

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 153 (2002)
Heft: 1

Artikel: Jahrringforschung und Klimawandel in den borealen Wäldern
Autor: Schweingruber, Fritz H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098215>

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: 02.05.2026

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

Jahrringforschung und Klimawandel in den borealen Wäldern

FRITZ H. SCHWEINGRUBER

Keywords: Dendrochronology; climate change; boreal forests. FDK 111.83 : 551 : UDK 551.583

Einleitung

Die dendrochronologischen Studien in der zirkumborealen Taiga und den Wäldern der subalpinen Zonen der nördlichen Hemisphäre wurden insbesondere durch die Global-Change-Problematik initiiert. Hier stellen sich folgende Fragen:

- In welcher klimatologischen Situation befinden wir uns heute im zeitlichen Rahmen des Holozäns?
- Bewirken der vom Menschen verursachte CO₂-Anstieg und der Treibhauseffekt ein erhöhtes Holzwachstum?
- Führt die heutige globale Erwärmung zu einem Anstieg bzw. Vorrücken der Waldgrenzen?

Diesen Fragen geht die dendroklimatologische Forschung im nordhemisphärischen Raum nach, denn Bäume liefern kalendergenaue Daten auch aus der vorindustriellen Zeit. Nur wenige meteorologische Stationen im nördlichen borealen Raum vermitteln klimatische Daten aus den letzten 100 Jahren; lebende Bäume jedoch versprechen uns flächendeckende Informationen über 400 und fossile Bäume lokal über 8000 bis 12 000 Jahre. Die dendrochronologische Forschung an der WSL hat die Herausforderung angenommen und liefert nun Teilantworten zu den gestellten Fragen.

Das zirkumboreale Jahrringnetzwerk

Bäume im borealen Raum sind recht langlebig. Im Nadelwald Nordamerikas erreichen die weit verbreiteten Weiss- und Schwarzfichten an Normalstandorten durchschnittlich Alter von 200, an Trockenstandorten von 400 Jahren. In der westlichen eurasiatischen Zone leben Kiefern (*Pinus sylvestris*) und Lärchen (*Larix sibirica* und *Larix dahurica*) durchschnittlich rund 300 bis 400 und in der östlichen 400 bis 600 Jahre.

Jahrringe von Nadelhölzern enthalten mehrere unabhängige, klimatisch und ökologisch interpretierbare Merkmale:

Jahrringbreiten sind mit Jahrringbreiten-Messmaschinen leicht zu messen. Sie enthalten Informationen des Vorjahres und des laufenden Jahres.

Jahrringdichten, insbesondere die jährliche maximale Dichte, sind hochwertige Parameter zur Rekonstruktion der durchschnittlichen täglichen Sommertemperaturen. Zur Erfassung dieses Merkmals bedarf es jedoch der anspruchsvollen densitometrischen Technik.

Das Baumalter, besonders das Keimungs- und Absterbepotential, ist im Übergangsbereich zwischen Taiga und Tundra (Waldgrenzökoton) ein hervorragender Parameter zur Rekonstruktion von Waldgrenzveränderungen

Der Gedanke, Jahrringnetzwerke klimatisch auszuwerten, stammt von GASSNER und CHRISTIANSEN-WENIGER (1942) und FRITTS (1976). Erstere arbeiteten in Anatolien, Letzterer im Südwesten Nordamerikas. Ich konzentrierte mich auf die Beschaffung von Proben lebender Bäume nahe der subalpiner und polaren Waldgrenzen, weil die maximalen Dichten der Fichten, Lärchen und Waldkiefern einheitlich ein hochwertiges Sommertemperatursignal enthalten. Nach der Beschaffung der Proben im westeuropäischen Raum erfolgte 1984 eine viermonatige Sammeltour im Westen Nordamerikas.

