils der Messwert durch den Wert der Modellkurve dividiert, um einen indexierten, alterstrendfreien Datensatz zu erhalten. Nachdem der Alterstrend durch Standardisation entfernt war, wurde mittels einer Korrelationsanalyse bestimmt, welche Klimadaten am besten mit den Jahrringbreiten zusammenhängen. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik stellte hierzu Temperaturaufzeichnungen aus Kremsmünster zur Verfügung. Aufbauend auf die gefundenen Beziehungen wurde eine Transferfunktion zur Rekonstruktion von Temperaturwerten aus Jahrringbreiten errechnet. Dazu wurde der Datensatz geteilt: Aus Jahrringbreiten der ungeraden Jahre von 1851 bis 1995 wurde mittels einer multiplen Regression eine Kalibrationsfunktion gerechnet, um Temperaturwerte zu schätzen. Die geschätzten Temperaturwerte wurden dann an Hand der Daten der geraden Jahre von 1850 bis 1996 verifiziert. Dieser Vorgang wurde in umgekehrter Reihenfolge wiederholt, um eine optimale Qualität der Schätzung von Temperaturwerten aus Jahrringbreiten zu erreichen. Jene

Regressionsgleichung, die in der Verifikation die beste Korrelation erzielte, wurde dann zur Rekonstruktion der Sommertemperatur verwendet.

Jahrringchronologien und Temperaturrekonstruktion

Nach der Vermessung von rund 80.000 Jahrringen ergaben sich für die drei Holzarten sehr gut belegte und lange Chronologien. Leider war es nicht möglich, durchgehende Chronologien bis zum ältesten Stück zu erstellen. Die Chronologien, die mit Bohrkernen lebender Bäume beginnen, weisen folgende Länge auf (Tabelle 1):

| Holzart | Beginn | Ende | Gesamt |
|---------|--------|------|--------|
| Lärche | 663 | 1998 | 1336 |
| Fichte | 450 | 1998 | 1549 |
| Zirbe | 1193 | 1998 | 806 |

Weiters konnten viele Proben untereinander synchronisiert werden, d.h. dass sie gegeneinander relativ datiert wurden. Es fehlt jedoch der Anschluss an die absolut datierte Chronologie, und damit die kalendermäßige Datierung (Abb. 5). Knapp 3000 Jahre sind durch diese synchronen Blöcke belegt (schwimmende Chronologien).

