

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 155 (2004)

**Heft:** 6

**Artikel:** Fossile Föhren - präzises Werkzeug der Paläoklimaforschung : Stand der Jahrringforschung an fossilen Bäumen und Vernetzung hochauflösender Archive

**Autor:** Kaiser, Klaus Felix / Schaub, Matthias

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1098116>

### **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:** 11.04.2026

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

# Fossile Föhren – präzises Werkzeug der Paläoklimaforschung

## Stand der Jahrringforschung an fossilen Bäumen und Vernetzung hochauflösender Archive

KLAUS FELIX KAISER und MATTHIAS SCHAUB

**Keywords:** Fossil pines; Lateglacial; Dansgaard-Oeschger Cycles; high-resolution archives; abrupt climatic variations. FDK 111.83 : 561.24 : 814

### 1. Einleitung

Amerikanische Forscher (HUGHEN *et al.* 2000, 1998, 1996) haben die Sedimente im tropischen Cariaco-Becken am südöstlichen Rand des Karibischen Meeres untersucht. Es gelang ihnen, diese jahreszeitlich geschichteten Ablagerungen, man nennt sie Meereswarven, zwischen 15 000 und 9000 Jahren vor heute sowie die darin enthaltenen Klimaschwankungen zu erfassen. Dabei handelt es sich um die ausgehenden 3400 Jahre der letzten Eiszeit und die ersten 2600 Jahre der heutigen Warmzeit.

Den europäischen und amerikanischen Forschungsprojekten GISP (Greenland Ice Sheet Project) und GRIP (Greenland Ice-Core Project) gelang es mit ihren Bohrungen im Grönlandeis, sogar zwei Eiszeitzyklen abzudecken und bis ins vorletzte Interglazial vorzustossen (GRIP MEMBERS 1993; TAYLOR *et al.* 1993). Das Grönlandeis ist ebenfalls jahreszeitlich geschichtet. In seinem jüngeren Teil sind auch noch Jahresschichten zu erkennen.

Ein schweizerisch-deutsches Forscherteam (FRIEDRICH *et al.* 2001, 1999) hat seinerseits anhand von fossilen Föhren, welche die Wiederbewaldung Mitteleuropas im Spätglazial, also

am Ende der letzten Eiszeit, widerspiegeln, eine über tausend Jahre umfassende Chronologie erstellt. Zudem wurden weitere kürzere Jahrringfolgen in Mitteleuropa und Nordamerika aufgebaut (KAISER 1994, 1993). Die absolute Eichenchronologie (BECKER 1993) wurde überarbeitet und bis 10 340 Jahre vor heute ausgedehnt (SPURK *et al.* 1998). Die bisher floatende, noch ältere Föhrenchronologie aus süddeutschem Material von Main, Donau und Rhein (SPURK *et al.* 1998), im ältesten Bereich ergänzt durch Schweizer Funde, wurde bei der Eichenchronologie eingehängt und auf diese Weise absolut datiert. Damit erstreckt sich die absolute Jahrringchronologie zurück bis ins Jahr 12 449 vor heute, also bis tief in die letzte Eiszeit, welche 11 600 Jahre vor heute endete.

Diese unterschiedlichen Klimaarchive können miteinander vernetzt werden. Davon erhalten wir ein ausgesprochen gutes Bild, wie sich das Klima am Übergang zwischen letzter Eiszeit und heutiger Warmzeit entwickelt hat. Das  $\delta^{18}\text{O}$  im europäischen GRIP-Bohrkern widerspiegelt die Schwankungen der Jahrestemperatur in Grönland (JOHNSON *et al.* 1992; DANSGAARD *et al.* 1993). Die elektrische Leitfähigkeit des Eises im amerikanischen GISP-Bohrkern bricht in den Kaltzeiten zusammen (TAYLOR *et al.* 1993). Das ist eine Folge der Staubstürme, die während der Kaltphasen das Eis verunreinigten. Sie bilden einen Proxiparameter für die Vegetationsbedeckung des Spätglazials. Die Jahrringbreiten (mm/100) dürften mit den spätglazialen Sommertemperaturen korrelieren und stimmen gut mit den anderen Archiven überein. Es besteht jedoch noch eine Lücke in der Reihe. Die «grey scale» der Cariaco-Warven sind ein Parameter für die Bioproduktivität dieses Meeresbeckens westlich der Kleinen Antillen im Bereich der Passatwindströmung (HUGHEN *et al.* 1998, 1996) (Abbildung 1).

### 2. Abrupte Klimawechsel am Ende der Eiszeit

#### 2.1 Auf Eiszeit folgt heutige Warmzeit

Das eiszeitliche Klima zeichnet sich durch grosse Schwankungen aus, die in Grönland bis zu 8 °C erreichten (Abbildung 2). Von der letzten Warmzeit, dem Eem, welche rund 4 °C wärmer war als die jetzige Warmzeit, schwingen sich die Temperaturen im Verlaufe der Eiszeit in Zyklen von 6000 bis 8000 Jahren – den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Zyklen (DO-Zyklen) – in die kälteste Phase der letzten Eiszeit, dem Würm, vor rund 22 000 Jahren (DANSGAARD *et al.* 1993). Damals erreichten alle Schweizer Gletscher ihre maximale Ausdehnung. Der Rhein-Bodensee-Gletscher etwa drang bis zum Rafzerfeld vor, der Linth-Rhein-Gletscher schob sich durchs Glatttal bis in die Stadler Senke und im Limmattal bis Killwangen. Die mittlere Jahrestemperatur lag damals in Grönland 8 °C unter der heutigen.