1989 gelang es dank des hervorragenden Piloten Ed Goffrey aus Winnipeg, mit einem Wasserflugzeug an etwa 50 Standorten im borealen Gürtel westlich des Makenzie Bohrproben zu nehmen. Die Probenbeschaffung in Russland stand unter einem guten Stern. Der Schweizerische Nationalfonds und später auch die Europäische Union finanzierten die Reisen und meine Freunde Stepan Shiyatov aus Ekaterinburg, Eugen Vaganov aus Krasnojarsk und Achim Bräuning aus Stuttgart (BRÄUNING 1999) machten das Unmögliche möglich: Sie organisierten von 1990 bis 1997 Reisen mit Helikoptern, Flussschiffen und geländegängigen Fahrzeugen. Während neun Expeditionen gelang es, ein flächendeckendes nordeurasiatisches densitometrisches Netzwerk aufzubauen (Abbildung 1).

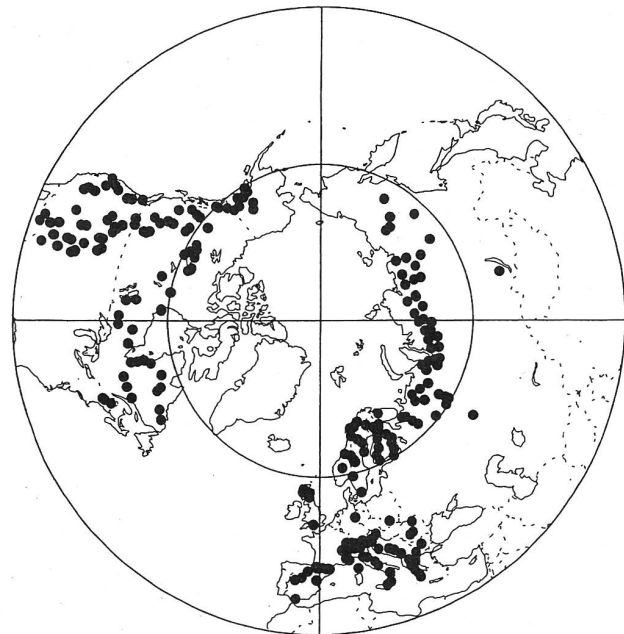


Abbildung 1: Die Lage der Bohrstandorte im nordhemisphärischen Jahrringdichte-Netzwerk.¹

Parallel dazu nahmen einzelne kanadische (LUCKMAN *et al.* 1997, PAYETTE *et al.* 1989), schweizerische (RÖTHLISBERGER 1976), deutsche (ESPER 2000) und russische (HANTEMIROV and SHIYATOV 1999, NAURZBAEV and VAGANOV 1999) Forscher Proben an historischen Gebäuden, Stämmen in Moränen, aus Flusssedimenten und Trockenstandorten entlang der nordhemisphärischen Kälte-Waldgrenzen.

In engster Zusammenarbeit mit Keith Briffa von der Climatic Research Unit an der University of East Anglia in Norwich erfolgte die klimatologische Auswertung. Auf der Basis von 450 Probenstandorten mit 300-jährigen lebenden Bäumen

¹ Für die Auswertung wurden die Proben grösserer Regionen zusammengefasst: NEUR Nordeuropa, NSBI Nordsibirien, ESBI Ostsibirien, NWNA nordwestliches Nordamerika, ECCA, östliches und zentrales Kanada, WNA Westliches Nordamerika, SEUR Südeuropa, CAS Zentralasien, TIBP Tibetatisches Plateau.

und 10 Standorten mit Jahrringabfolgen über ungefähr 1000 Jahre lassen sich folgende Aussagen machen:

Maximale Dichten von Nadelhölzern aus subalpinen und polaren Waldgrenzen sind hervorragende Integratoren der mittleren Tagestemperaturen der Monate April bis September. Dies gilt sowohl für ostsibirische Lärchen aus extrem kontinentalen Gebieten mit zweimonatiger als auch solche aus südsibirischen Standorten mit viermonatiger Wachstumsperiode. Der höchste Informationsgehalt liegt in Jahrringabfolgen Nordeuropas und Nordsibiriens. Diesen Ergebnissen zufolge sind annuelle, flächenhafte dendroklimatologische Rekonstruktionen zwischen 35 Grad Nord bis zu den nördlichsten Waldgrenzen 58 Grad Nord in Nordostamerika und 73 Grad Nord in Taimyr (Zentralsibirien) möglich (Abbildung 1).