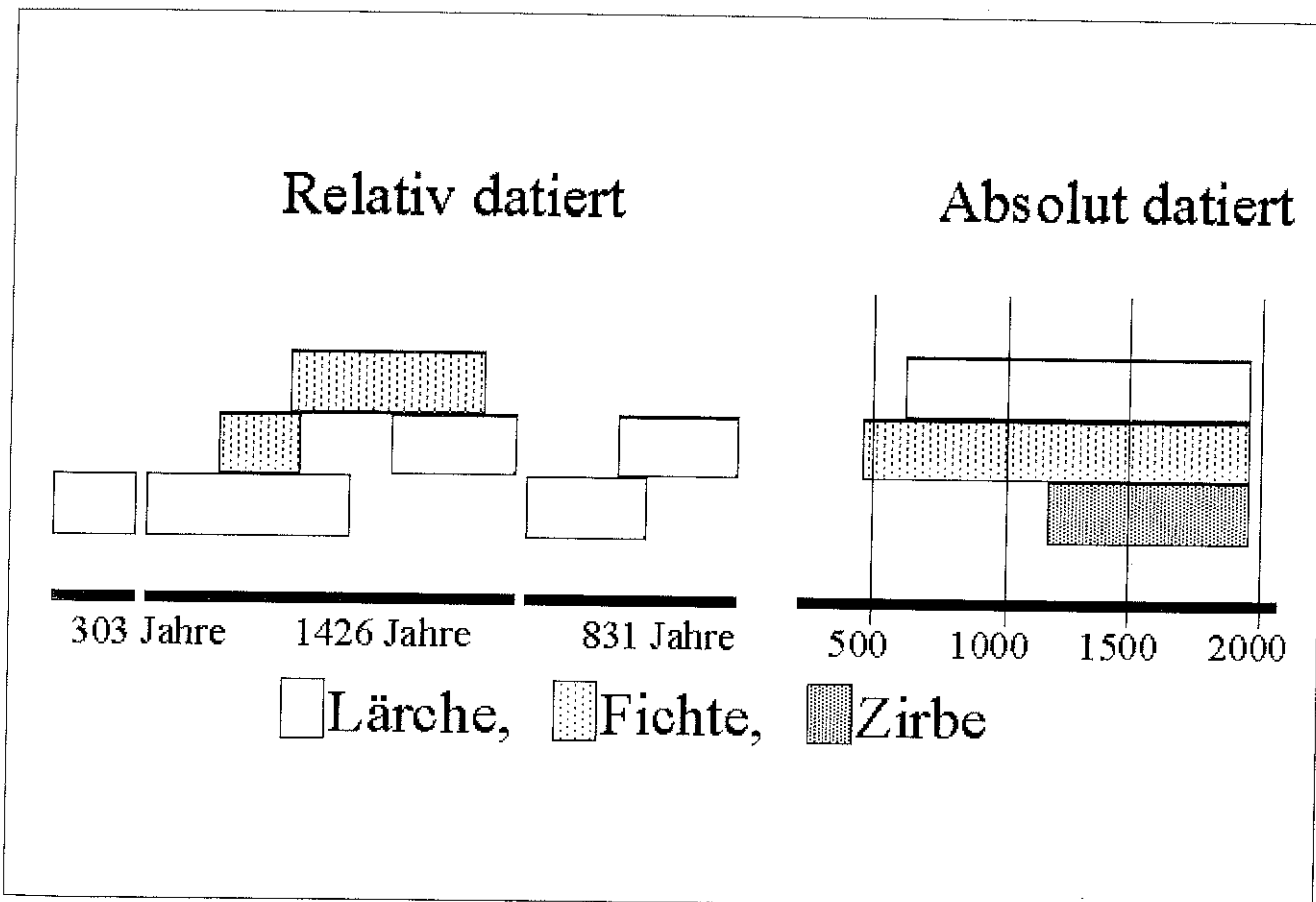


Abb. 5: Absolut und relativ (schwimmend) datierte Chronologien zu den drei Holzarten. Die drei schwimmenden Chronologien weisen die Längen 303, 1426 bzw. 831 Jahre auf.

Auf den folgenden zwei Seiten ist die Zusammensetzung der absolut datierten Chronologien im Detail aufgelistet (Abb 6a-c). Jeder Balken repräsentiert dabei eine Holzprobe.