Im Verlaufe der DO-Zyklen häuften sich in den vereisten Gebieten Nordamerikas, Grönlands und Nordeuropas jeweils gewaltige Eismassen an. Am Ende von mehreren dieser DO-Zyklen entluden sich eigentliche «Eisberg-Armadas» in die

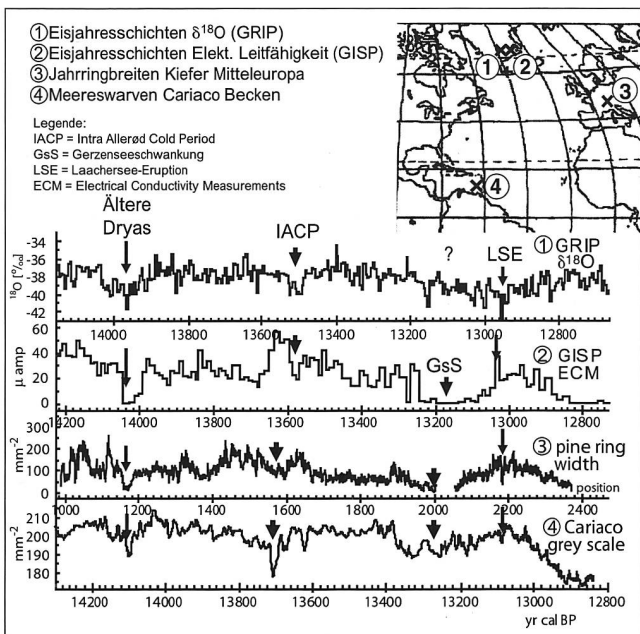
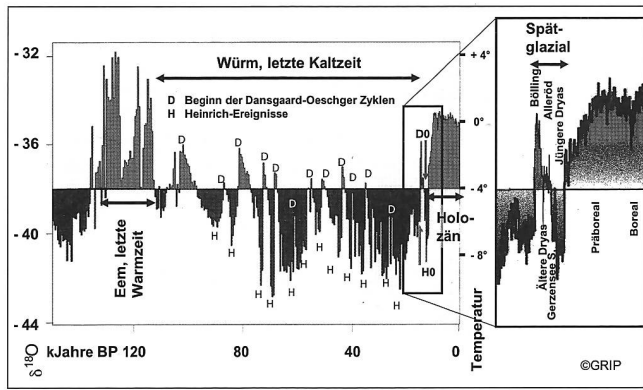


Abbildung 1: Klimaarchive im Vergleich.

Es zeigen sich in den drei hochauflösenden Klimaarchiven (Grönlandeis, karibische Meereswarven, europäische Jahrringe) neben dem Übergang in die Jüngere Dryas mindestens drei klimatische Rückschläge: die Ältere Dryas, die IACP und die Gerzenseeschwankung. Als wichtigste Isochrone zeigt sich vermutlich der Ausbruch des Laacherseevulkans in der Eifel, LSE, der die Jahrestemperatur negativ und die elektrische Leitfähigkeit positiv beeinflusst. Das Datierungsproblem zeigt sich in den Abweichungen zwischen den Archiven. Wenn es gelingt, die bisherigen als «waldfrei» angesehenen Phasen zu überbrücken, werden die Jahrringchronologien die Dauer des Spätglazials bestimmen.



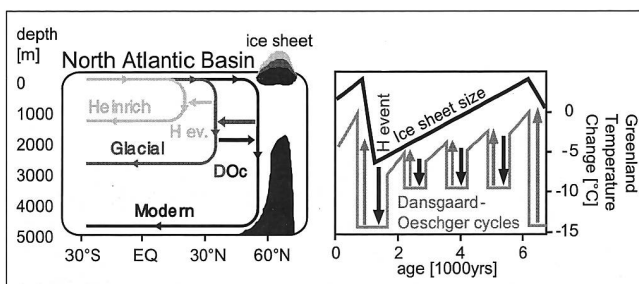
**Abbildung 2:**  $\delta^{18}\text{O}$  aus dem Grönlandeis.

Die Temperaturschwankungen gegenüber der heutigen sind vom  $\delta^{18}\text{O}$  der Eisjahresschichten abgeleitet. Die letzte Warmzeit, das Eem, war durchschnittlich 4 °C wärmer als heute (GRIP MEMBERS 1993). Auffällig sind der unruhige Verlauf der Temperaturen während der Würmeiszeit und der sehr ausgeglichene seit Beginn unserer Warmzeit. Die DO-Zyklen beginnen mit einer Temperaturspitze und schwingen sich dann zu einem Temperaturminimum, den Heinrich-Ereignissen hinab, welches in Grönland um 8 °C oder mehr unter dem holozänen Niveau liegt. Der letzte DO-ähnliche Zyklus (D0) beginnt mit der spätglazialen Wärmephase des Böllings und endet im letzten Heinrich-Ereignis (H0) auf dem Höhepunkt der Jüngeren Dryas. Auffällig sind die abrupten Temperaturänderungen bis und mit Beginn des Holozäns.