Grosse vulkanische Eruptionen beeinflussen die Sommertemperaturen in der nördlichen Hemisphäre

Das «Jahr ohne Sommer» hatte in Europa und Nordostamerika katastrophale Folgen: Wiederholte Kälteperioden im Jahre 1816 vernichteten wachsende Saaten und verhinderten die Einbringung der Ernte. Damals hungerten die Menschen. Solche, auf vulkanische Eruptionen zurückzuführende Ereignisse hemmen das Baumwachstum und sind deshalb in den Jahrringabfolgen erkennbar (BRIFFA *et al.* 1998b).

Werden sämtliche nordhemisphärische, kalendergenau datierten Jahrringbreiten gemittelt sind in einzelnen Jahren extreme Abweichungen erkennbar (Abbildung 2).

Viele dieser Jahrringe mit geringen maximalen Spätholzichten korrespondieren mit bekannten Vulkanausbrüchen, z.B. 1453 mit dem Ausbruch des Kuwae in Indonesien, 1601 mit Huaynaputina in Peru, 1641 mit Mt. Parker in den Rocky Mountains, 1816 mit Tambora in Indonesien und 1912 mit dem Katmai in Alaska. Die durch Jetstreams verbreiteten, vulkanischen Aschen haben stets regionale, nie globale Konsequenzen. Im Jahr 1816 litten beispielsweise der Nordosten

Nordamerikas, Westeuropa und Fernostsibirien unter einer Kältewelle, der amerikanische Westen dagegen wies überdurchschnittlich hohe Sommertemperaturen auf.

Da die Tambora-Eruption in eine mehrjährige vorausgehende Kaltphase fiel, hatte die Kältewelle von 1816 eine Katastrophe zur Folge (Abbildung 2).

Die heutige Klimagunst entspricht derjenigen vor 1000 Jahren

Aus den über 1000-jährigen Reihen lassen sich jährliche, dezentennale und Jahrhunderte dauernde Temperaturanomalien rekonstruieren (Abbildung 3). Sowohl entlang der nordamerikanischen oberen und der eurasiatischen nördlichen Waldgrenze als auch im zentralasiatischen Karakorum-Gebirge (ESPER 2000) entsprechen die maximalen Dichten und Jahrringbreiten um das Jahr 1000 n.Chr. etwa demjenigen der heutigen Zeit. Es sei jedoch betont, dass unterschiedliche statistische Techniken zur Eliminierung von Fehlerquellen in Klima- und Jahrringdatenreihen nicht stets zu gleichen Ergebnissen führen (WMO-STATEMENT 2000)

Die Besonderheit der heutigen Zeit

Die heutige Wärmephase hat ihren Ausgangspunkt am Ende einer Kaltphase zu Beginn des 18. Jahrhunderts in Nordskandinavien oder zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Sibirien. Danach steigen die meteorologisch erfassten Jahres- und Sommertemperaturen wellenartig bis heute an. Das Holzdichtewachstum folgt diesem Trend bis etwa 1960. Danach nehmen die maximale Dichte und in geringerem Masse die Jahrringbreite in fast allen Regionen der nördlichen Hemisphäre ab (Abbildung 4).

Davon ausgenommen sind die Bäume im Wirtschaftswald Westeuropas (SPIECKER *et al.* 1996), die Fichten in Alaska und die Wacholder im Tibet. Hemisphärisch betrachtet liegt der Holzdichtezuwachs etwa auf dem Niveau des 18. und 19. Jahrhunderts. Die Ursache des Holzdichteabfalls ist nicht geklärt.