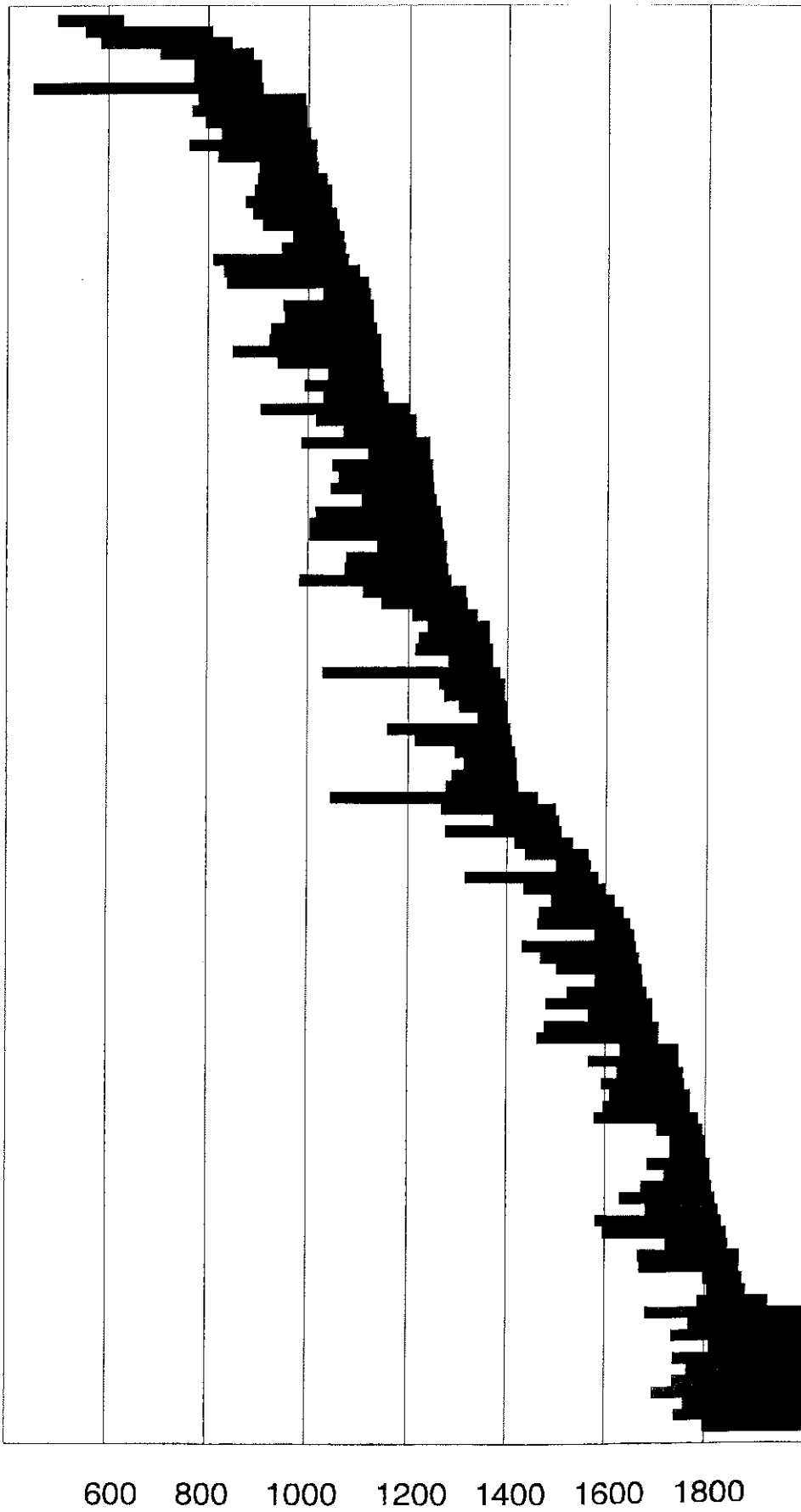


Abb. 6a: Zusammensetzung der Chronologie für die Holzart Fichte

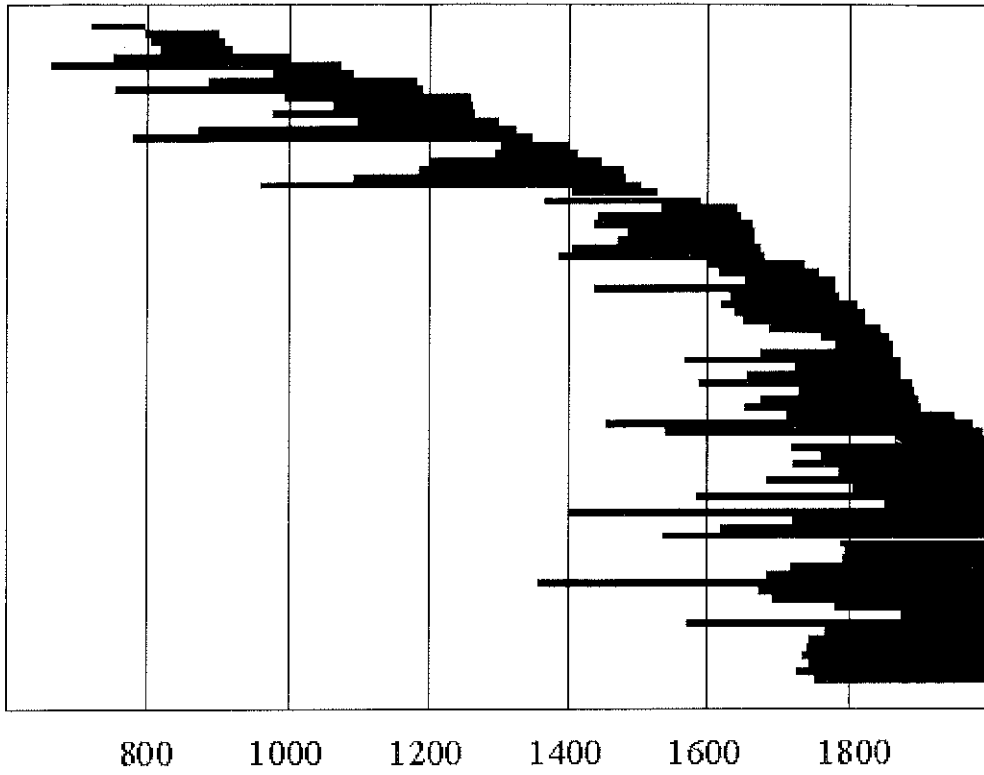


Abb. 6b: Zusammensetzung der Chronologie für die Holzart Lärche

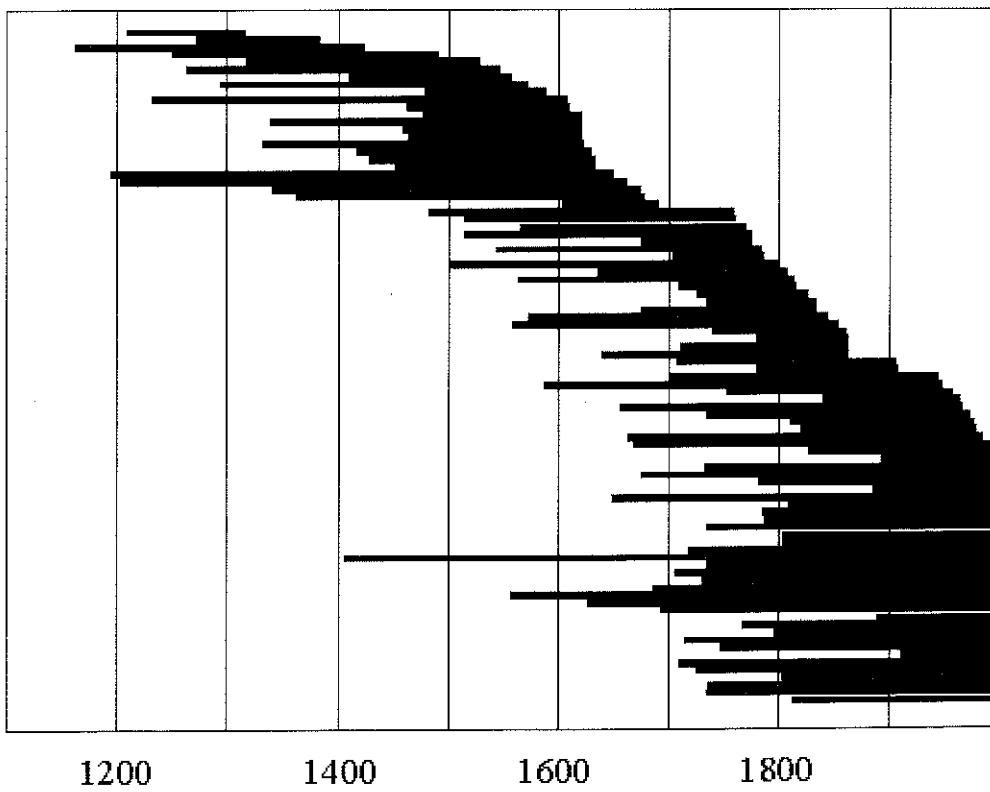


Abb. 6c: Zusammensetzung der Chronologie für die Holzart Zirbe

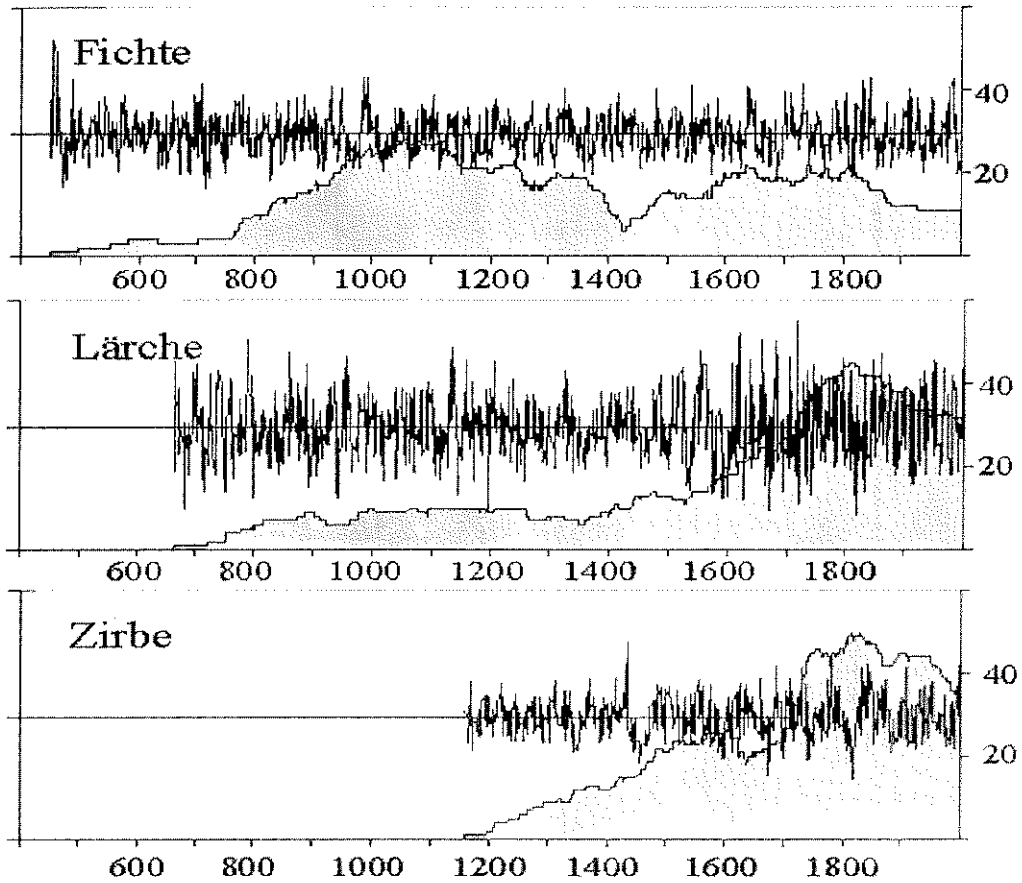


Abb. 7: Absolut datierte und indizierte Jahrringbreitenchronologien. Die Belegungsdichte ist durch die grau unterlegten Flächen angegeben (rechte y-Achse).

