

Die Schwarzkiefer als Niederschlagsindikator für Ostösterreich

Michael Grabner¹⁾ und Franz Holawe²⁾

¹⁾ Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Österreich

²⁾ Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, Wien, Österreich

Abstract

The black pine as precipitation indicator for Eastern Austria

The aim of the project was to find precipitation sensitive trees in Eastern Austria and to perform a 500 year long reconstruction of precipitation sums. The black pine (*Pinus nigra* var. *austriaca*) is described in the literature as a precipitation sensitive tree and due to its high age (up to 700 years) it is possible to set up 500 year long reconstructions of precipitation totals in the area of the "Thermenlinie" in the eastern part of Austria. As there is only a small number of trees available in the early period we focus on the period from 1700 to 1995 AD. In addition the parameter "false rings" (or density deviations) was used to reconstruct the amount of precipitation in May. This reconstruction shows interesting results throughout the period from 1880 to 1995 AD especially regarding the interpretation of year rings.

Einleitung

Ist man an einem Zeitfenster der letzten Jahrtausende interessiert, stehen z.B. Jahrringe als Proxy mit hoher zeitlicher Auflösung und exakter Datierbarkeit zur Verfügung. In vielen Datensätzen, welche die Temperaturentwicklung des letzten Jahrtausends beinhalten, sind daher vorwiegend Jahrringe eingeflossen (Mann et al, 1998, 1999). Die Mehrzahl der Nutzung von Jahrringen als Träger für Klimainformation hat die Rekonstruktion der Temperatur im Visier (D'Arrigo et al. 1999, Esper et al. 2002, Nicolussi 2008). Weniger häufig liegen Studien vor, in denen der Niederschlagsverlauf aus Jahrringen rekonstruiert wird (Watson & Luckman 2001; Griggs et al. 2007). Das liegt an der großen räumlichen wie zeitlichen Variabilität dieses Klimatelements, steht aber auch in einem engen Zusammenhang mit dem Fehlen geeigneter Baumarten in klimatologisch geeigneter Umgebung. Im Osten Österreichs wurde im Rahmen des FWF – Projektes P9200-GEO die Schwarzkiefer als Proxy für den Niederschlag untersucht. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse dieses Projektes (Zitate) kurz präsentiert und mit weiteren Analysen ergänzt.

Datengrundlage

Jahringdaten

Das Wachstum der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* var. *austriaca*) wird hauptsächlich vom Niederschlag gesteuert (Strumia et al. 1997, Strumia 1999, Wimmer et al. 2000, Strumia 1999). Dafür wurden an 29 Standorten Bohrkernproben von jeweils 8 bis 20 Bäumen (in Summe 313 Bäume) genommen. Sowohl bei der Auswahl der Standorte als auch der Bäume wurden die lokalen Standortbedingungen berücksichtigt, bei der insbesondere die Wasserversorgung auf der Basis geologischer und pedologischer Unterlagen abgeschätzt worden ist (Strumia, 1999).

Klimadaten

Der Osten bzw. Nordosten Österreichs zeichnet sich durch geringe Jahresniederschlagssummen aus. Diese liegen im Weinviertel, in Teilen des Wiener Beckens und dem Burgenland zwischen 500 und 700 mm pro Jahr. Der Jahresgang ist deutlich ausgeprägt und weist typisch für diesen Klimatyp ein Niederschlagsmaximum während des Sommers auf. Entscheidend für die sprichwörtliche Trockenheit ist die Konzentration des sommerlichen Niederschlags auf wenige Einzelereignisse großer Intensität und die temperaturbedingte hohe Verdunstung. Aber auch die Trockenperioden dauern hier länger und sind häufiger anzutreffen, als im vergleichsweise feuchten Alpenvorland (Nobilis, 1985). Die Standorte der Schwarzkiefern liegen hauptsächlich im Bereich des Überganges der Alpen ins Wiener Becken, ein Gebiet, welches von der klimatischen Trockengrenze durchzogen wird, entsprechend gering positiv oder negativ ist ihre klimatische Wasserbilanz (Harlfinger 1999, BMLFUW 2005).