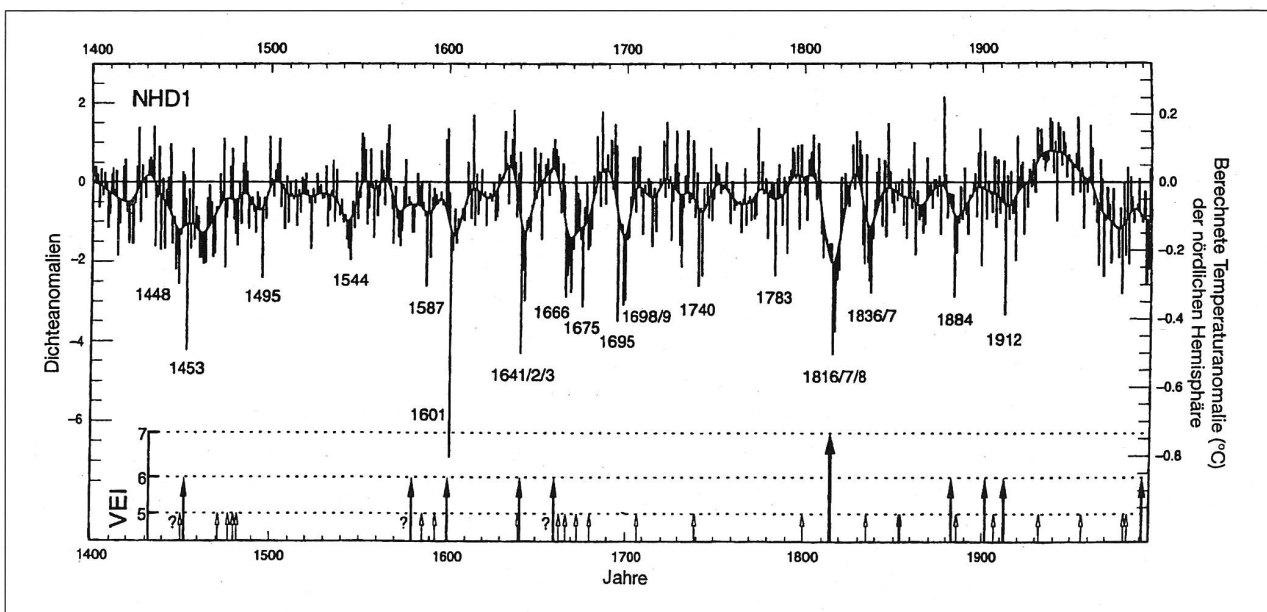


Abbildung 2: Dendroklimatische Rekonstruktion der Sommertemperaturen in der nördlichen Hemisphäre seit 1400 n.Chr. für maximale Dichten.²

² Die dünne schwarze Linie repräsentiert die dezentennalen Dichteveränderungen (20-jähriges gleitendes Mittel). Die vertikalen Balken stellen die jährlichen Abweichungen in Beziehung zur dezentennalen Linie dar. Die Wirkung der wichtigsten Vulkanereignisse auf die Trübung der Atmosphäre ist quantitativ mit vertikalen Pfeilen dargestellt (VEI). Die Jahreszahlen weisen auf die wichtigsten vulkanischen Eruptionen hin (BRIFFA *et al.* 1998b).