Die drei Jahrringbreitenchronologien, die aus den absolut datierten Jahrringserien errechnet wurden, sind in Abb. 7 dargestellt. Die außergewöhnlich hohe Probenzahl bei Fichte spiegelt sich auch in der Belegungsdichte wider. Aus Abb. 8 ist ersichtlich, welche Temperaturwerte am besten mit den Jahrringbreiten korrelieren. Augenscheinlich beeinflussen die Temperaturen der Monate Juni und Juli das Wachstum der Bäume auf dem Dachsteinplateau am stärksten. Zumindest bei Lärche und Zirbe spielt auch der Monat August noch eine gewisse Rolle. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Temperaturen der Monate Juni und Juli am besten aus den vorliegenden Jahrringbreiten rekonstruiert werden können. Auf Grund ihrer relativ geringen Länge wurde die Chronologie der Holzart Zirbe nicht in die Rekonstruktion einbezogen.

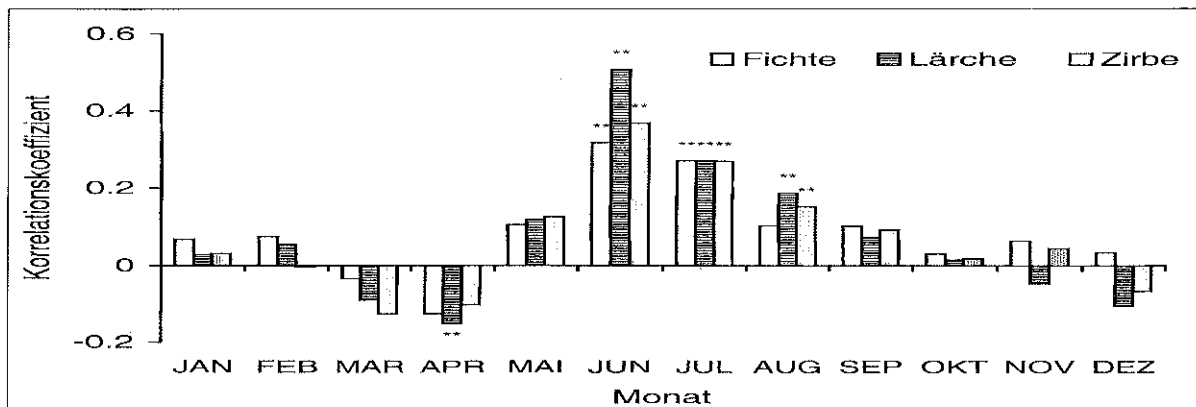


Abb. 8: Korrelation der Jahrringbreiten mit den Mitteltemperaturen der Jahre 1850 bis 1996. Korrelationen mit einer Signifikanz von $p < 0.001$ sind mit zwei Sternen gekennzeichnet

Die multiple Regressionsanalyse ergab, dass mit dem Modell:

$$JJ = 147,923 + 19,5615 LA + 7,7725 FI$$

in dem JJ für die Mitteltemperatur der Monate Juni und Juli, LA für die Jahrringbreite bei Lärche und FI für die Jahrringbreite bei Fichte stehen, gut ein Drittel der Variabilität der Sommertemperatur erklärt werden kann. Auf der Basis dieses Zusammenhanges wurden die Juni-Juli-Temperaturen bis ins Jahr 750 aus den Jahrringbreiten geschätzt.

Besser als die rekonstruierten Absolutwerte der Sommertemperatur gibt eine Darstellung der Abweichung der Temperatur von der Mitteltemperatur der Jahre 1850 bis 1996 die Abfolge von Kalt- und Warmphasen während der letzten 1250 Jahre wider (Abb. 9).

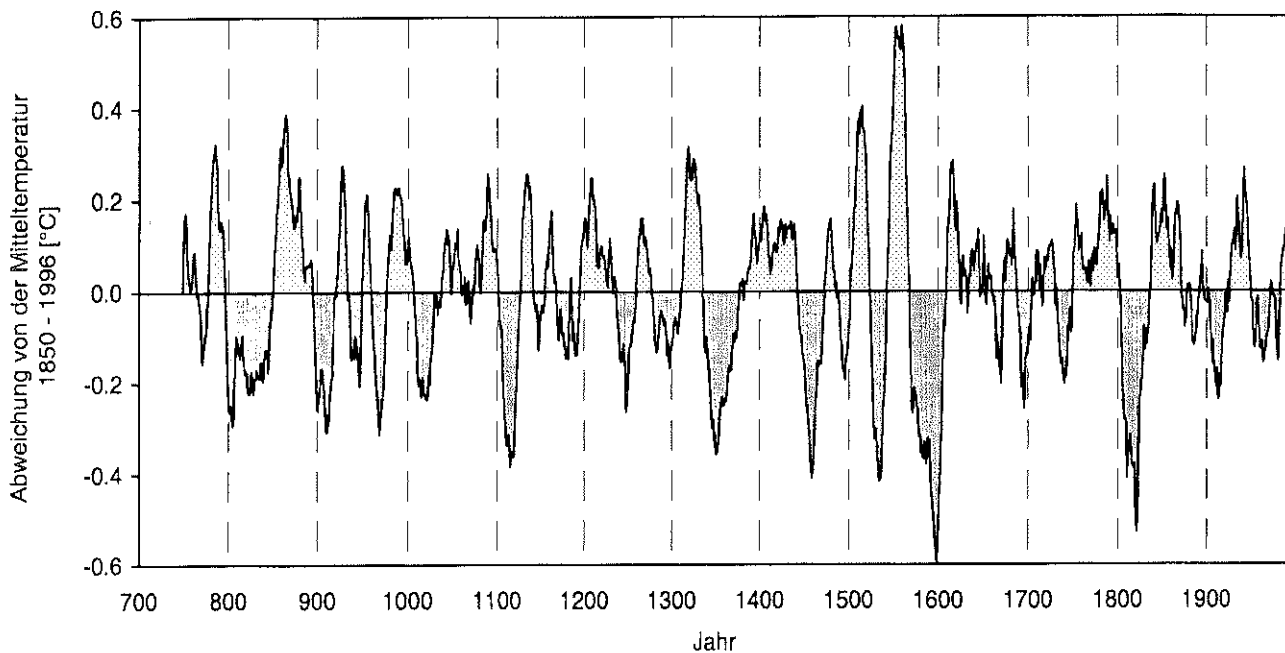


Abb. 9: Rekonstruktion der Abweichung der Sommertemperatur (Juni-Juli) der letzten 1250 Jahre vom Mittel der Jahre 1850-1996 (geglättet mit einem gleitenden Mittel über 20 Perioden).

Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen gut mit den wenigen bislang publizierten Temperaturrekonstruktionen aus dem europäischen Gebiet überein (Bradley und Jones 1993, Briffa et al. 1990, 1995). Die ausgeprägte Kaltphase der Jahre 1810 bis 1820 stimmt mit einer Serie von Vulkanausbrüchen, die im Ausbruch des Tambora (A.D. 1814) in Indonesien gipfelte, gut überein. Briffa et al. (1998) berichten, dass die tiefsten Sommertemperaturen im europäischen Raum um das Jahr 1600 herrschten, möglicherweise als Folge des Ausbruchs des Vulkans Huaynaputina in Mexiko A.D. 1600. Auch diese Kälteperiode ist durch die vorliegenden Daten aus dem Dachsteingebiet ausgezeichnet wiedergegeben. Generell zeigt Abb. 9, dass in den vergangenen 1250 Jahren Kaltphasen und Warmphasen einander im Rhythmus von 20 bis 50 Jahren abwechselten. Auch die Variabilität der Temperatur des 20. Jahrhunderts liegt noch innerhalb dieser Größenordnung. Interessanterweise spiegelt sich der deutliche Anstieg der Temperaturmesswerte aus Kremsmünster im 20. Jahrhundert nicht im Wachstum der Bäume am Dachsteinplateau wieder. Das könnte daran liegen, dass bei der Beprobung lebender Bäume gezielt sehr alte Individuen ausgewählt wurden, deren Reaktion auf klimatische Veränderungen möglicherweise nicht der von Bäumen mit voller Vitalität entspricht.

Ausblick

Die gegenständliche Arbeit versteht sich als erster Schritt, bereits vorhandenen mehrtausendjährigen Rekonstruktionen der Sommertemperatur im skandinavischen Raum und in Sibirien eine Temperaturrekonstruktion aus dem Alpengebiet gegenüberzustellen. Das Ziel des Vorhabens als Ganzes

ist es, den beobachteten, möglicherweise anthropogen verursachten, Anstieg der Temperatur im letzten Jahrhundert in den Kontext der Variabilität der Temperatur vergangener Jahrtausende zu stellen. Nur das ermöglicht es, abnormale Temperaturschwankungen auch als solche zu erkennen. Ein nicht zu unterschätzender Nebeneffekt der Erstellung langer Jahrringchronologien ist jener, dass es damit möglich wird, immer ältere Holzreste aus prähistorischen Siedlungen, etwa des Raumes Hallstatt, auf das Jahr genau zu datieren.

Erste Hinweise auf eine mögliche Datierung der noch vorhandenen schwimmenden Blöcke liegen bereits vor. Mit Hilfe der Zirbenchronologien von Dr. Kurt Nicolussi (Inst. f. Hochgebirgsforschung, Uni Innsbruck) gelang es, eine vorläufige 3500 Jahre lange Dachsteinchronologie zu erstellen.

Nichtsdestoweniger ist es erforderlich, weitere Seen in der Obersteiermark zu beproben. Nur dadurch können Chronologien erhalten werden, die ausreichend abgesichert sind, um Klimarekonstruktionen zu rechnen.

Literaturverzeichnis

- Bradley RS, Jones PD (1993) "Little Ice Age" summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene* 3: 367-376
- Bradley RS, Jones PD (1995) *Climate since A.D. 1500*. Routledge, London New York
- Briffa KR, Bartholin TS, Eckstein D, Jones PD, Karlen W, Schweingruber FH, Zetterberg P (1990) A 1400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. *Nature* 346: 434-439
- Briffa KR, Jones PD, Schweingruber FH, Shiyatov SG, Cook ER (1995) Unusual twentieth-century summer warmth in a 1000-year temperature record from Siberia. *Nature* 376: 156-159
- Briffa KR, Jones PD, Schweingruber FH, Osborn TJ (1998) Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature* 393: 450-455
- Fritts HC (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London New York San Francisco
- Liebert S (1996) *Eichenchronologie im Raum Wien*. Diplomarbeit, Univ. f. Bodenkultur Wien
- Mandl F, Cerwinka G Hg. (1998) *Dachstein. Vier Jahrtausende Almen im Hochgebirge*. ANISA, Haus i. E.
- Schweingruber FH (1989) *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Wimmer R, Vetter RE (1999) *Tree Ring Analysis: Biological, Methodological and Environmental Aspects*. CAB International, Oxon New York