Obwohl Strumia (1999) für seine Analysen die Klimadaten mehrerer Stationen verwendete, wurden die Berechnungen für die vorliegende Darstellung ausschließlich mit den Daten von Wien – Hohe Warte durchgeführt. Von dieser Station liegen ab 1841 homogenisierte Klimadaten auf Monatsbasis vor (Auer et al. 2001), von denen die Niederschlagssummen in dieser Untersuchung herangezogen wurden.

Methoden

Die Jahrringzeitreihen wurden zunächst mit verschiedenen Methoden vom Alterstrend befreit, um die nicht klimatischen Faktoren im Wachstum möglichst zu eliminieren. Für diese Indexierung oder Standardisierung genannte Beseitigung des Alters-

trends gibt es keine allgemein gültige Methode (Fritts 1976). Es ist daher zunächst in jedem Falle notwendig, die jeweils geeignete Methode der Indexierung herauszufinden. Im gegenständlichen Fall erwiesen sich die Modellierung des Alterstrends mit einem Spline bzw. durch eine regionale Kurven-Approximation (Zitat) mit nachfolgender autoregressiver Anpassung als beste Lösungen für dieses Problem. Zudem wurden neben Mittelwerten und Standardabweichungen die bei der Auswertung der Jahrringsequenzen üblichen Kenngrößen, wie das Signal zu Rauschverhältnis oder die Signal-Stärke, als Funktion des Stichprobenumfanges berechnet.

Der Zusammenhang der indexierten Reihen mit den Zeitreihen der Klimavariablen erfolgt über eine multiple Regressionsanalyse. Dabei erfolgt diese Analyse nicht mit den Klimavariablen, sondern mit den aus ihnen extrahierten Hauptkomponenten (von Storch und Zwiers 1999). Das hat den Vorteil, dass Kollinearitäten ausgeschaltet werden, da die Prediktoren orthogonal und deren Zeitkoeffizienten nicht korreliert sind. Damit lässt sich eine Regressionsgleichung aufstellen, mit deren Hilfe aus dem Verlauf der indexierten Ringbreiten oder, im gegenständlichen Fall, Spätholzanteile, der Verlauf der Klimavariablen, hier die Summe des Sommerniederschlags, rekonstruiert wird. Dabei werden die Parameter der Regressionsgleichung mittels Bootstrap-Methode geschätzt. In der Regressionsgleichung, mit deren Hilfe die Niederschlagssumme des Mai geschätzt wird, steckt als Dummy-Variable die Häufigkeit der in den Jahrringen festgestellten Dichteschwankungen. Dabei wird ein Schwellwert von 0,4 (Einheit/Häufigkeit?) verwendet und damit die Zeitreihe der Dichteschwankungen binär kodiert.

Bei den verwendeten Niederschlagsdaten handelt es sich um die bereits homogenisierten Zeitreihen der Station Wien Hohe Warte (Auer et al. 2001). Für die Berechnungen im Rahmen dieser Untersuchung wurden die auf den Zeitraum 1901-1990 bezogenen Abweichungen herangezogen, wohingegen sich Strumia (1999) auf den Zeitraum 1961-1990 bezog. Uns schien eine längere Bezugsperiode die bessere Wahl zu sein, auch wenn damit die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Studien (z.B. Casty et al. 2005) erschwert wird. Für die Analyse des Zusammenhanges der Dichteschwankungen mit den Niederschlagssummen der Monate April bis Juni wurden die Messdaten binär kodiert. Dabei diente der Median als Schwellwert. Demgemäß gibt es in dieser neuen Zeitreihe nur zwei Zustände, feucht und trocken.

Ergebnisse

Bereits in einer ersten Darstellung vorläufiger Ergebnisse wurde ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Zuwachs und dem Niederschlag der Monate April bis August aufgezeigt. Zudem wiesen einige der Bäume ein Alter von mehreren hundert Jahren auf, sodass eine Rekonstruktion des Niederschlags über einen längeren Zeitraum möglich schien (Strumia et al. 1997). In einer weitführenden und sehr detaillierten Analyse stellte Strumia (1999) das Potential der Schwarzkiefer als Klimaindikator dar. Nach einer umfassenden Präsentation der Grundlagen der Dendrochronologie finden sich in dieser Untersuchung viele Details der Niederschlags-Wachstums Beziehung der Schwarzkiefer. Die räumliche Verteilung der Probenstandorte erlaubte es, räumliche Unterschiede herauszufiltern, den Verlauf des Niederschlags sowohl für die Sommermonate (JJA?) als auch das Zeitfenster von April bis August zu rekonstruieren. Auf den Zusammenhang der Dichteschwankungen mit der Trockenheit des Mai wird bereits in Strumia (1999) hingewiesen. Eine detaillierte Auswertung dieses Zusammenhanges erfolgte in einer weiteren Untersuchung (Wimmer et al. 2000).

Rekonstruktion der Niederschlagssumme von Juni bis August im Zeitfenster von 1700 bis 1845

Aus seinen Analysen folgerte Strumia (1999), dass wegen der zu geringen Belegungsdichte vor 1630 Aussagen über den abgeleiteten Niederschlagsverlauf zu unsicher wären und deshalb eine zeitliche Einschränkung auf den Zeitbereich nach 1630 notwendig wäre. Obwohl Strumia (1999) den Zeitraum ab 1630 als im statistischen Sinne gut belegt ansieht, gibt es im Zeitbereich von 1630 bis ca. 1700 noch zu untersuchende Unklarheiten in den Daten, sodass in der hier vorgelegten Zusammenstellung der Zeitraum ab 1700 zur Darstellung gelangt. Zudem wird der Niederschlag auf das Zeitfenster von Juni bis August, also die Sommermonate eingeschränkt. Für die Rekonstruktion wurde in dieser Analyse außerdem nur der Spätholzanteil als Prädiktor verwendet, wobei sich die dargestellten Abweichungen auf den Zeitraum 1901-1990 beziehen. Die Verwendung des Spätholzanteils erlaubt es, je nach dem zugrundeliegenden Zeitraum, ca. 36 bis 50% der Varianz der Niederschlagssumme der Sommermonate zu erklären (Tab. 1). Es wurde zunächst eine Zweiteilung der Zeitreihe des Sommerniederschlags vorgenommen, jeweils ein Modell für beide Zeiträume kalibriert und anschließend im jeweils anderen Zeitraum verifiziert. Aufgrund der Ergebnisse dieser Analyse (Tab. 1) hätte man im Prinzip jedes dieser

vier Modelle für die Rekonstruktion verwenden können. Der Bezug auf den Kalibrationszeitraum 1846-1920 ist in beiden Fällen etwas besser geeignet als der Zeitraum 1921-1995. Deswegen wurde letztendlich dem Modell 1 der Vorzug gegeben. Der offensichtlich geringere Zusammenhang zwischen Niederschlag und Zuwachs im Zeitfenster 1921 bis 1995 ist wohl eine Folge der insbesondere ab den 1950er Jahren merkbaren Entkopplung dieses Zusammenhanges (Strumia et al. 1997, Brazdil et al. 2001, Wilson et al. 2005).

Zur Darstellung gebracht wurde der Sommerniederschlag (Abb. 1), der mittels des Spätholzanteiles für den Zeitraum ab 1700 als Abweichung von 1901-1990 rekonstruiert wurde (Gleichung 1). Es ist letztlich im Falle der linearen Regression bloß eine Umkodierung. Aus dem Verlauf lässt sich kein Trend ableiten, wohl aber in der Spektralanalyse der Daten (nicht dargestellt) mehrere deutlich ausgeprägte Perioden. Neben mehreren kürzeren Perioden, sind dabei eine 15, 18, 28 und 47-jährige Periode hervorzuheben. Der besseren Übersichtlichkeit und Einheitlichkeit wegen sind sowohl die gemessenen Niederschlagssummen als auch die rekonstruierten Werte mit einem 15-jährigen Tiefpassfilter geglättet worden (Abb. 1).

Tabelle 1: Der Zusammenhang zwischen dem Spätholzanteil und dem Sommer - Niederschlag für zwei Methoden der Bereinigung des Alterstrends und zwei Bezugszeiträume (SH_{STD}, Spätholzanteil nach der Standardisierung; SH_{RES}, Spätholzanteil nach der AR-Anpassung; 01-90, Abweichungen bezogen auf den Zeitraum 1901-1990)

Modell	SH _{STD}	Kalibration	r ²	Verifikation	r ²
1	01-90	1846-1920	0,5052	1921-1995	0,3628
2	01-90	1921-1995	0,3674	1846-1920	0,4997
SH_{RES}					
3	01-90	1846-1920	0,4958	1921-1995	0,4173
4	01-90	1921-1995	0,3679	1846-1920	0,4938

Gleichung 1: Die lineare Regressionsbeziehung zwischen Sommerniederschlag und Spätholzanteil (ausgedrückt als Abweichungen von 1901-1990; SH_{STD}, Spätholzanteil nach der Standardisierung).

$$NS_{Som} = -288.95 + 291.19 \cdot SH_{STD}$$

Im Zeitfenster, in dem auch Messwerte vorliegen, zeigt sich, abgesehen von der Amplitude und einer Phasenverschiebung im späten 19. Jahrhundert, eine grund-

sätzlich gute Übereinstimmung mit den vom Modell geschätzten Werten. Besonders gut wird der Verlauf in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und im gesamten 20. Jahrhundert wiedergegeben. Vertraut man auf die Güte des Modells auch in der Vergangenheit, dann lassen sich feuchtere Phasen, z.B. am Anfang, gegen die Mitte und in der Mitte der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts ausmachen (siehe Abb. 1). Von den trockenen Phasen sind vor allem Zeitabschnitte am Anfang und gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts hervorzuheben. In der betrachteten Zeitreihe ist eine ausgeprägte Abfolge von Jahren mit feuchten und trockenen Sommermonaten enthalten. Einen sehr ähnlichen Verlauf hat Strumia (1999) mit einem anderen Modell und einem anderen Bezugszeitraum, aber unter Verwendung der gleichen Daten erhalten. Ein visueller Vergleich mit der Zusammenstellung in Casty et al. (2005) führt nur in Ausnahmen zu einer Übereinstimmung. Auf eine detaillierte Analyse wird hier jedoch mangels Vergleichsdaten verzichtet.

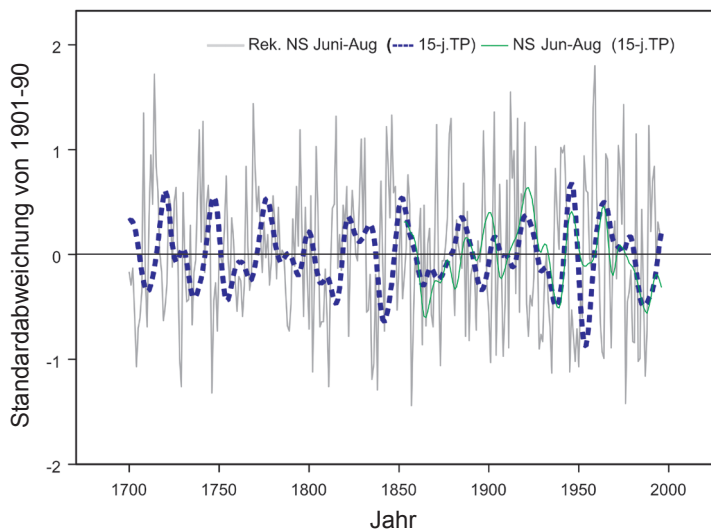


Abb. 1: Der Verlauf des Sommerniederschlags im Zeitfenster 1700-1995 (ausgedrückt als Abweichungen von 1901-1990)

Fig. 1: Time course of summer precipitation between 1700 and 1995 expressed as deviation from the mean 1901-1990.

Rekonstruktion des Frühsommerniederschlags mittels Dichteschwankungen

Im Zuge der Untersuchungen wurde die Eignung so genannter falscher Jahrringe der Schwarzkiefer, auch Dichteschwankungen genannt, für die Klimarekonstruktion überprüft. Es stellte sich zunächst heraus, dass es dabei eine Altersabhängigkeit gibt und jüngere Bäume mit größerer Häufigkeit derartige Signaturen ausbilden (Strumia, 1999). In einer weiteren Untersuchung (Zitat) konnte ein Zusammenhang mit der Trockenheit des Mai gezeigt werden. Dabei standen 50% der Jahre mit einem erhöhten Auftreten der Dichteschwankungen mit einem feuchten April, einem trockenen Mai und einem eher feuchten Juni im Zusammenhang (Wimmer et al. 2000).

Auf einen möglichen Zusammenhang mit dem Klima hat Strumia (1999) bereits hingewiesen, dieses Phänomen jedoch nicht sehr ausführlich diskutiert. In mehreren Untersuchungen wurden „falsche Jahrringe“ als Indikatoren für das Klima verwendet (Priya and Bhat 1998, Hoffer 2007). Neben anderen Umweltfaktoren scheint die Frühsommertrockenheit oder eine Kombination aus trockenem Frühjahr und feuchtem Sommer eine gewisse Rolle bei der Ausprägung dieser Merkmale zu spielen (Villalba & Veblen 1996, Hoffer 2007). Es wurde eine Abhängigkeit der Häufigkeit des Auftretens von Dichteschwankungen vom Alter der Bäume festgestellt. Da die Schwarzkiefer offensichtlich in jüngeren Jahren häufiger falsche Jahrringe ausbildet, mussten alle Bäume unter 100 Jahren von dieser Untersuchung ausgeschlossen werden. Dementsprechend standen die Dichteschwankungen nur bis zum Jahre 1880 zur Verfügung.

Trockenheit im Mai begünstigt die Ausbildung der Dichteschwankungen. Im Zeitraum von 1880-1995 weisen jene Jahre, in denen keine oder eine geringe Zahl von Dichteschwankungen festzustellen ist, nur zu 28% einen trockenen Mai auf. Im Gegensatz dazu war der Mai in 75% der Fälle trocken, wenn die Häufigkeit der Dichteschwankungen größer als der Median des Gesamtzeitraumes ausfiel. Benutzt man jenen Schwellwert der Häufigkeit der Dichteschwankungen, der sich in einer Regressionsuntersuchung als der am besten geeignete herausstellte, kommt die Bedeutung eines trockenen Monats Mai noch deutlicher zum Ausdruck. Während in 36% jener Jahre unterhalb dieses Schwellwertes der Mai trocken (und demnach in 64% feucht) gewesen ist, so ist das in 90% der Jahre der Fall, in denen dieser Schwellwert überschritten wurde. Zudem lassen sich Kombinationen von feuchten und trockenen Monaten ausmachen, welche offensichtlich die Bildung derartiger Merkmale begünstigen (Tabelle 2). Ein trockener Mai in Kombination mit einem feuchten Juni führt zu hohen Dichteschwankungen, wenn auch der April noch feucht war, nimmt die Anzahl der Dichteschwankungen um das Zweieinhalbfache zu, aber ein feuchter April führt in Kombination mit einem trockenen Mai ebenfalls zu erhöhten Dichteschwankungen, auch bei trockenem Juni. Ein feuchter Mai

Tabelle 2.: Die Häufigkeit der des Auftretens von Dichteschwankungen abhängig von der Kombinationen von trockenen und feuchten Monaten im Zeitraum 1880-1995. 0 bedeutet trocken, 1 feucht. Die erste Stelle stellt den April dar; die zweite Mai und die dritte Juni. Somit bedeutet z.B. 101: feuchter April, trockener Mai und feuchter Juni; IADF, Häufigkeit der Dichteschwankungen

	000	001	010	100	011	101	110	111	Σ
IADF ≤ 0,4	14,0	4,6	20,9	11,7	16,2	5,9	10,4	16,3	100,0
IADF > 0,4	6,7	20,0	6,7	13,3	0,0	50,0	3,3	0,0	100,0

jedoch oder drei trockene Monate (AMJ) führen zu keinen oder geringen Dichteschwankungen.

Die Häufigkeit der Dichteschwankungen (IADF) lässt sich aber auch als Variable in eine Regressionsgleichung einbeziehen (Gleichung 2). Dabei hat sich ein Schwellenwert der Häufigkeit der Dichteschwankungen von 0,4 als optimal erwiesen. In Kombination mit der Frühholzbreite lassen sich damit etwa 35% der Varianz der Niederschlagssumme des Mai erklären (Tab. 3).

Tabelle 3: Der Zusammenhang zwischen dem Niederschlag des Mai und einer Kombination aus Frühholzbreite und den Dichteschwankungen als Dummy Variable für zwei Bezugszeiträume (0190....Abweichungen bezogen auf den Zeitraum 1901-1990)

Modell		Kalibration	r ²	Verifikation	r ²
1	01-90	1880-1937	0,3434	1938-1995	0,3919
2	01-90	1938-1995	0,3723	1880-1937	0,3769

Gleichung 2: Die Regressionsbeziehung zwischen der Niederschlagssumme des Mai (ausgedrückt als Abweichungen von 1901-1990) und einer Kombination aus Frühholzbreite (=FH) und den Dichteschwankungen (=DSchw) als Dummy Variable.

$$NS_{Som} = -198.3 - 94.0 * D_{Schw} + 233.79 * FH_{STD}$$

Die mittels der Dichteschwankungen erzielten Ergebnisse sind viel versprechend. Zwar gelingt es nicht, jede Entwicklung des Mainiederschlags in den Jahrringen nachzuvollziehen, aber abgesehen von weniger deutlich ausgeprägten Extremen

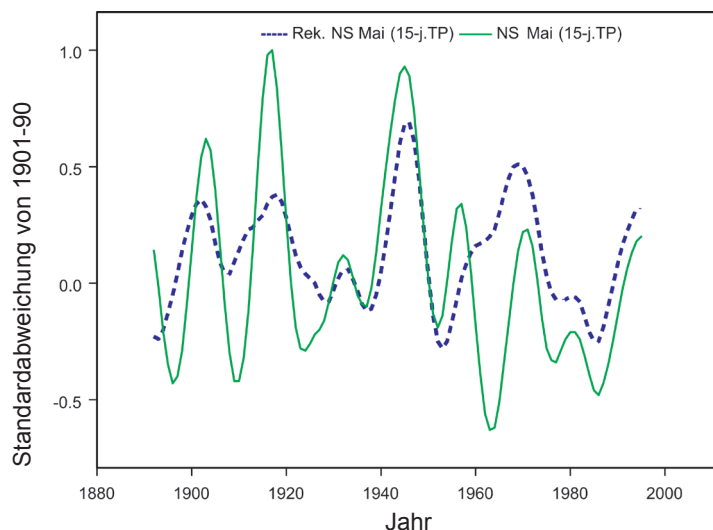


Abb. 2: Der Verlauf des Niederschlags des Mai im Zeitfenster 1890-1995 (ausgedrückt als Abweichungen von 1901-1990)

Fig. 2: Time course of precipitation during May between 1890 and 1995 expressed as deviation from the mean 1901-1990.

und einer deutlichen Abweichung im Zeitfenster von 1960 bis 1970 stimmt aber der Verlauf der aus den Jahrringen rekonstruierten Niederschlagssummen gut mit dem Verlauf der gemessenen Werte überein. Das lässt sich am besten bei den gefilterten Zeitreihen erkennen (Abb. 2).

Schlussfolgerungen

Die bisher vorliegenden Untersuchungen (Strumia et al. 1997, Strumia 1999, Wimmer et al. 2000) haben das Potential der Schwarzkiefer für die Rekonstruktion des Niederschlags ausgewählter Zeitfenster aufgezeigt. Mit einer Verdichtung der Belegung im Zeitbereich vor 1700 ließe sich der Zeitraum zumindest um mehrere hundert Jahre verlängern.

Dank

Wir bedanken uns beim FWF für die Finanzierung des Projekts P9200-GEO.

Literatur

- Auer I., Böhm R., Schöner W. 2001: Austrian long-term Climate 1767-2000. (ALOCLIM) Multiple Instrumental Climate Time Series from Central Europe. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik 25, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien 397: 147p+Data CD-Rom.
- BMLFUW (Hrsg.) 2005: Hydrologischer Atlas Österreichs. 2. Lieferung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. ISBN 3-85437-250-7, Wien
- Brázdil R., Stepankova P., Kyncl T., Kyncl J. 2002: Fir tree-ring reconstruction of March-July precipitation in Southern Moravia (Czech Republic), 1376-1996. *Climate Research*, 20, 2002, 223-239.
- Brázdil R., Pfister C., Wanner H., v. Storch H., Luterbacher J. 2005: Historical Climatology in Europe – the state of the art. *Climatic Change* 70, 363-430.
- Casty C., Wanner H., Luterbacher J., Esper J., Böhm R. 2005: Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *Int. J. Climatol.* 25: 1855-1880.
- D'Arrigo R., Jacoby G., Free M., Robock A. 1999: Northern Hemisphere temperature variability for the past three centuries: tree-ring and model estimates. *Climatic Change* 42, 663-675.
- Esper J.; Cook E.R., Schweingruber F.H. 2002: Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295, 2250-2253.
- Fritts H.C. 1976: *Tree rings and climate*. Academic Press, London, New York, San Francisco, 567 pp.
- Glaser R., Brázdil R., Pfister C., Dobrovolny P., Barriendos Valvé M., Bokwa A., Camuffo D., Kotyza O., Limankówa D., Rácz L., Rodrigo F.S. 1999: Seasonal temperature and precipitation fluctuations in selected parts of Europe during the sixteenth century. *Climatic Change*, 43, 169-200.

Klimawandel in Österreich

- Griggs C., Degaetano A., Kuniholm P., Newton M. 2007: A regional high-frequency reconstruction of May-June precipitation in the north Aegean from oak tree rings, A.D. 1089-1989. *Int. J. Climatol.* 27: 1075-1089.
- Harlfinger O., Knees G. 1999: Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, 58, 196 S.
- Hoffer M. 2007: Density fluctuations (false rings) in jack pine and black spruce trees, Nopiming Provincial Park, Manitoba. Thesis, Dept. of Biology, University of Manitoba, 52 p.
- Hughes M.K. 2002: Dendrochronology in climatology – the state of the art. *Dendrochronologia* 20/1-2, 95-116.
- Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. 1998: Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392, 779-787.
- Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. 1999: Northern hemispheric temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters* 26: 759-762.
- Matulla C., Penlap E.K., Haas P., Formayer H. 2003: Comparative analysis of spatial and seasonal variability: Austrian precipitation during the 20th century. *Int. J. Climatol.* 23, 1577-1588.
- New M., Todd M., Hulme M., Jones P. 2001: Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *Int. J. Climatol.* 21, 1899-1922.
- Nicolussi, K. (2008) Alpine Dendrochronologie – Untersuchungen zur Kenntnis der holozänen Umwelt- und Klimaentwicklung. In: *alpine space - man & environment* 6, 41-54.
- Nobilis F. 1985: Trockenperioden in Österreich. *Verband der Wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs*, Vienna, 293 p.
- Priya P.B., Bhat K.M. 1998: False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. *Forest Ecology and Management* 108, 215-222.
- Schönwiese C.D. 2003: *Klimatologie*, UTB Stuttgart, 440.S
- Strumia G., Wimmer R., Grabner M. 1997: Dendroclimatic Sensitivity of *Pinus Nigra* Arnold in Austria. *Dendrochronologia*, 15, 129-137,
- Strumia G. 1999: Tree-ring based reconstruction of precipitation in Eastern Austria. Dissertation at the University of Life Sciences, Vienna, Austria, 113 p.
- Villalba R., Veblen T.T. 1996: A tree-ring record of dry spring – wet summer events in the forest-steppe ecotone, northern Patagonia, Argentina. In: *Tree rings, Environment and Humanity: Proceedings of the International Conference, 17-21 May 1994, Tucson, Arizona*. Edited by J.S. Dean, D.M. Meko, and T.W. Swetnam. Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, 107-116.
- Villalba R., Cook E.R., Jacoby G.C., D'Arrigo R., Veblen T.T., Jones P.D. 1998: Tree-ring based reconstructions of northern Patagonia precipitation since AD 1600. *The Holocene* 8, 6, 659-674.
- Watson E., Luckman B.H. 2001: Dendroclimatic reconstruction of precipitation for sites in the southern Canadian Rockies. *The Holocene* 11, 2, 203-213.
- Wilson R.J.S., Luckman B.H., Esper J. 2005: A 500 year dendroclimatic reconstruction of spring –summer precipitation from the Lower Bavarian Forest region, Germany. *Int. J. Climatol.* 25, 611-630.
- Wimmer R., Strumia G., Holawe F. 2000: Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation. *Can. J. For. Res.* 30: 1691-1697