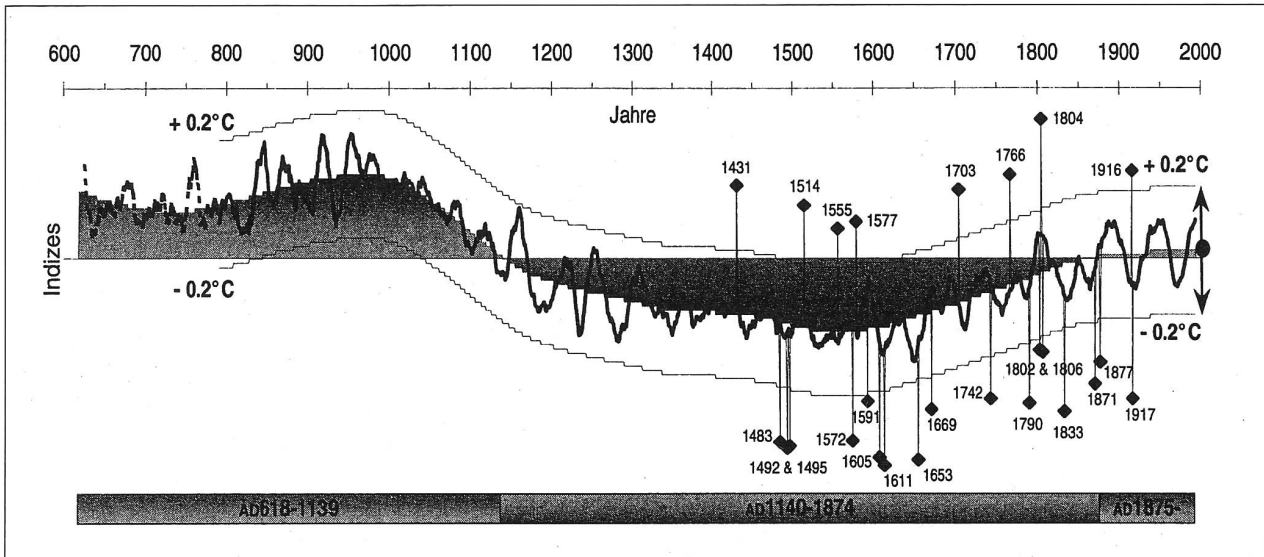


Abbildung 3: Klimaereignisse rekonstruiert aus Jahringbreiten-Chronologien von Wacholdern aus zentralasiatischen Waldgrenzen in Pakistan.³

Es könnten die verkürzten Vegetationsperioden sein, vermuten VAGANOV *et al.* (1999). BRIFFA *et al.* (1998a) spekulieren mit geringerer Sonneneinstrahlung infolge höherer Bewölkung und/oder sauren Niederschlägen. Rein spekulativ kann ein Zusammenhang zwischen dem hemisphärischen Zuwachsabfall und den enormen Schwefeldioxid-Emissionen lokaler Quellen in Sibirien postuliert werden: Der Dichteabfall wie auch der Emissionsanstieg beginnen in den frühen 60er-Jahren. Die hemisphärisch auftretende Diskrepanz zwischen den klimatisch steuernden Faktoren und dem Holzwachstum lässt vermuten, dass zumindest im hohen Norden Bäume, in unserem Falle Stämme, nicht weiterhin als großflächige zusätzliche Kohlenstoffspeicher zu betrachten sind.

Steigen die Waldgrenzen an? Wandern die Waldgrenzen nordwärts?

Ja, aber nicht überall. Im Alpenraum haben wir Mühe, die klimatisch bedingten Wanderbewegungen festzustellen, denn die alpine Waldgrenze ist in historischer Zeit zu stark vom Menschen verändert worden. Wir wissen also nicht, wo sie ursprünglich genau lag.

Im Ural dagegen sind dramatische Veränderungen offensichtlich. Wo wir heute im Süduural auf 1400 m ü.M. im dichten Wald mit etwa 70-jährigen Bäumen stehen, dehnten sich im 19. Jahrhundert ausgedehnte subalpine Rasen aus. Die Diskrepanz bezüglich Waldgrenzveränderungen zwischen den Alpen und dem Ural liegt vermutlich darin, dass im Ural die Grossraubtiere, z.B. Bär, Wolf und Luchs, die Herbivoren-Populationen klein halten. Unter diesen Bedingungen können sich die Baumkeimlinge ohne Verbiss zu Bäumen entwickeln. Die dendrochronologische Forschungsgruppe um Stepan Shiyatov aus Ekaterinburg weist aber mit subfossilem Holz im Waldgrenzökoton nach, dass beispielsweise im Nordural die heutige, vorrückende Waldgrenze im Bereich des Waldes von 1250 v.Chr. liegt und dass die nördliche Waldgrenze vor 6000 Jahren in der Yamal-Halbinsel 150 km nördlich der heutigen lag. Aufgrund dendrochronologischer Belege gibt es keine Hinweise, den heutigen Anstieg der Waldgrenze – soweit er überhaupt stattfindet – als aussergewöhnlich zu beurteilen (SHIYATOV 1992).