Ozeane und brachten im Nordatlantik vorübergehend die Meeresströmung und die Tiefenwasserbildung zum Erliegen (ALLEY *et al.* 1999). Diese «Heinrich-Ereignisse» sind im Nordatlantik als Schichten von feinem, glazialen Schutt bis auf die Breite der Azoren nachgewiesen. Die Heinrich-Ereignisse endeten jeweils abrupt, als die ozeanische Zirkulation wieder in Gang kam. In der Folge nahmen die Temperaturen Grönlands rasch um bis zu 6 °C zu (Abbildung 3).

## 2.2 Wiederbewaldung trotz Kälteeinbrüchen

Der vorläufig letzte DO-ähnliche Zyklus, das Spätglazial, begann vor rund 14 500 Jahren. Zu Beginn des Zyklus stiegen die Durchschnittstemperaturen binnen weniger als 50 Jahre gegen 6 °C und erreichten beinahe das heutige Niveau. Das Gletschereis zerfiel rasch, und aus Südwesten wanderten die Pionierbäume Birke (*Betula* spp.) und Föhre (*Pinus sylvestris* L.) ins Schweizer Mittelland und die Schwäbisch-Bayrische Hochebene ein. Im Dättнау bei Winterthur entwickelt sich auf Grund dieser abrupten Klimaverbesserung innert 32 Jahren ein Wald von mindestens 18 Föhren (KAISER 2003, 1993). Etwas



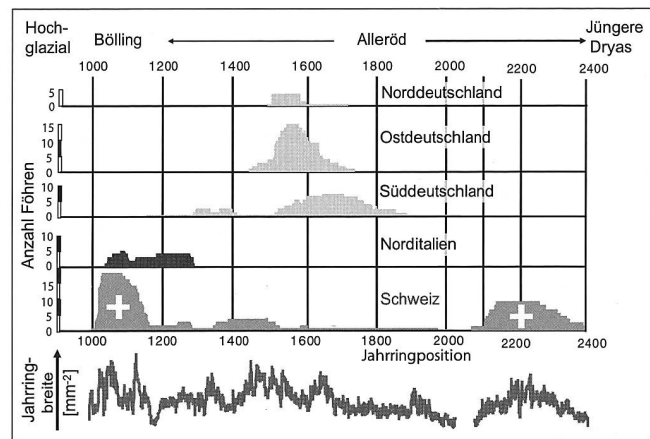
**Abbildung 3:** Dansgaard-Oeschger Zyklen und Heinrich-Ereignisse.

Die Rhythmen der Meereszirkulation und der Tiefenwasserbildung im Nordatlantik stehen in Wechselwirkung mit dem An- und Abschwelen der Inlandeismassen Grönlands und Nordamerikas. Es werden drei Zirkulationsmuster unterschieden, der moderne, der glaziale und der Heinrich-Zustand. Die linke Hälfte zeigt die räumliche Ausdehnung der verschiedenen Zirkulationsmuster, die rechte die zeitlichen und die Temperaturverhältnisse in Beziehung zur Ausdehnung der Inlandeismassen (ALLEY *et al.* 1999).

verzögert lässt sich die Wiederbewaldung auch in den Zürcher Utolehen, den Donauschottern Bayerns und südlich der Alpen in der Tongrube von Avigliana nachweisen (Abbildung 4). Sie setzt sich im Osten in den Braunkohletagbaugebieten der Lausitz und Reichwaldes sowie im Norden Deutschlands im Moor von Warendorf fort (FRIEDRICH *et al.* 2001). Mit Bäumen von diesen Lokalitäten konnte eine gut tausendjährige Jahrringchronologie aufgebaut werden (Abbildung 4).

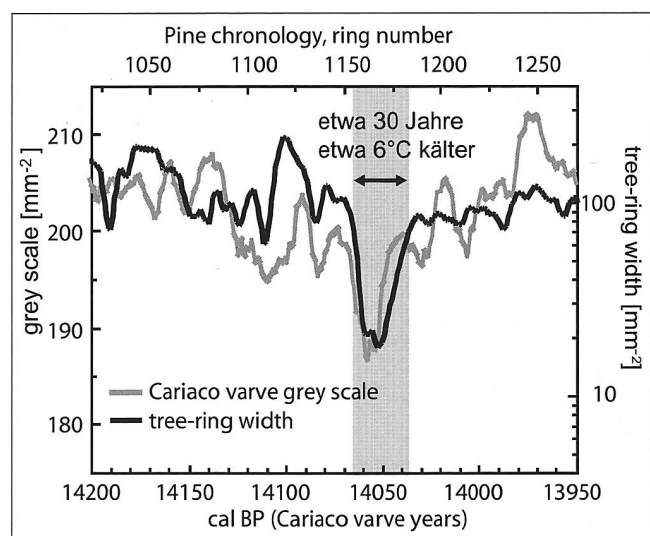
Auch diese erste Wärmephase, Bölling/Alleröd genannt, war von kurzen Klimaeinbrüchen gekennzeichnet. Die erste dieser Kaltphasen, die Ältere Dryas, hinterliess ihre Spuren in allen drei Archiven. In den Meereswarven im Cariaco-Becken und den Jahrringen der Bäume kam es während rund 30 Jahren zu einem Temperatursturz von 4 bis 6 °C (Abbildung 5) (FRIEDRICH *et al.* 2001).

Eine weitere markante Störung von acht Jahren in Baumringen und Meereswarven zeigt sich 200 Jahre vor dem Ende des Alleröds (FRIEDRICH *et al.* 2001). Im grönländischen Glet-



**Abbildung 4:** Replikation der spätglazialen Chronologien.

Die Belegung nach Fundstellen widerspiegelt die Zufälligkeit der fossilen Baumfunde (*Pinus sylvestris* L.). Als besonderer Glücksfall erwies sich die Lehmgrube Dättнау bei Winterthur. Die Jahrringbreitenkurve zeigt die Ältere Dryas sowie andere Klimaschwankungen, welche das Wachstum der Bäume eingeschränkt hatten. Das Zeitfenster des Bölling/Alleröds öffnet ungefähr 1400 Jahre zwischen etwa 14 300 und 12 900 Jahren vor heute.



**Abbildung 5:** Ältere Dryas.

Der Vergleich der Jahrringbreiten aus Mitteleuropa mit den Warven «grey scale» von Cariaco während der Älteren Dryas zeigt erstaunlich gute Übereinstimmung während dieses abrupten Klimarückschlages. Es handelte sich um ein Ereignis, das sich über die gesamte Nordhemisphäre ausgewirkt hatte. Die Temperaturen fielen in Grönland um 6 °C. In Mitteleuropa dürfte der Temperaturrückgang geringer gewesen sein (HUGHEN *et al.* 2000, 1996).

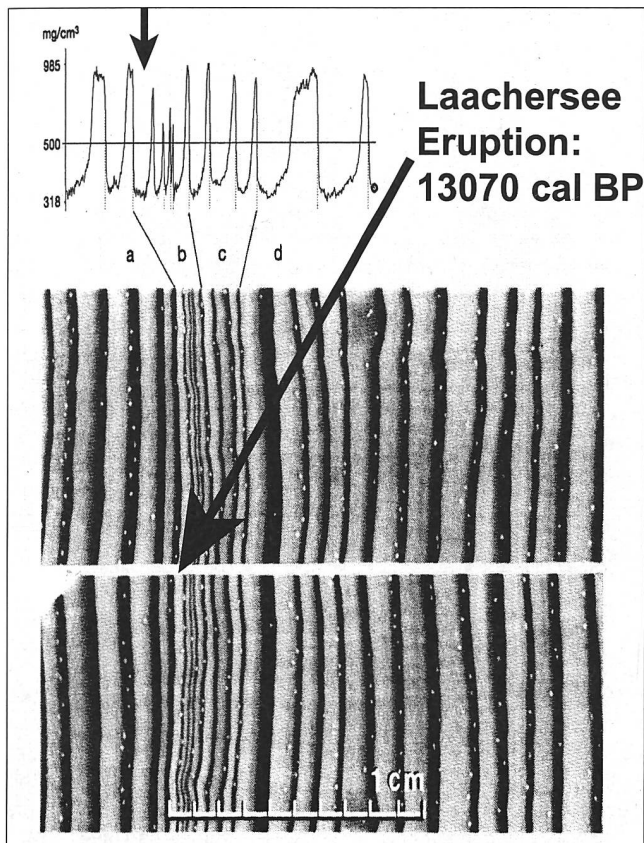


Abbildung 6: Die Laacherseeeruption.

Die Laacherseeeruption widerspiegelt sich in den Jahrringen der Föhren (*Pinus sylvestris* L.) von Dättelnau bei Winterthur in Form einer Wachstumsstörung von mindestens fünf Jahren, die in den meisten Bäumen noch weitere drei Jahre anhält. Die Röntgenfoto von Baum K351 zeigt normales Wachstum im Abschnitt a, eine extrem enge Jahrringfolge in Abschnitt b, drei Jahrringe von geringerer Breite in Abschnitt c und in Abschnitt d die Erholung mit normal gewachsenen Ringen. Die Dichtekurve zeigt auf der Ordinate die maximalen Spätholzdichten, auf der Abszisse die Jahrringbreiten. Die Spätholzdichten – im Röntgenbild schwarz – widerspiegeln eine Reduktion der Sommertemperaturen von vier Jahren Dauer.

schereis ist neben der Temperaturabnahme zusätzlich ein markanter Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit festzustellen. Das ist das typische Signal eines Vulkanausbruchs. Mit hoher Wahrscheinlichkeit handelte es sich dabei um die Eruption des Laachersee-Vulkans bei Koblenz 13 070 Jahre vor heute (KAISER 2003, 1993; LITT *et al.* 2003; FRIEDRICH *et al.* 1999). Die säurehaltige Gas- und Aschewolke, die beim Ausbruch ausgestossen wurde, wirkte abkühlend auf das Klima und reduzierte das Pflanzenwachstum (Abbildung 6).

### 2.3 Nach der Jüngeren Dryas das Holozän

Der letzte mit den Heinrich-Ereignissen vergleichbare Klimarückschlag, die Jüngere Dryas, bringt in Grönland einen jähen Temperatursturz von gegen 6 °C; im Vergleich zum Anfang des Spätglazials sind es sogar 8 °C. Die Wälder im Schweizer Mittelland sterben ab, und die Pionierbaumarten Birke und Föhre überlebten nur noch in Refugien wie beispielsweise am Fusse des Üetlibergs. Aus diesem Grunde konnten aus der Zeit der Jüngeren Dryas bisher keine langen Jahrringchronologien aufgebaut werden.

Der rasche Temperaturanstieg am Übergang von der Jüngeren Dryas ins frühe Holozän, also unsere heutige Warmzeit, vollzieht sich binnen weniger als 30 Jahren (Abbildung 7) (FRIEDRICH *et al.* 2001). Die Pionierwälder breiten sich wieder aus und beginnen auch um Zürich die Hänge der Albiskette zu bestocken. Höher gelegene Hangbereiche sind wie im Spät-

glazial noch kahl. Von dort wird der verwitterte Fels in Form von feinen lehmigen Sedimenten durch Regen- und Schneeschmelzwasser in die unteren Hangbereiche geschwemmt und abgelagert. Dadurch werden die dort stockenden Föhren langsam zugedeckt. Die Bäume sterben ab, sobald sie etwa einen Meter tief zugeschüttet sind. Dieser Vorgang dauerte je nach Standort 200 bis 400 Jahre (SCHAUB 2003; KAISER 1993). Diese zugeschütteten Bäume bilden zusammen mit den in den Flussschottern im Süden Deutschlands eingebetteten Kiefern ein lückenloses Jahrringarchiv (KAISER 2002).

### 2.4 Eichen verdrängen die Pioniere

Diese erste Phase des Holozäns, das Präboreal, dauert anderthalb Jahrtausende. Erst im anschliessenden Boreal breiten sich Buchen- und Eichenmischwälder aus und verdrängen die Pionierwälder langsam. Die dendrochronologisch relevante Baumart ist jetzt die Eiche, die dank der im Holz eingelagerten Gerbstoffe in Flusssedimenten oder Mooren ebenfalls hervorragend konserviert bleibt. Flussauen und grosse Mooregebiete Norddeutschlands und Grossbritanniens sind daher bevorzugte Fundorte für fossile Eichen.

Schwankende Grundwasserspiegel in den Mooren lassen die Wälder immer wieder absterben. Die toten Bäume werden mit der Zeit vom Torf überwachsen und schliesslich vom Grundwasser luftdicht eingeschlossen (LEUSCHNER *et al.* 1987). Episodisch wiederkehrende Überschwemmungen vernichten die Auenwälder und lagern deren Stämme in den von Grundwasser gesättigten Schotter ein. Derart versiegelt bleiben sie über Jahrtausende erhalten. Seit Jahrzehnten hat das Team um den 1993 verstorbenen Bernd Becker von der Universität Hohenheim in den Kiesgruben von Rhein, Main, Donau und anderen Flüssen fossile Eichen gesammelt und ausgewertet. In Verbindung mit archäologischen Funden und den Jahrringen historischer Bauten ist so die absolute Eichenchronologie entstanden, die zusammen mit der eingangs genannten Kiefernchronologie und einer Chronologie aus Zürich Wiedikon eine absolut datierte Reihe von 12 449 Jahren ergibt (KAISER *et al.* 2003).

### 2.5 Wie lassen sich Lücken schliessen?

Jahrringchronologien bilden das genaueste Klimaarchiv, denn sie bestehen nicht aus einzelnen Bohrkerne wie jene aus Meeresablagerungen und Gletschereis, sondern basieren auf

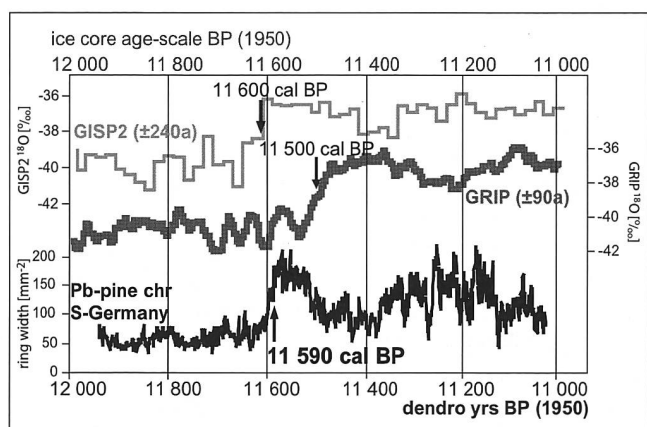


Abbildung 7: Übergang der Jüngeren Dryas zum Präboreal.

Datierung des Übergangs der Jüngeren Dryas zum Präboreal in den Jahrringen und den Eisbohrkernen GRIP und GISP (FRIEDRICH *et al.* 2001). Der Vergleich zeigt einerseits die offenen Datierungsprobleme zwischen den beiden Eisbohrkernen von GRIP und GISP, andererseits die Übereinstimmung der Klimaschwankungen direkt an der Wende in die heutige Warmzeit (FRIEDRICH *et al.* 2001; SPURK *et al.* 1998).

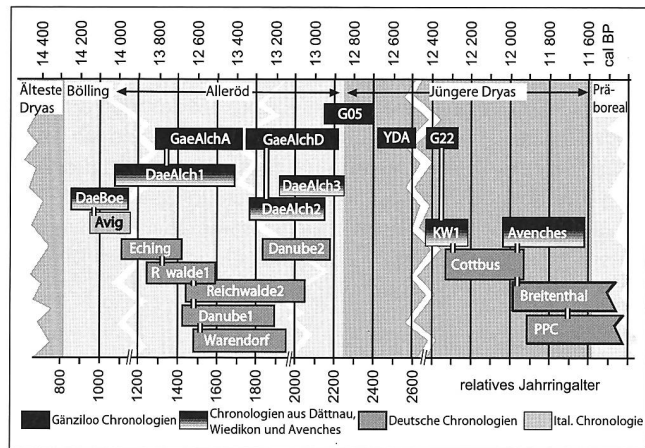


Abbildung 8: Chronologien des Spätglazials.

Die spätglazialen Jahrringchronologien decken wesentliche Teile des Spätglazials ab. Die Gruppen von Chronologien, welche dendrochronologisch zusammenpassen, sind markiert. Dennoch bestehen vorläufig unerklärliche Lücken, indem zeitgleiche Chronologien (noch) nicht synchronisierbar sind. Die Ursachen sind unklar. Dennoch besteht dank der in Auswertung begriffenen Funde aus dem Raume Zürichs, welche die oberste Balkengruppe von Gänziloo ab 13 700 vor heute bis in die Jüngere Dryaszeit ergänzen, Hoffnung, weitere Lücken schliessen zu können (SCHAUB *et al.* 2003b).

mehreren Bäumen desselben Standorts. Die Dendrochronologie misst bei jedem Baum mindestens zwei Radien. Das bedeutet, dass die Messreihe schon bei drei Bäumen wenigstens sechsfach, bei zehn Bäumen wenigstens zwanzigfach belegt ist. Zählfehler und ausgefallene Jahrringe werden daher schnell erkannt (CHERUBINI *et al.* in diesem Heft).

Durch die abrupten Klimarückschläge am Ende der letzten Eiszeit starben die Wälder häufig ab oder wurden auf kleinflächige Refugien zurückdrängt. Darin liegt der Nachteil der Jahrringforschung. Solche Refugien befinden sich in eiszeitlichen Schmelzwasserrinnen des Dänntauertales bei Winterthur oder des Reppischtals (KAISER 1993), in den Hanglehmen des Üetlibergs (SCHAUB 2003; KAISER 1993) oder in den Schottern der süddeutschen Flüsse Donau und Isar. Nur wenn solche Refugien entdeckt und die Bäume geborgen werden können, lässt sich wieder ein Mosaikstein zu den langen Reihen hinzufügen.

Zur groben Einordnung der Funde dienen radiometrische  $^{14}\text{C}$ -Datierungen. Sobald aber die langen Jahrringreihen aufgebaut sind, werden daraus dekadische Proben hergestellt. Diese dienen ihrerseits zur Feinkalibrierung der  $^{14}\text{C}$ -Zerfallsreihe. Fossile Bäume sind als Einzelfunde wohl interessant, aber wenig aussagekräftig. Erst mit einer grossen Anzahl Bäume wird es möglich, lange Reihen zu bilden. Von den gefundenen Individuen lässt sich vielleicht die Hälfte in Teilchronologien integrieren, vorausgesetzt, die Jahrringreihen überlappen wenigstens mit hundert Jahren.

Entsprechend wichtig sind daher die Funde, die in der Umgebung Zürichs an den A4-Baustellen Gänziloo und Landikon gemacht wurden. Diese Funde stammen aus der Zeit des Alleröds und der Jüngeren Dryas und scheinen in weitgehend ungestörten Lehmlagerungen zu liegen. Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen ordnen die Funde der Schichtfolge entsprechend ein und werden mit abnehmender Tiefe jünger (Abbildung 8). Allerdings weisen die Bäume in den ersten 50 Jahren wegen den ständigen Sedimentablagerungen ein gestörtes Wachstum auf. Dendrochronologisch sind solche unruhigen Folgen sehr problematisch und lassen sich nur schwer einordnen. Dennoch konnten auf Grund der neuen Funde bereits verschiedene Teilchronologien aufgebaut werden (KAISER *et al.* 2003; SCHAUB *et al.* 2003a; SCHAUB 2003).

## Zusammenfassung

Die Gegenüberstellung der hochauflösenden Archive (Jahrringe, Eisbohrkerne von GRIP/GISP und Cariaco-Meeresswarven) zeigen eine gute Übereinstimmung. Die wichtigen klimatischen Rückschläge wie Ältere Dryas, Gerzenseeschwankung und Beginn der Jüngeren Dryas sind als hemisphärische Ereignisse erkennbar. Sogar der Ausbruch des Laacherseevulkans (Eifel), 13 070 Jahre vor heute, wurde in allen Archiven aufgezeichnet. Die absolute Jahrringchronologie konnte mit Bäumen aus Zürich bis 12 449 Jahre in die Vergangenheit verlängert werden. Nicht nur für die Dendrochronologie, sondern auch für die  $^{14}\text{C}$ -Kalibration und die Eichung anderer Archive sind lange Reihen entscheidend. Ein weiterer Fortschritt der absoluten Chronologie könnte mit den fossilen Föhren vom Üetliberg erreicht werden.

## Summary

### Fossil pine trees – accurate tool in paleoclimatic research

A comparison of different high-resolution archives, such as tree rings, ice cores and marine varves show high degrees of similarity and reveal significant hemispheric climatic events (Older Dryas, Gerzensee Deviation, onset of Younger Dryas). Even the eruption of the Laachersee volcano (Eifel, Germany) 13 070 years ago is recorded synchronously in all of these archives. Trees from the Zurich area extend the absolute tree-ring chronology back to 12 449 years BP. This extension is relevant for quaternary research as well as for calibrating the  $^{14}\text{C}$  curve and other archives. The recent findings from the Uetliberg may provide further progress in filling the existing gaps in the Lateglacial tree-ring chronologies.

## Résumé

### Les arbres fossiles, des outils précieux de la recherche en paléoclimatologie

La comparaison des archives à haute résolution (cernes, carottes de glace de GRIP/GISP et les varves maritimes) montre une bonne convergence. Les événements climatiques les plus importants, le Dryas 2, la déviation du Gerzensee, le début du Dryas 3, sont tous reconnaissables dans les archives hémisphériques, voire l'éruption du volcan du Laachersee qui a eu lieu il y a 13 070 ans et qui avait été enregistrée dans toutes ces archives. Grâce à des arbres fossiles découverts à Zurich, il a été possible de prolonger la chronologie absolue jusqu'à 12 449 ans dans le passé. L'expansion de ces chronologies est décisive non seulement pour la dendrochronologie, mais aussi pour le calibrage de la courbe de  $^{14}\text{C}$  et l'ajustement d'autres archives. Les pins fossiles de l'Uetliberg ont permis de franchir un nouveau pas dans le domaine de la chronologie absolue.

## Literatur

- ALLEY, R.B.; CLARK, P.U.; KEIGWIN, L.D.; WEBB, R.S. 1999: Making Sense of Millennial-Scale Climate Change. In: Clark, P.U.; Webb, R.S.; Keigwin, L.D. (Eds.): Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scale, Geophysical Monograph 112, Washington D. C., USA: 385–394.

- BECKER, B. 1993: An 11000-year German oak and pine chronology for radiocarbon calibration. *Radiocarbon* 35: 201–213.
- DANSGAARD, W.; JOHNSEN, S.J.; CLAUSEN, H.B.; DAHL-JENSEN, D.; GUNDESTRUP, N.S.; HAMMER, C.U.; HVIDBERG, C.S.; STEFFENSEN, J.P.; SVEINBJÖRNDÓTTIR, A.E.; JOUZEL, J.; BOND, G. 1993: Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364: 218–220.
- FRIEDRICH, M.; KROMER, B.; KAISER, K.F.; SPURK, M.; HUGHEN, K.A.; JOHNSEN, S.J. 2001: High-resolution climate signals in the Bølling-Allerød Interstadial (Greenland Interstadial 1) as reflected in European tree-ring chronologies compared to marine varves and ice-core records. *Quaternary Science Reviews* 20: 1223–1232.
- FRIEDRICH, M.; KROMER, B.; SPURK, M.; HOFMANN, J.; KAISER, K.F. 1999: Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International*: 27–39.
- GRIP-MEMBERS (Greenland Ice-Core Project) 1993: Climate instability during the last Interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature* 364: 203–207.
- HUGHEN, K.A.; SOUTON J.R.; LEHMAN, S. J.; OVERPECK, J.T. 2000: Synchronous Radiocarbon and Climate Shifts During the Last Deglaciation. *Science* 290: 1951–1954.
- HUGHEN, K.A.; OVERPECK, J.T.; LEHMAN, S.C.; KASHGARIAN, M.; SOUTON, J.; PETERSON, L.C.; ALLEY, R.; SIGMAN, D.M. 1998: Deglacial Changes in Ocean Circulation from an Extended Radiocarbon Calibration. *Nature* 391: 65–68.
- HUGHEN, K.A.; OVERPECK, J.T.; PETERSON, L.C.; TRUMBORE, S. 1996: Rapid climate changes in the tropical Atlantic region during the last deglaciation. *Nature* 380: 51–54.
- JOHNSON, S.J.; CLAUSEN, H.B.; DANSGAARD, W.; FUHRER, K.; GUNDESTRUP, N.; HAMMER, C.U.; IVERSEN, P.; JOUZEL, J.; STAUFFER, B.; STEFFENSEN, J.P. 1992: Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature* 359: 311–313.
- KAISER, K.F. 2003: 1648 years of Bølling/Allerød and 933 years of the early Holocene covered by tree-rings. In: Widemann, F.; Taborin, Y. (Eds.): *Geophysical and archeological Chronologies for the upper Palaeolithic*. Proceedings of the international colloquium of Ravello 1994, Edipuglia, Bari, I: 361–367.
- KAISER, K.F. 2002: Mit bruchstückhaften Funden zu einer Klimareihe mit abrupten Einbrüchen. In: Schäfer, K.; Sonderegger, E. (Eds.): *Brüche, Torsi, Unvollendetes – Über das Fragmentarische in Leben, Kunst und Wissenschaft*. Chronos Verlag, Zürich: 17–32.
- KAISER, K.F. 1994: The Two Creeks Interstade Dated Through Dendrochronology and AMS. *Quaternary Research* 42: 288–298.
- KAISER, K.F. 1993: Beiträge zur Klimageschichte vom späten Hochglazial bis ins frühe Holozän, rekonstruiert mit Jahrringen und Molluskenschalen aus verschiedenen Vereisungsgebieten. Ziegler Druck- und Verlags AG, Winterthur, 203 S.
- KAISER, K.F.; KROMER, B.; FRIEDRICH, M.; SCHAUB, M. 2003: Late glacial tree-ring chronologies – status and perspective. In: The Desert Research Institute (Eds.): *XVI INQUA Congress – Programs with Abstracts*. The Desert Research Institute, Reno, USA: 223.
- LEUSCHNER, H.-H.; DELORME, A.; HÖFLE, H.-C. 1987: Eichenstamm-lagen in Mooren und Talauen und die Klimaverschlechterung im Subboreal. *Flora* 177: 283–295.
- LITT, T.; SCHMINCKE, H.-U.; KROMER, B. 2003: Environmental response to climatic and volcanic events in central Europe during the Weichselian Lateglacial. *Quaternary Science Reviews* 22: 7–32.
- SCHAUB, M. 2003: Fossile Föhren der Uto – Autobahnbaustelle als Zeugen spätglazialer Klimaschwankungen. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich, WSL Birmensdorf, Universität Zürich, Zürich, 80 S.
- SCHAUB, M.; KAISER, K.F.; KROMER, B. 2003a: Fossil Pines from loamy slope sediments reflect Lateglacial climatic variations. In: Schleser G.; Winiger M.; Bräuning A.; Gärtner H.; Helle G.; Jansma E.; Neuwirth B.; Treydte K. (Eds.): *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology, and Ecology*, Proceedings of the Dendrosymposium 2002. Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Umwelt, Bonn/Jülich, D, 1/33: 40–46.
- SCHAUB, M.; KAISER, K.F.; KROMER, B. 2003b: Records of Late-glacial pioneer forests on the Swiss plateau provide a high resolution archive. In: The Desert Research Institute (Eds.): *XVI INQUA Congress – Programs with Abstracts*. The Desert Research Institute, Reno, USA: 232.
- SPURK, M.; FRIEDRICH, M.; HOFMANN, J.; REMMELE, S.; FRENZEL, B.; LEUSCHNER H.H.; KROMER, B. 1998: Revisions and Extensions of the Hohenheim Oak and Pine Chronologies – New Evidence about the Timing of the Younger Dryas / Preboreal-transition. *Radiocarbon* 40, 3: 1107–1116.
- TAYLOR, K.C.; HAMMER, C.U.; ALLEY, R.B.; CLAUSEN, H.B.; DAHL-JENSEN, D.; GOW, A.J.; GUNDESTRUP, N.S.; KIPFSTUHL, J.; MOOR, J.C.; WADDINGTON, E.D. 1993: Electrical conductivity measurements from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature* 366: 549–552.

#### Dank

Die in diesem Aufsatz dargestellten Forschungsergebnisse verdanken das Zweier-Forschungsteam der beiden Autoren der fruchtbaren Zusammenarbeit mit Michael Friedrich, samt Mitarbeitern, vom Dendrochronologie-Labor des Botanischen Instituts der Universität Hohenheim sowie Dr. Bernd Kromer, <sup>14</sup>C-Labor des Instituts für Umweltphysik, Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Die Verfolgung unserer Forschungsziele verdanken wir der Unterstützung des Kantonalen Tiefbauamtes des Kantons Zürich und der Dr. Heinrich Jäckli AG (Geologie – Geotechnik – Grundwasser) sowie dem Gastrecht, das wir an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL geniessen.

#### Autoren

PD Dr. KLAUS FELIX KAISER\*, Dipl. Geogr. MATTHIAS SCHAUB, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf.

\*Korrespondenz, E-Mail: kaiser@wsl.ch.