³ Dargestellt sind der «Langzeitschwung» für die Periode von 618 n.Chr. bis heute, die wenige Jahrzehnte dauernden Variationen und die extremen Einzeljahreignisse (ESPER 2000).

Schlussfolgerungen

Die Dendrochronologie beantwortet die anfangs gestellten Fragen auf der Grundlage bisheriger Untersuchungen folgendermassen:

- Die Wachstumsgunst der heutigen Zeit entspricht im borealen Raum durchschnittlich ungefähr derjenigen des Frühmittelalters. In der Folge von vulkanischen Eruptionen finden in einzelnen Jahren von der Norm abweichende Abkühlungen statt. Die paläoklimatologische Forschung tut sich jedoch heute noch schwer, die langzeitigen Variationen sicher fassen zu können.
- Weder Erwärmung noch CO₂-Erhöhung fördert das Wachstum der Bäume im borealen Raum. Klima und Wachstum scheinen sich seit etwa 1960 voneinander abzukoppeln.
- Waldgrenzen rücken heute in einigen Gebieten vor, überschreiten jedoch die holozänen Grenzen nicht.

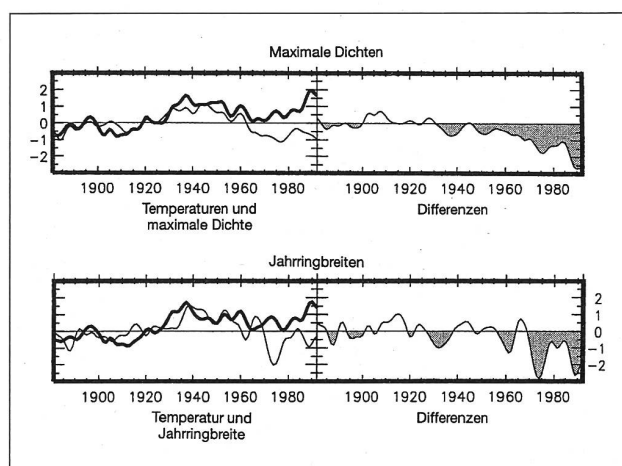


Abbildung 4: Verlauf der meteorologisch gemessenen Sommer-temperaturen seit 1860.⁴

⁴ Sommertemperaturen (dicke schwarze Linie) im Vergleich zur dendroclimatologischen Rekonstruktion aus maximalen Dichten (obere Darstellung) und Jahringbreiten (untere Darstellung). Auf der rechten Seite sind die jeweiligen Diskrepanzen zwischen den Jahringdaten und den gemessenen meteorologischen Sommer-temperaturen dargestellt.

Zusammenfassung

Auf der Basis eines von der WSL gesammelten nordhemisphärischen Jahrringnetzwerkes von Bäumen in der borealen Nadelwaldzone und subalpinen Gebirgslagen wurde nachgewiesen, dass lebende und fossile Bäume grossräumig Indikatoren für Sommertemperaturen in den letzten 8000 Jahren darstellen. Sowohl Jahrringbreiten als auch maximale Dichten weisen einerseits auf kurzzeitig auf das Klima wirkende Vulkanausbrüche und andererseits auf langfristig andauernde Klimaperioden hin.

Die heutige Warmphase entspricht ungefähr derjenigen um das Jahr 1000 n.Chr.

Résumé

Etude des cernes annuels et changement climatique dans les forêts boréales

Les données recueillies par le WSL sur des cernes annuels provenant de l'hémisphère nord (forêts boréales de résineux et forêts de l'étage subalpin) ont permis de prouver que les arbres vivants et fossiles peuvent servir d'indicateurs à grande échelle pour les températures estivales des 8000 dernières années. La largeur des cernes et les densités maximales montrent les effets à court terme des éruptions volcaniques sur le climat et l'influence à long terme sur les périodes climatiques. La période chaude actuelle correspond approximativement à celle de l'an 1000 de l'ère chrétienne.

Summary

Annual ring research and climate change in boreal forests

For a climatological interpretation of annual-ring sequences we used the northern hemispheric tree-ring network collected by the WSL for the boreal zone and subalpine areas. Ring width and maximum densities point to climatological events of short duration triggered by volcanic eruptions, as well as decennial and centennial changes of summer temperatures over the past 8000 years. The current warm period roughly corresponds to that which occurred around AD 1000.

Literatur

- BRÄUNING, A. (1999): Zur Dendroklimatologie Hochtibets während des letzten Jahrtausends. *Dissertationes Botanicae*, Bd. 312, Berlin und Stuttgart, Cramer, 164 S.
- BRIFFA, K.R., SCHWEINGRUBER, F.H., JONES, P.D., OSBORN, T.J., SHIYATOV, S.G., and VAGANOV, E.A. (1998a): Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes. *Nature* 391: 678–682.
- BRIFFA, K.R., JONES, P.D., SCHWEINGRUBER, F.H., and OSBORN, T.J. (1998b): Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature* 393: 450–455.
- ESPER, J. (2000): Long term tree-ring variations in *Juniperus* at the upper timberline in the Karakorum (Pakistan). *The Holocene* 10: 253–260.
- GASSNER, G., und CHRISTIANSEN-WENIGER, F. (1942): Dendroklimatologische Untersuchungen über die Jahresringentwicklung der Kiefer in Anatolien. *Nova Acta Leopoldina* 12: 1–134.
- FRITTS, H.C. (1976): *Tree rings and climate*. London a.o., Academic Press, 567 p.
- HANTEMIROV, R.M., and SHIYATOV, S.G. (1999): Main stages of woody vegetation development in the Yamal peninsula in the Holocene. *Russian Journal of Ecology* 30 (3): 141–147.
- LUCKMAN, B.H., BRIFFA, K.R., JONES, P.D., and SCHWEINGRUBER, F.H. (1997): Tree-ring based reconstruction of summer temperatures

at the Columbia Icefield, Alberta, Canada, AD 1073–1983. *The Holocene* 7: 375–389.

- NAURZBAEV, M.M., and VAGANOV, E.A. (1999): A 1957-year tree-ring chronology of eastern part of Taymir. *Siberian Journal of Ecology* 6: 159–168 (Russisch).
- PAYETTE, S., MORNEAU, C., SIROIS, L., and DESPONT, M. (1989): Recent fire history of the northern Quebec biomes. *Ecology* 70: 656–673.
- RÖTHLISBERGER, F. (1976): Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferpècle und Arolla. In: Schneebeil, W., und Röthlisberger, R. (Hrsg.): *Die Alpen (Sonderheft 8000 Jahre Walliser Gletschergeschichte)* 32 (3–4): 59–152.
- SHIYATOV, S.G. (1992): The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural mountains. In: Frenzel, B. et al. (eds.): *Oscillations of the alpine and polar treelimits in the Holocene*. Stuttgart, Gustav Fischer: 195–202.
- SPIECKER, H., MIELIKÄINEN, K., KÖHL, M., and SKOVSGAARD, J.P. (1996): Growth trends in European forests. Heidelberg a.o., Springer, 372 p.
- VAGANOV, E.A., HUGHES, M.K., KIRDYANOV, A.V., SCHWEINGRUBER, F.H., and SILKIN P.P. (1999): Influences of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature* 400: 149–151.
- WMO-STATEMENT (2000): WMO-statement on the status of the global climate in 1999. WMO-No. 913.

Autor

Prof. Dr. FRITZ H. SCHWEINGRUBER, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf.