

NIEDERSCHLAGSSCHWANKUNGEN IN WESTEUROPA WÄHREND DER LETZTEN 8000 JAHRE

VERSUCH EINER REKONSTRUKTION
MIT HILFE EINES NEUEN DENDROCHRONOLOGISCHEN VERFAHRENS
(GRAD DER WUCHSHOMOGENITÄT)

von Burghart Schmidt und Wolfgang Gruhle

Zur Untersuchung der Beziehung zwischen Klima und Wachstum der Bäume sowie zur Rekonstruktion des Klimas, über den Beginn meteorologischer Aufzeichnungen hinaus, benutzt die Dendrochronologie im allgemeinen die Abfolgen der jährlich unterschiedlichen Zuwächse (Jahrringbreiten). Besonders in extremen Klimazonen mit einem dominierenden Klimafaktor, wie etwa in ariden Gebieten mit niederschlagssensitiven Reaktionen der Bäume, oder in Gebirgs- und borealen Regionen mit eher temperaturabhängigem Wachstum, wird die Jahrringbreite zur Rekonstruktion des Klimas erfolgreich eingesetzt (z.B. Fritts 1976; Briffa 1990; Hughes u. a. 1994; Esper u. a. 2002). Dagegen ist der Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Klima in Westeuropa weniger eindeutig: Die graduelle Wirkung von Temperatur und Niederschlag ist nicht gleichbleibend, sondern unterliegt zeitlichen Schwankungen, beispielsweise während des hochmittelalterlichen Klimaoptimums oder während der mittelalterlichen Kaltphasen, der sogenannten Kleinen Eiszeit.

Beim Aufbau von Jahrringchronologien (Jahrringkalendern) sowie bei der Datierung von Hölzern aus unterschiedlichen Epochen fiel auf, dass die Ähnlichkeit des Baumwachstums (Jahrringbreite) durch die Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg in ihrem Ausmaß deutliche Unterschiede aufweist. Als Ursache hierfür kommen vorrangig klimatische Faktoren in Betracht. Um zu prüfen, ob sich aus den Ähnlichkeitsänderungen des Baumwachstums Klimainformationen gewinnen lassen, haben wir den Grad der Wachstumsübereinstimmung von Eichen Westeuropas für die letzten 8000 Jahre berechnet. Als Maß zur Ermittlung dieser zeitlich unterschiedlichen Ähnlichkeit (Homogenitätsgrad) wurden an Hand der Jahrringbreiten die Korrelationskoeffizienten im gleitenden Zeitfenster berechnet. Die für den Zeitraum der letzten 8000 Jahre deutlich schwankenden Korrelationskoeffizienten ($r = 0.8$ bis $r = -0.1$) sind graphisch dargestellt und werden im Folgenden als Homogenitätskurve (HG-Kurve) bezeichnet. Es soll gezeigt werden, daß mit diesem Wachstumsmerkmal »Homogenitätsgrad« eine Facette des westeuropäischen Klimas erfasst worden ist. Mit der Berücksichtigung der großen Zahl historischer und prähistorischer Hölzer der einzelnen dendrochronologischen Laboratorien dürfte sich diese Homogenitätskurve (HG-Kurve) noch wesentlich verfeinern und präzisieren lassen, vergleichbar etwa mit den Arbeitsschritten beim Chronologieausbau und den damit verbundenen Verbesserungen für die westeuropäischen Jahrringkalender.

Für eine weitere Abschätzung der HG-Kurve ist noch eine Anzahl klimageschichtlicher Arbeiten zu berücksichtigen, wie zum Beispiel die wichtigen Arbeiten von H. H. Lamb oder von C. Pfister, darüber hinaus etwa die Schriftenreihe »European Climate and Man« (B. Frenzel, Hrsg.) oder das neue Buch »Climate, Development and History of the North Atlantic Realm« (G. Wefer, W. H. Berger, K. E. Behre u. E. Jansen, Hrsg.).

Homogenitätsgrad des Baumwachstums

Vorangegangene Beobachtungen

Untersuchungen zur geographischen Reichweite von Jahrringchronologien haben gezeigt, dass die Ähnlichkeit mit zunehmender Entfernung aufgrund regionaler Klimaunterschiede stetig abnimmt, wobei

Gültigkeitsbereiche zwischen 300 und 700 km festgestellt wurden (Delorme 1973; Hollstein 1980). Ähnlichkeiten über größere Entfernungen, wie etwa die relativ hohe Übereinstimmung dendrochronologischer Serien zwischen Polen (Danzig) und Westdeutschland über eine Entfernung von 900 km, sind seltener (Schmidt u. a. 2001b). Diese Beobachtungen beruhen auf Chronologievergleichen im Zeitraum der letzten 1000 Jahre (Abb. 1, a. b).

Beim Aufbau der Eichenchronologie für den nord- und westdeutschen Raum fiel auf, dass die Ähnlichkeit der Jahrringkurven sowohl in der Bronzezeit (2000-1000 v. Chr.) als auch in römischer Zeit ab etwa 40 v. Chr. bis 200 n. Chr. überdurchschnittlich hoch ist. So stimmen zum Beispiel die Jahrringe der Eichen Norddeutschlands sowohl mit denen Nordirlands als auch Süddeutschlands über eine Entfernung von jeweils mehr als 1000 km so deutlich überein, dass sie zweifelsfrei zueinander datiert werden konnten (Pilcher u. a. 1984; Schmidt u. a. 1988; Becker u. a. 1990). Eine derart hohe Übereinstimmung ist während der vergangenen 7000 Jahre – mit Ausnahme der jüngeren Eisenzeit – sonst nicht so deutlich beobachtet worden.

Versucht man dagegen Hölzer aus der Hallstattzeit, zwischen 750 und 400 v. Chr., zu datieren, so hat die Dendrochronologie bereits innerhalb kleinerer Wuchsgebiete (50-100 km) beachtliche Schwierigkeiten, weil die Bäume dieser Zeit eine vergleichsweise geringe Wuchsähnlichkeit aufweisen. Die dendrochronologischen Datierungsmöglichkeiten sind in diesem Zeitraum eingeschränkt.

Ein solcher Ähnlichkeitsunterschied im Baumwachstum wurde bei Untersuchungen in Oberaden besonders deutlich. Die Hölzer aus dem römischen Militärlager, mit dem Fälldatum im Jahre 11 v. Chr., sind in ihrem Jahrringbild extrem einheitlich und daher besonders gut datierbar. Die Datierung dieser Hölzer kann mit allen Kalendern Nord-, West- und Süddeutschlands zweifelsfrei erfolgen. Dagegen bereitete die Datierung der Eichenbretter eines latènezeitlichen Brunnens, innerhalb der römischen Anlage gelegen, besondere Schwierigkeiten, da die Eichen sehr uneinheitlich gewachsen sind. Sie konnten dendrochronologisch (407 v. Chr. oder 250 v. Chr.) zunächst nicht sicher datiert werden (Schmidt 1992a).

Die Frage, welche Faktoren solche zeitlichen Schwankungen zwischen tendenziell homogenem und heterogenem Baumwachstum hervorrufen, ist bisher noch nicht hinreichend geklärt (Schmidt u. a. 1988; 2001b), aber es hat sich bereits gezeigt, dass solche Homogenitätsanalysen zur Verbesserung der dendrochronologischen Datierungsmethode beitragen (Schmidt u. a. 2003a).

Methode zur Berechnung der Wuchshomogenität

Wir berechnen den *Homogenitätsgrad* als Korrelationsfunktion zwischen zwei Jahrringkurven in einem gleitenden Zeitfenster von 20 bzw. 50 Jahren. Zuvor werden die Jahrringbreiten in »Wuchswerte« transformiert (Hollstein 1980, sie zeigen keine Autokorrelation), um langjährige Wachstumstrends zu unterdrücken (Abb. 1, c. d).

Werden sämtliche Jahrringkurven eines Standortes bzw. mehrerer Standorte oder einer Klimaregion untereinander korreliert (bei N Jahrringkurven sind es $N \cdot (N-1) / 2$ Korrelationskurven) und in einer Mittelwertkurve zusammengefasst, so entsteht daraus eine zeitlich schwankende *Homogenitätskurve* pro Standort bzw. Region. Sie beschreibt den Zeitverlauf hoher oder niedriger Ähnlichkeit des Wachstums. In den Homogenitätskurven der folgenden Abbildungen wird in jedem Jahrespunkt die Wuchshomogenität des vorangegangenen Zeitfensters dargestellt, also jeweils im Endpunkt dieses Zeitintervalls.

Um die statistische Unsicherheit niedrig zu halten, muss eine Mindestzahl von zehn Bäumen je Standort oder Region vorliegen. Das Gleitfenster sollte höchstens 50 Jahre breit sein, um auch kurzzeitige Variationen zu erfassen.

Mathematische Wege zur exakten Signifikanzberechnung stehen noch aus: etwa der Einfluss von kleineren Fensterbreiten oder etwa die Anzahl der Paarkorrelationen (z.B. entstehen aus zehn Bäumen bereits 45 Korrelationskurven). In dieser ersten Untersuchung haben wir zunächst nur stark belegte regionale Jahrringchronologien (Jahrringkalender) benutzt, die sich für Datierungszwecke gut eignen.

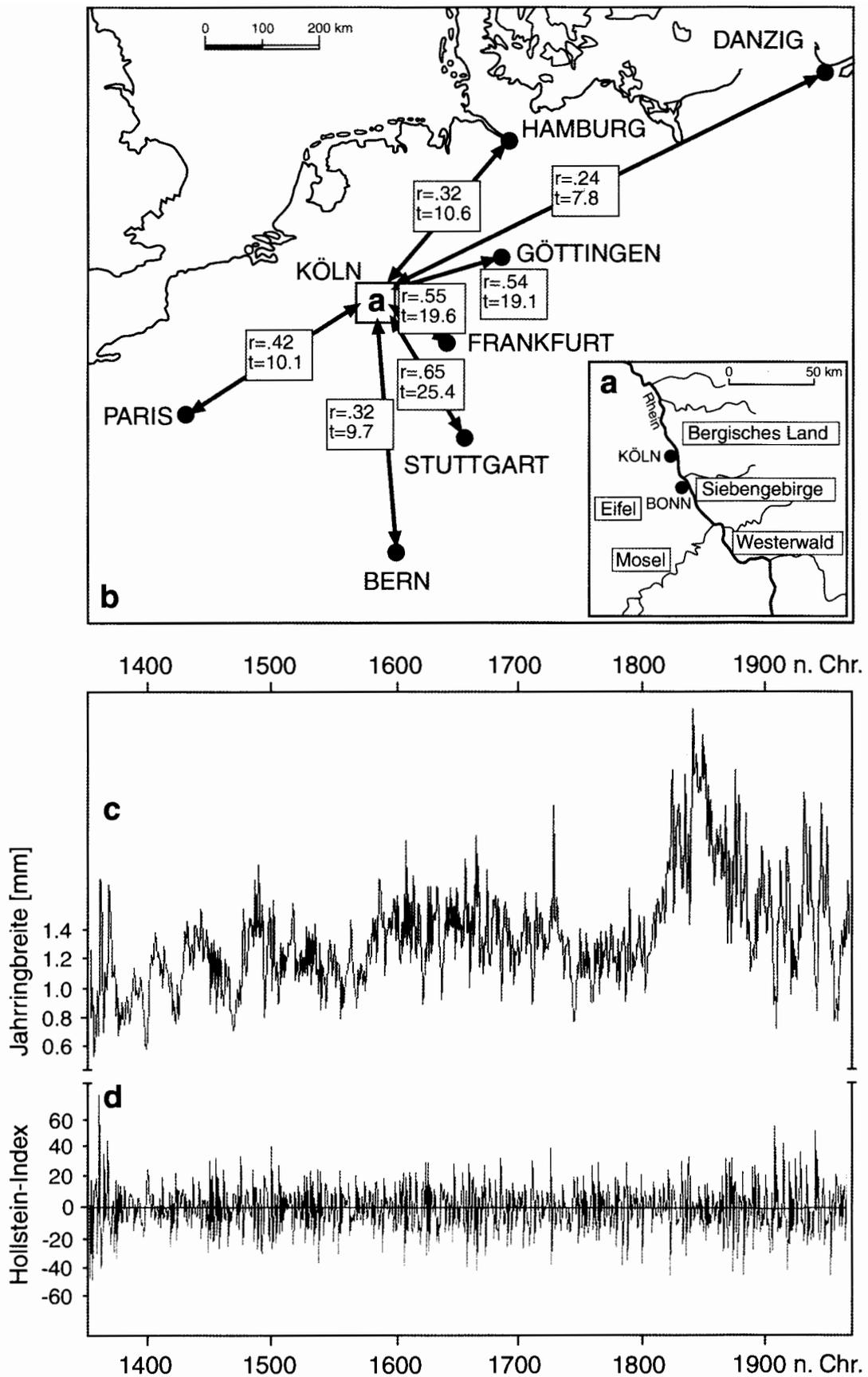


Abb. 1 a Herkunft von untersuchten Jahrringkalendern in Westdeutschland (Distanz: 50-100km). – b Herkunft von acht untersuchten westeuropäischen Jahrringkalendern (Distanz: ca. 250-1200km) mit Korrelationskoeffizienten (r) und t-Werten zur westdeutschen Chronologie. – c Die Jahrringchronologie für das Moselgebiet, als Beispiel für typische Jahrringbreitenschwankungen von Kalendern (Rohdaten) mit Langzeitschwankungen. Die Schwankungen um 1800/1850 beruhen nachweislich auf Standortunterschieden und sind somit nicht klimatisch bedingt. Für die folgenden Analysen werden daher keine Rohdaten verwandt. – d, Jahrringchronologie für das Moselgebiet. Beispiel für die Transformation der Jahrringbreiten $b(i)$ zum Hollstein-Index; $Y(i) = 100 \ln(b(i)/b(i-1))$, um niederfrequente und nicht-klimatisch bedingte Wuchsschwankungen zu eliminieren.

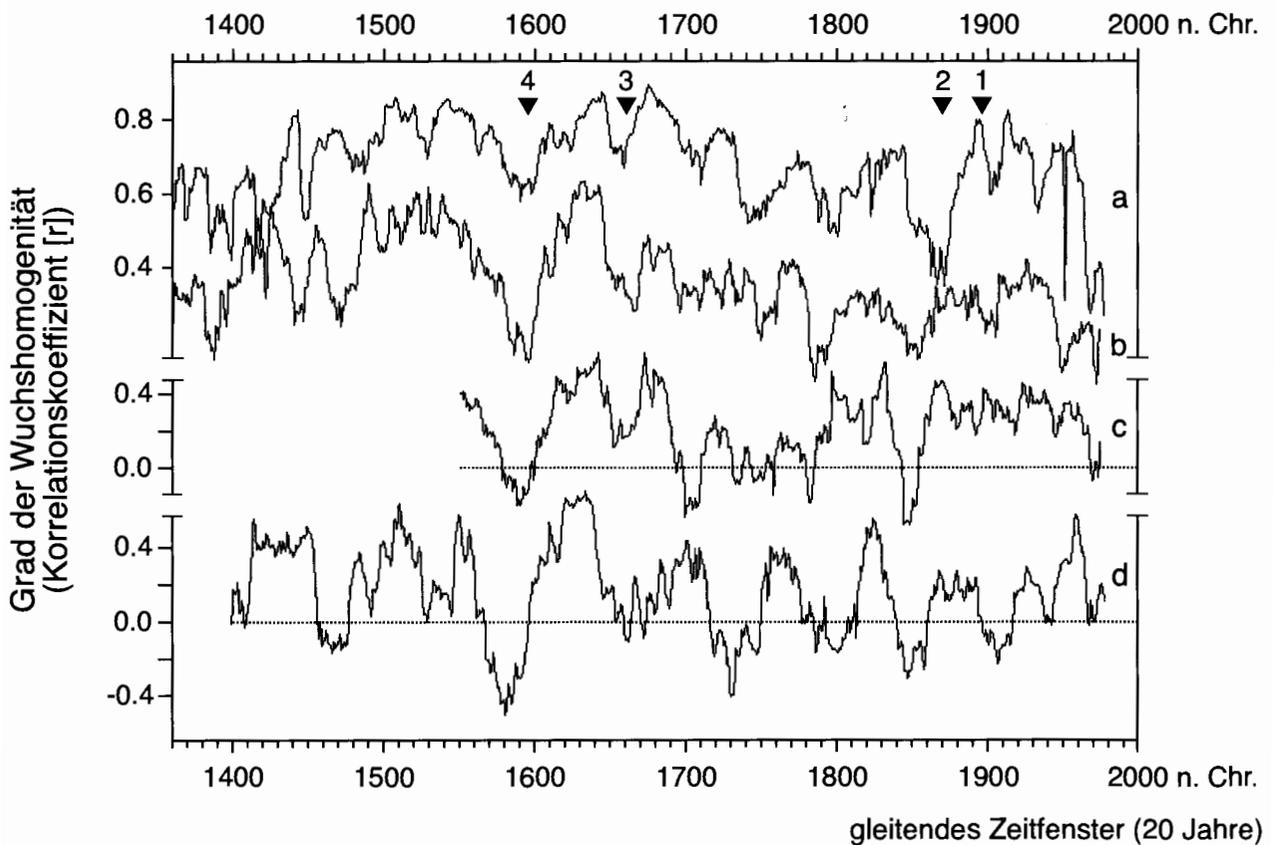


Abb. 2 Zeitliche Schwankungen der Wachstumshomogenität bei Eichen aus Westeuropa. – (a) Homogenitätsanalyse an Eichen aus einer kleinen Region in Westdeutschland (Köln/Bonn), (b) einer großräumigen Region Westeuropas, (c) zwischen Eichen aus Polen und Frankreich, (d) zwischen Eichen aus Polen und der Schweiz.

Wuchshomogenität der Eichen in einer Kleinregion Westdeutschlands

Die Homogenitätsmuster wurden zunächst in einer Kleinregion (Köln, Bonn, Siegburg) anhand von Jahrringchronologien des Bergischen Landes, des Siebengebirges und des Westerwaldes untersucht (Abb. 2, a). Diese Chronologien reichen etwa 600 Jahre zurück und sind durch etwa 2100 Eichen (lebende Bäume und Hölzer aus historischen Gebäuden) sehr gut belegt. Die Wuchshomogenität der westdeutschen Eichen zeigt charakteristische Änderungen während der letzten Jahrhunderte. So wuchsen z.B. die Eichen um 1531/1550 relativ einheitlich, wenige Jahrzehnte später, 1581/1600, änderte sich offensichtlich die Klima-Wachstumsbeziehung, die Bäume wuchsen weniger einheitlich (Abb. 2, a, Marke 4). Eine Tendenz zu eher heterogenem Wachstum ist auch für die Zeiten 1631/1650 (Marke 3) und 1855/1874 (Marke 2) feststellbar.

Wuchshomogenität der Eichen in Westeuropa

Zur Überprüfung der im Rheinland errechneten Homogenitätskurve wurden weitere Vergleiche zwischen Jahrringkalendern in Westeuropa durchgeführt. Als Daten wurden Chronologien aus Norddeutschland (D. Eckstein, Hamburg), dem Weserbergland (Delorme 1972), Hessen und Süddeutschland (Huber, Giertz-Siebenlist u. Niess 1964), Westdeutschland (Hollstein 1980; Schmidt u. a. 2001 c), Frankreich (J. Pilcher, Belfast), Polen (T. Wazny, Warschau) und der Schweiz (H. Egger) herangezogen.

Aus diesen acht Chronologien entstanden 28 Homogenitätskurven, die zu einer Kurve zusammengefasst wurden, welche in Abbildung 2, b dargestellt ist. Der Vergleich der Homogenitätsmuster der Eichen Westeuropas mit dem separat berechneten Muster der Kleinregion Westdeutschland zeigt viele Übereinstimmungen. Die Charakteristika dieser Homogenitätsmuster sind überraschenderweise nicht nur durch Gruppenvergleiche von Jahrringchronologien, sondern zum Beispiel auch bereits in Paarvergleichen (nur zwei Chronologien) über relativ große Entfernungen (Polen/Frankreich, Polen/Schweiz) ausgeprägt (Abb. 2, c. d).

Überprüfung der Homogenitätskurve auf Klimasignale

Vergleiche mit meteorologischen Daten für die Kleinregion Westdeutschlands

Zur Einschätzung der Homogenitätsschwankungen haben wir zunächst die monatlichen Niederschlagssummen von Köln, Trier und Aachen für die Zeit von 1851-1996 herangezogen. Im Zeitfenster 1875-1894 (Abb. 2, a, Marke 1) mit einem Maximum der Wachstumshomogenität ($r = 0.80$) sind die Niederschläge von Januar bis Dezember überdurchschnittlich hoch, besonders in den Monaten Juni und Juli (10% über dem langjährigen Mittel). Im Zeitintervall von 1855/1874 (Marke 2) war das Baumwachstum besonders heterogen, die Klimadaten belegen unterdurchschnittliche Niederschläge von Januar bis Dezember und wiederum besonders deutlich in den Monaten Juni und Juli (13% unter dem langjährigen Mittel). Wesentliche Temperaturunterschiede konnten für diese beiden Zeitabschnitte nicht festgestellt werden.

Nach unseren ersten Ergebnissen fallen in Zeiten erhöhter Wuchshomogenität überdurchschnittlich hohe Niederschläge. In diesen Zeiten wachsen vermutlich die Bäume trockener und feuchter Standorte einheitlicher, da sich dann offensichtlich diese Standortunterschiede weniger bemerkbar machen. Zeigen zum Beispiel die Eichen Nord-, West- und Süddeutschlands und etwa auch die aus Nordirland (überregional) überdurchschnittlich hohe Wuchshomogenität, so vermuten wir Zeiten mit ausgeprägter und großräumiger Niederschlagsneigung, wobei dann die Bedeutung kleinräumiger Niederschlagsunterschiede eher in den Hintergrund tritt.

Andererseits ist das Baumwachstum in trockenen Perioden auf Standorten unterschiedlicher Bodenfeuchte eher heterogen (z.B. Flussniederung, Hanglage). Darüber hinaus führen kleinräumige Niederschlagsunterschiede ebenso zu unterschiedlichem Wachstum.

Vergleich mit meteorologischen Daten weiterer Wetterstationen in Europa

Zur besseren Abschätzung der vermuteten Beziehung zwischen dem Grad der Wuchshomogenität und den Niederschlägen wurden die Jahresniederschlagssummen von jeweils sieben Wetterstationen aus Nord- und Westeuropa, Norddeutschland sowie West- und Süddeutschland mit Frankreich ausgewertet (Abb. 3, Tab. 1). Hierbei wurden die Niederschlagsreihen – ebenso wie bei den Jahrringkurven – im gleitenden Zeitfenster von 20 Jahren auf ihre Ähnlichkeit hin überprüft. Die Analysen führten in den drei Regionen zu ähnlichen Ergebnissen (Abb. 4). Um 1870/80 zeichnet sich, übereinstimmend in den drei Regionen, eine eher homogene Niederschlagsneigung zwischen den jeweiligen Wetterstationen ab; danach, bis etwa 1900, geht dann die Ähnlichkeit der Jahresniederschlagsmengen zwischen den Stationen stetig zurück.

Wie Abbildung 4 weiter zeigt, ist auch eine Ähnlichkeit im Verlauf zwischen Niederschlagsmuster und Wuchsmuster feststellbar. Demnach scheint das Baumwachstum diesen Niederschlagsänderungen zu folgen. Die deutlichste Übereinstimmung mit den Baummustern zeigen die Werte von Nordeuropa. Vermutlich ist das nordeuropäische Niederschlagsmuster wegen der weit voneinander entfernt liegenden Wetterstationen markanter und aussagekräftiger als z.B. das Niederschlagsmuster Norddeutschlands, das aus vergleichsweise naheliegenden Stationen berechnet wurde.

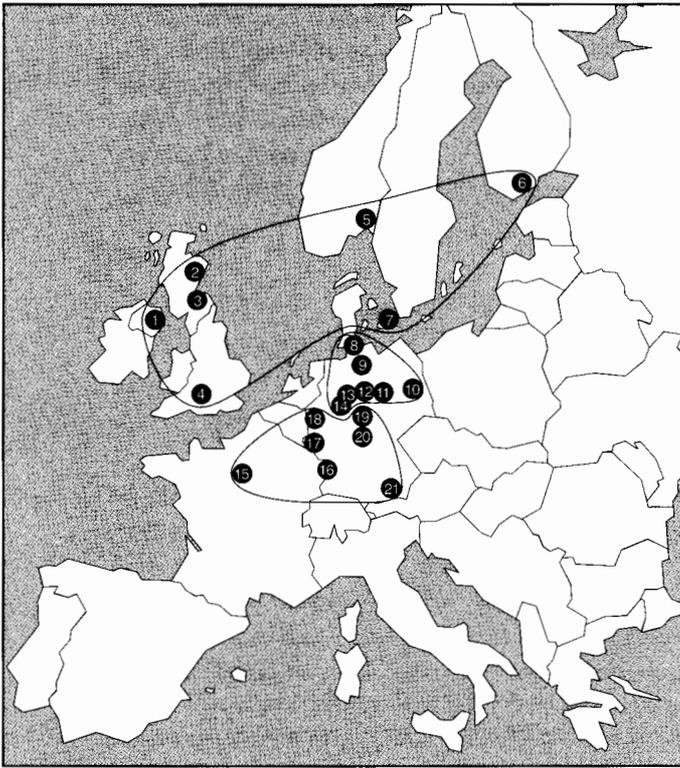


Abb. 3 Die berücksichtigten Jahresniederschläge von 21 Wetterstationen der Britischen Inseln und Skandinaviens (1-7), Norddeutschlands (8-14), West- und Süddeutschlands mit Frankreich (15-21).

Region	Wetterstationen	Zeitspanne
Brit. Inseln und Skandinavien	1 Belfast	1819-1990
	2 Aberdeen	1871-1990
	3 Edinburg	1785-1990
	4 Oxford	1853-1991
	5 Oslo	1866-1990
	6 Helsinki	1845-1990
	7 Kopenhagen	1821-1990
Norddeutschland	8 Schleswig	1884-1968
	9 Hamburg	1891-1974
	10 Berlin	1851-1990
	11 Braunschweig	1881-1974
	12 Hannover	1856-1964
	13 Herford	1881-1974
	14 Gütersloh	1837-1974
West- und Süddeutschland, Frankreich	15 Paris	1770-1990
	16 Straßburg	1845-1990
	17 Trier	1851-1991
	18 Köln	1851-1991
	19 Kassel	1880-1974
	20 Fulda	1867-1974
21 München	1848-1990	

Tab. 1 Die verwendeten Klimadaten (jährliche Niederschlagssummen) von 21 Wetterstationen.

Es wird vermutet, dass in Phasen hoher Übereinstimmung (ca. 1870/80, 1920/30 und 1970/80) westliche Tiefdruckgebiete tendenziell vorherrschten, während in Zeiten unterschiedlicher Niederschlagsmengen an den 21 Klimastationen (ca. 1890/1900 und 1940/50) kleinräumigere Klimageschehen ausgeprägter waren. Hiernach scheint der Grad der Wuchshomogenität den Trendverlauf zwischen maritimen und kontinentalen Wetterlagen anzuzeigen.

Vergleich der HG-Kurve

mit rekonstruierten Temperaturwerten der nördlichen Hemisphäre

Anhand von 14 sorgfältig ausgewählten Jahrringchronologien der nördlichen Hemisphäre konnten Esper u. a. (2002) bekannte Temperaturanomalien – mittelalterliches Klimaoptimum, Temperaturrückgänge um 1600 (Kleine Eiszeit) und die Warmphase des 20. Jahrhunderts – gut bestätigen und die Höhe der Temperaturvariabilität näher fassen. Dieses Ergebnis stimmt mit anderen Arbeiten über Temperaturrekonstruktionen gut überein, wie Briffa (2002) darstellt.

Der Vergleich der HG-Kurve mit dieser Temperaturkurve weist phasenweise Übereinstimmungen auf (Abb. 5). Nach einem Rückgang der Temperatur und der Homogenität um 1100 erfolgt ein Anstieg beider Kurven kurz vor 1200. Von etwa 1200-1280 zeigen beide Kurven übereinstimmend nur eine geringe Variabilität. Auch der Anstieg um 1300 (Esper u. a. 2002: Temperaturzunahme, die Homogenität zeigt eine Tendenz zu höheren Niederschlägen [maritim]) ist bei beiden Reihen ausgeprägt. Bis etwa 1600 zeigen beide Kurven noch einen relativ ähnlichen Verlauf.

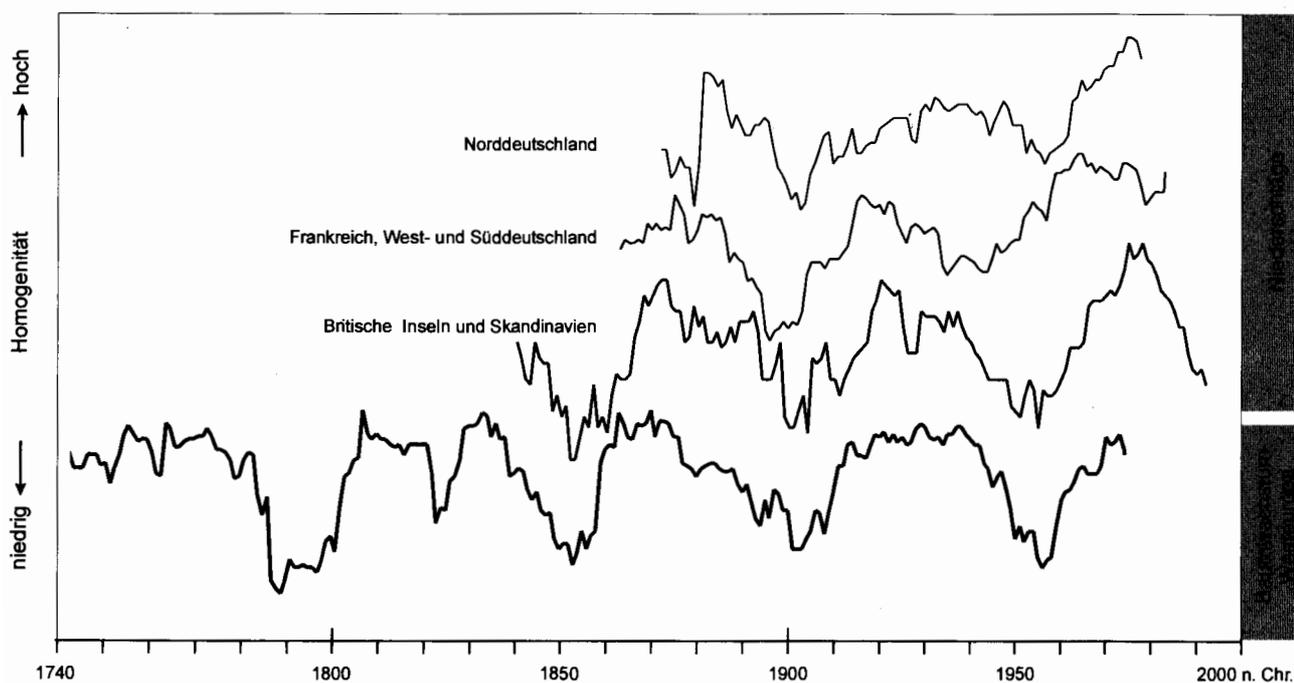


Abb. 4 Homogenitätsberechnung der Jahresniederschläge für drei Regionen im Vergleich mit der Wuchshomogenität der Bäume in Westeuropa.

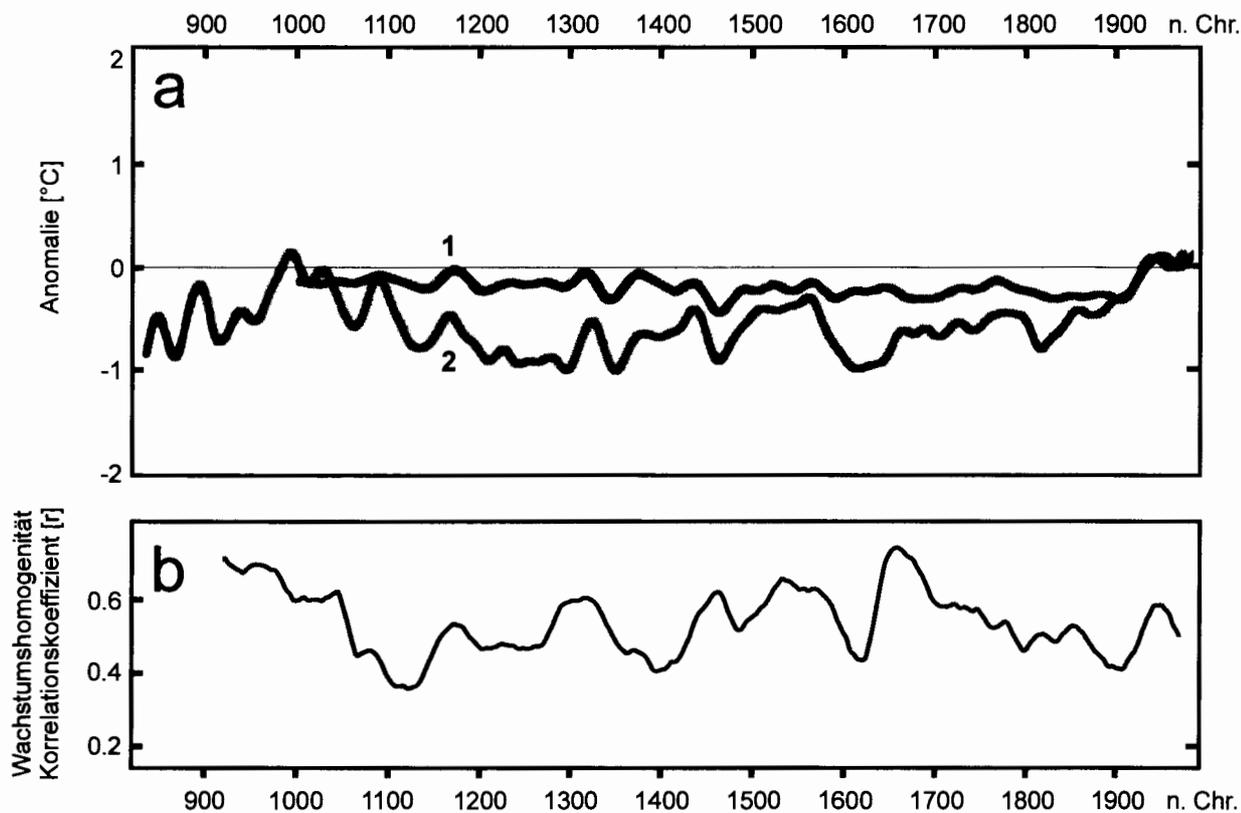


Abb. 5 a Rekonstruktion von Temperaturanomalien der nördlichen Hemisphäre (nach Esper, u. a. 2002). Kurve 1: MBH (Mann, Bradley, Huhges), Kurve 2: RCS (Regional curve standardization, Briffa). – b Verlauf der Wuchshomogenität für Westeuropa.

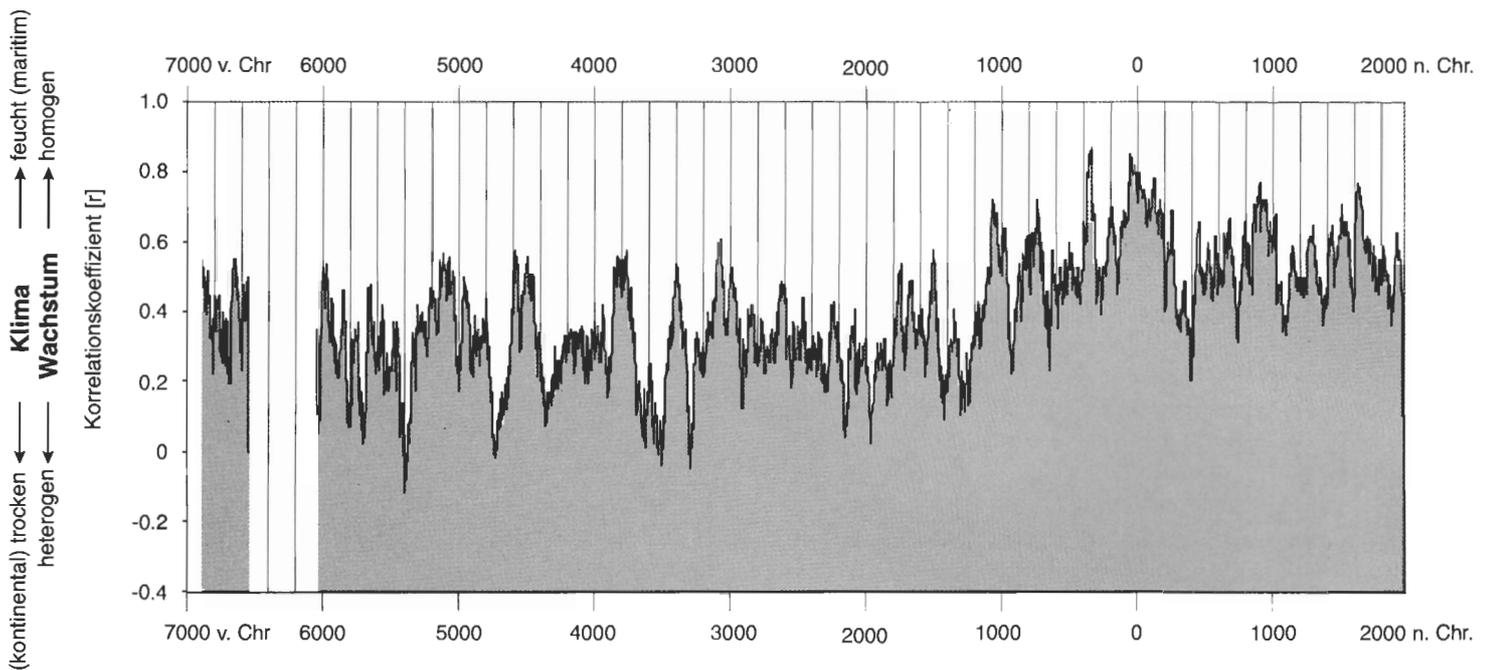


Abb. 6 Berechnung der Wachstumshomogenität aus den Langzeitchronologien von Nord-, West- und Süddeutschland (Korrelationsberechnung in einer Fensterbreite von 50 Jahren).

Schwankungen der Wachstumshomogenität von 6000 v. Chr. bis zur Gegenwart

Zur Berechnung der Wachstumshomogenität für die Zeit von 6000-1000 v. Chr. wurden nur die Langzeitchronologien für Norddeutschland (Leuschner 1992), Westdeutschland (Labor Köln) und Süddeutschland (Becker u. a. 1990; Spurk u. a. 1998) im gleitenden Zeitfenster von 50 Jahren benutzt, um in einem ersten Schritt aufzuzeigen, dass sich mit diesem Rechenverfahren signifikante Niederschlagsänderungen während der Nacheiszeit nachweisen lassen.

Die Änderungen zwischen tendenziell maritimen und tendenziell kontinentalen Wetterlagen (Abb. 6) vollziehen sich in unterschiedlicher Dauer und Intensität. Von der Höhe der Amplitude kann nicht direkt auf den Grad von Feuchtigkeit bzw. Trockenheit geschlossen werden. Für eine nähere Erfassung der Schwankungsstärke sind Berechnungen an einem größeren Datenmaterial (einzelne Bäume der jeweiligen Labors) erforderlich.

Der hier vermutete Trendverlauf zwischen kontinentalen und maritimen Klimaregimen dürfte aber dem damaligen Klimageschehen schon nahekommen, wie im Folgenden die Vergleiche mit archäologischen Befunden zeigen sollen.

Vergleich der HG-Kurve mit archäologischen Befunden und historischen Quellen

In Tabelle 2 sind insgesamt 60 archäologische und historische Informationen zusammengestellt, die im Zusammenhang mit der HG-Kurve betrachtet werden sollen. Aus der relativ großen Zahl klimaussagefähiger Befunde ist hier nur eine kleinere Anzahl berücksichtigt.

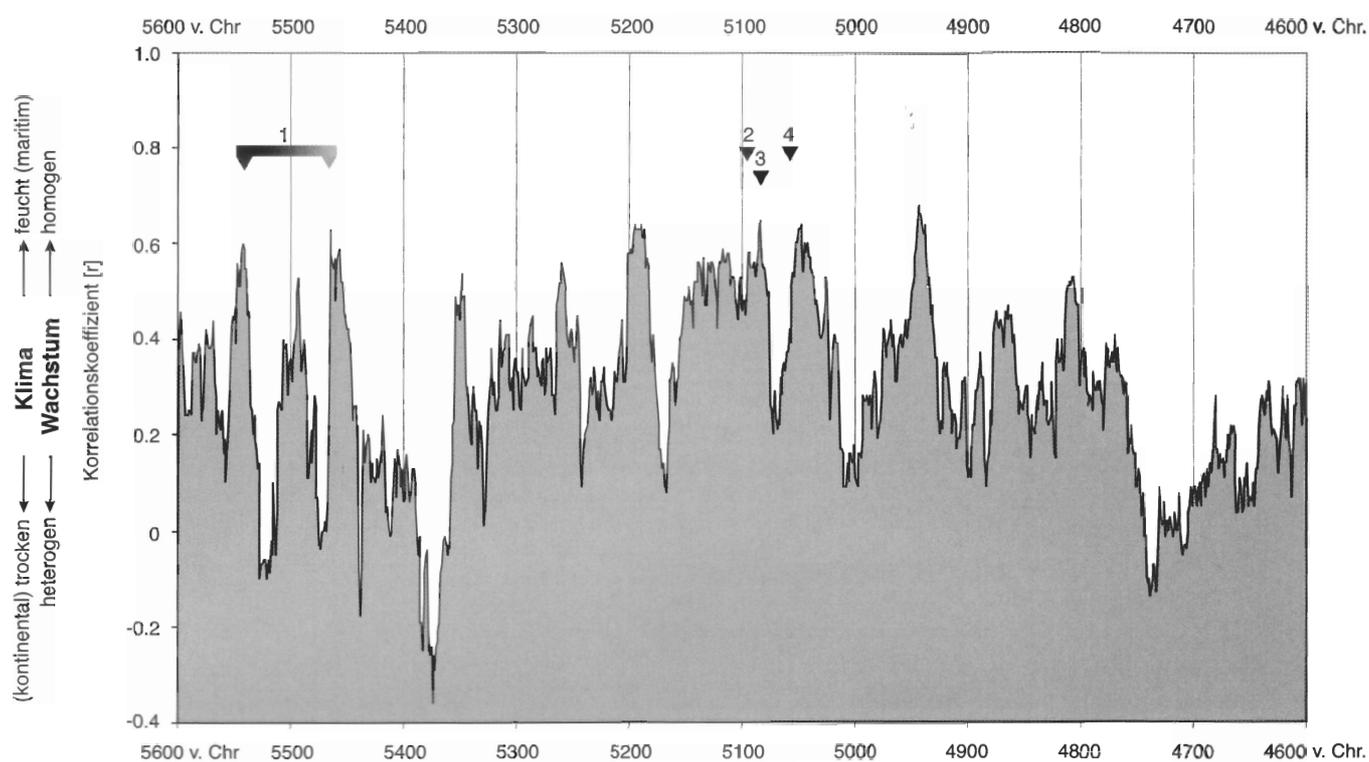


Abb. 7 Berechnung der Wuchshomogenität am Anfang des Neolithikums mit archäologischen Befunden (Korrelationsberechnung in einer Fensterbreite von 20 Jahren).

Die Zeit von 5600-4600 v. Chr.

Während dieser Zeit fallen ausgeprägte Trockenphasen um 5530, 5480, 5380 und 4740 v. Chr. auf (Abb. 7).

Zu Beginn des Neolithikums gibt es bisher nur vier dendrochronologisch datierte Objekte (Tab. 2, Marken 1-4). Der Brunnen von Mohelnice (Marke 1) datiert in die Zeit um/nach 5540 ± 5 v. Chr. Da bei den Brunnenhölzern das Splintholz fehlt, und noch eine unbekannte Zahl an Kernholzringen fehlen kann, konnte nur noch ein terminus post quem ermittelt werden. Da mit größter Wahrscheinlichkeit nicht mehr als 100 Kernholzringe fehlen dürften, schließen wir eine Datierung nach 5460 ± 5 v. Chr. aus.

Der Brunnen von Erkelenz-Kückhoven, auf einem Plateau angelegt, datiert mit vorhandener Waldkante in das Jahr 5090 v. Chr. (Marke 2).

Wenige Jahre später (5084 v. Chr.) wurde der Brunnen von Zwenkau gebaut (Marke 3).

Um 5057 ± 5 v. Chr. wurde dann in den Kückhovener Brunnen ein zweiter Brunnenkasten eingebracht (Marke 4), nachdem der ältere Brunnen nicht mehr funktionsfähig war. Der gewaltige Arbeitsaufwand, diesen auf dem Plateau liegenden Brunnen erneut zu aktivieren, obwohl in ca. 2,5 km Entfernung ein Bach verläuft, wirft folgende Frage auf: Warum wurde der Brunnen auf dem höher liegenden Plateau und nicht in unmittelbarer Nähe der Niederung angelegt?

Nach der HG-Kurve (Abb. 7) könnte es von etwa 5380 bis kurz vor 5000 v. Chr. stetig (mit einigen Ausschlägen zu trockeneren Zeiten) feuchter geworden sein. In der Zeit von etwa 5150-5080 könnte ein beständiges, maritimes Klima vorgeherrscht haben, so dass die Bauern wegen zu großer Nässe die Niederung mieden und Hänge bzw. Plateaus bevorzugten.

Um etwa 5070 (Rückgang der Wuchshomogenität – Neigung zu eher kontinentalem Klima) könnte eine Reihe trockenerer Sommer zum Versiegen des Brunnens geführt haben. Bereits um etwa 5050 nah-

Jahre v. Chr.	Marke	Objekt/Ereignis	Quelle
Um/nach 5540 ± 5 Nicht nach 5460 ± 5	1	Brunnen von Mohelnice	B. Schmidt u. a. (2003a)
5090	2	Brunnen I von Erkelenz-Kückhoven	B. Schmidt u. a. (1998)
5084	3	Brunnen von Zwenkau	M. Friedrich (Pers. Mitt.)
5057 ± 5	4	Brunnen II von Erkelenz-Kückhoven	B. Schmidt u. a. (1998)
3955-3871	5	Pfahlbauten Schussenrieder Kultur (Oberschwaben)	*
3919-3890	6	Pfahlbauten Hornstaader Gruppe (Bodensee)	*
3870-3790	7	Pfahlbauten Ältere Pfyn-er Kultur	*
3745-3650	8	Pfahlbauten Pfyn-Alzheimer Gruppe	*
3701-3582	9	Pfahlbauten Mittlere und Späte Pfyn-er Kultur	*
3738-3731	10	Pfahlbauten Reute-Schorrenried	*
3709-3707	11	Pfahlbauten Olzreutersee	*
3698	12	Pfahlbauten Oedenahlen	*
3650	13	Pfahlbauten Schreckensee	*
3608	14	Pfahlbauten Steckborn-Schanz	*
3586	15	Pfahlbauten Wangen-Hinterhorn	*
3614-3613	16 a	Pfahlbauten Steckborn-Schanz	*
3557-3556	16 b		
3586-3582	17 a	Pfahlbauten Hornstaad Hoernle	
3570-3562	17 b		
3541-3531	17 c		
3520	17 d		
3511-3507	17 e		
3330	18 a	Pfahlbauten Sippligen-Osthafen	*
3312-3306			
3333-3332	19 a	Pfahlbauten Nussdorf-Seehalde	*
3309-3308	19 b		
3265-3263	20	Pfahlbauten Schreckensee	*
3107	21	Pfahlbauten Steckborn-Turgi (CH)	*
3085	22 a	Pfahlbauten Sippligen-Osthafen	*
3077	22 b		
3065-3061	22 c		
2990	22 d		
2908-2881	22 e		
2875-2864	22 f		
2681	23 a	Pfahlbauten Hornstaad-Schloessle	*
2672	23 b		
2666	24	Pfahlbauten Bodman-Schachen II	*
~ 2300	25	Warvenchronologie: Umschwung zu höherer Feuchtigkeit	H. H. Lamb (1989)
~ 2300	26	Beschleunigung der Vertorfung in Schweden	H. H. Lamb (1989)
2200-2100	27	Wechsel zu trockeneren Regimen in SO-Europa	H. H. Lamb (1989)
2180-2130	28	Niedriger Wasserstand des Nils (Ausbleiben der Nil-überschwemmungen), Hungersnot in Ägypten. Eindringen von Völkern aus dem Osten	H. H. Lamb (1989)
2200-1900	29a	Dendrochronologie: Ab 2200 deutlicher Rückgang der Niederschläge. Höhepunkt der Trockenheit um 2130. Wiederanstieg der Niederschläge bis 2050. Beginn einer erneuten Trockenphase um 2000, die ihren Höhepunkt um 1950 erreichte. Siedlungsunterbebung in Tell Leilan (Ende des akkadischen Reiches), Ende des Alten Reiches in Ägypten	H. Weiss (2000; 2001)
~ 2100	29 b	Höhepunkt der Ur III-Kultur	
2000-1950	30	Hungersnot in Ägypten	H. H. Lamb (1989)
1764-1759	31 a	Pfahlbauten Siedlung Forschner	*
1731-1730	31 b		
1644	32 a	Pfahlbauten Bodman-Schachen I	*
1604	32 b		
1583	32 c		
1505-1503	32 d		
1060	33 a	Pfahlbauten Hagnau-Burg	*
991	33 b		

975-967 995-954 929-927 917 862-850	34 a 34 b 34 c 34d 34 e	Pfahlbauten Unteruhldingen	*
717-712	35	Norddeutsches Moorgebiet: Bau von 3 Bohlenwegen, die wegen großer Nässe ungewöhnlich aufwendig gebaut worden sind. Die Wege liegen im Grenzbereich vom Schwarz- zum Weißtorf.	B. Schmidt (1992b)
143	36	Latènezeitlicher Siedlungsplatz bei Köln-Porz (Linder Bruch) in der Rheinniederung. Dieser Platz wäre bei normalem Wasserstand wahrscheinlich zu feucht gewesen.	B. Schmidt u. a. (2002)
120-114	37	»Kimbrische Flut«	H. H. Lamb (1989)
46	38	Bau des Bohlenweges VI am Dümmer.	Labor Köln, in Vorb.
11	39	Bau des römerz. Militärlagers in Oberaden.	B. Schmidt (1992a)
Jahre n. Chr.			
45	40	Arbeiten an den Rheinhäfen in Köln und Xanten.	Labor Köln, in Vorb.
48	41	Bau der Koblenzer Pfahljochbrücke über den Rhein. Schmale Jahrringe in Folge mehrerer Trockenjahre	B. Schmidt (1981)
86-92	42	Extrem trocken. Hessisches Ried bei Pfungstadt: Bau der Sumpfbrücken bei Bickenbach und bei Goddelau.	P. Wagner (1990)
90-100	43	Extrem trockene Jahre, Hafenausbau in Köln, Xanten und London	Labor Köln, in Vorb.
137-141	44	Sehr kurzzeitig trocken, erneuter Hafenausbau am Kai in Xanten. Der Bau einer vorgelagerten Mole war wahrscheinlich wegen zu geringen Wasserstandes für die Schiffe notwendig geworden.	Labor Köln, in Vorb.
141-145	45	Reparatur der beiden Sumpfbrücken von Bickenbach und Goddelau.	P. Wagner (1990)
202-204	46	Trocken. Erneute Reparatur beider Sumpfbrücken.	Labor Köln, in Vorb.
222	47	Extrem trocken. Neubau eines alten Bohlenweges (118 ± 5 n. Chr.) am Dümmer (IV, PR), der über 4,2 km nachgewiesen ist.	Labor Köln, in Vorb.
224	48	Extrem trocken. Erneute, umfangreiche Reparaturarbeiten an der Sumpfbrücke von Goddelau.	P. Wagner (1990)
310	49	Trocken, Rheinpegel wahrscheinlich sehr niedrig. Schriftliche Quelle zum Bau der Kölner Konstantinbrücke.	Labor Köln, in Vorb.
4. Jahrhundert	50	Handel entlang der Seidenstraße wegen Trockenheit nicht mehr möglich.	H. H. Lamb (1989)
ab 790	51	Raubzüge der Wikinger an den Küstengebieten Europas.	H. H. Lamb (1989).
um 860	52	Erste nachgewiesene Erkundungsfahrt der Wikinger nach Island.	H. H. Lamb (1989)
um 980	53	Erste altnordische Besiedlung Grönlands.	H. H. Lamb (1989)
1000-1100	54	Klimaverschlechterung (Eisbildung auf der Nordsee).	H. H. Lamb (1989)
1000-1100	55	Schwere Sturmfluten an der Nordsee.	H. H. Lamb (1989)
1313-1317	56	Außergewöhnlich feuchtes Klima.	H. H. Lamb (1989)
1340-50	57	Starke Zunahme des Eises, Segelroute zwischen Grönland und Island wurde aufgegeben.	H. H. Lamb (1989)
1407 und 1408	58	Lange, harte winterliche Kälteperioden.	H. H. Lamb (1989)
1422 und 1423	59	Lange, harte winterliche Kälteperioden.	H. H. Lamb (1989)
1634	60	Landverlust in DK, D, NL bei schwerem Sturm.	H. H. Lamb (1989)

Tab. 2 Historische Quellen und archäologische Befunde, die zum Vergleich mit der HG-Kurve herangezogen wurden. – Pfahlbauten: * aus: Becker u. a. 1985; Billamboz u. a. (1996).

men wahrscheinlich die Niederschläge wieder zu. Die Siedler reagierten auf diesen Wechsel und bauten in den – inzwischen instabil gewordenen – Brunnen einen zweiten Kasten ein. Nach der HG-Kurve könnten die Niederschläge um 5050 v. Chr. wieder das Niveau von etwa 5090/80 mit ähnlich hohem Grundwasserspiegel erreicht haben. Hierfür spräche auch, dass die Erbauer den neuen Brunnenkasten wiederum auf die gleiche Sohlenhöhe wie den alten Brunnen setzten.

Eine ähnliche Situation könnte ebenfalls beim Bau des Brunnens von Mohelnice vorgelegen haben. Auch dieser Brunnen wurde auf einem Plateau angelegt (Tichý 1998).

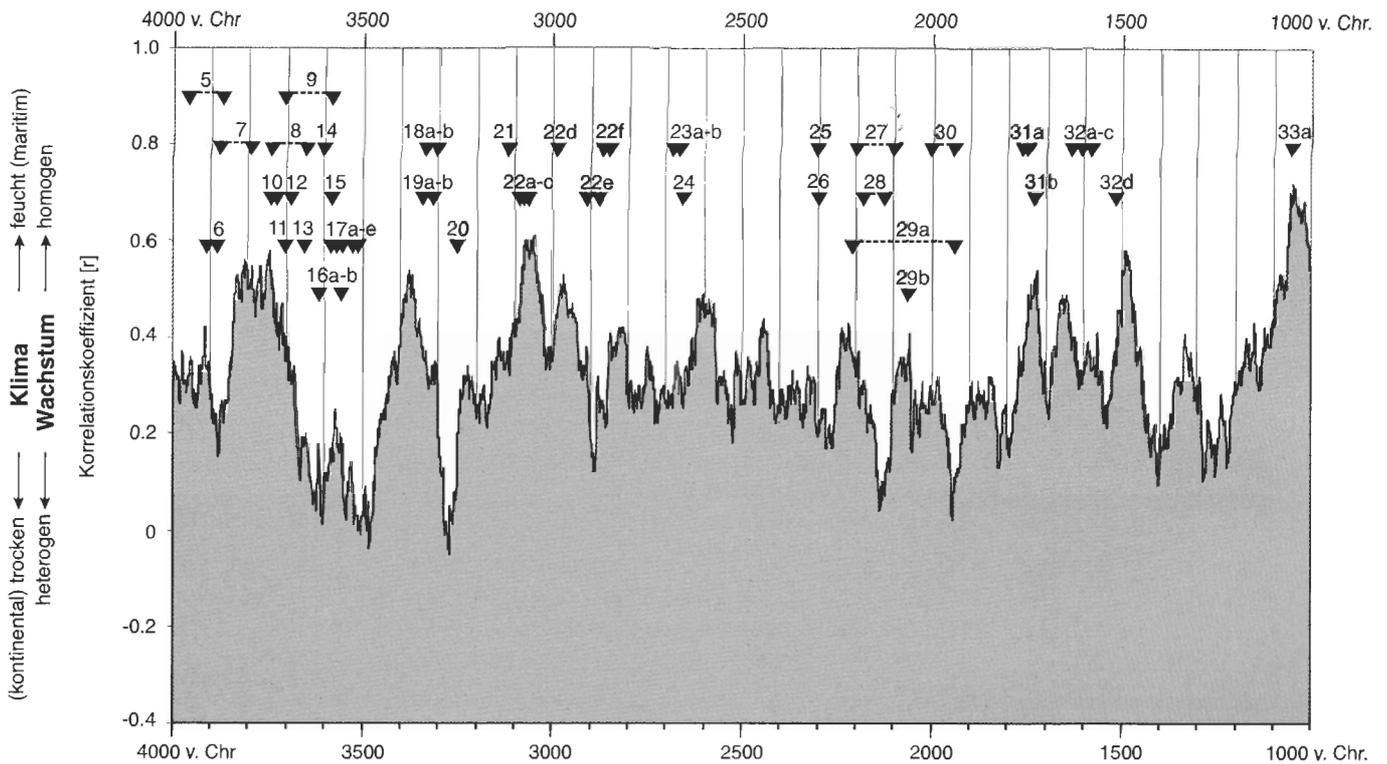


Abb. 8 Berechnung der Wuchshomogenität von 4000 v. Chr. bis 1000 v. Chr. mit archäologischen Befunden (Korrelationsberechnung in einer Fensterbreite von 50 Jahren).

Die Zeit von 4000 v. Chr. bis zur Gegenwart

Zum Vergleich mit der HG-Kurve wurden dendrochronologisch ermittelte Zeitmarken von Seeufer-siedlungen und weiteren archäologischen Fundstellen herangezogen (Abb. 8; Abb. 9, Tab. 2). Die hier vorgestellten Bauphasen repräsentieren nur einen Teil der sehr umfangreichen Ergebnisse, die die Archäologie entlang der Seen erzielen konnte (Becker u. a. 1985; Billamboz u. a. 1996). Zwar ist keine strenge Beziehung zwischen den Siedlungsmarken und der HG-Kurve abzuleiten, doch es zeigt sich, dass eine größere Anzahl an Siedlungen in Zeiten rückläufiger Niederschläge (Rückgang des Seespiegels) angelegt worden ist. Eine nähere Abschätzung kann eher durch die Archäologie erfolgen. Hierbei sollten dann auch kurzzeitige Schwankungen (Fensterbreite von 20 Jahren) berücksichtigt werden.

In Abbildung 9, a deutet sich nach der HG-Kurve ein starker Rückgang der Niederschläge zwischen 40 v. Chr. und 425 n. Chr. an. H. H. Lamb (1989) fand in schriftlichen Quellen Hinweise auf die in der Tendenz abnehmende Anzahl regenreicher Jahre/Überschwemmungen in Italien (Abb. 9, b), die auch auf einen starken Rückgang der Niederschläge während dieser Zeit hinweisen.

Die Zeit von 500 v. Chr. bis 500 n. Chr.

Auf einige archäologische Befunde zwischen 500 v. Chr. und 500 n. Chr. wird in Abbildung 10 näher eingegangen. Zur Erfassung auch kurzzeitiger Schwankungen wurde die Wuchshomogenität hier im Korrelationsfenster von 20 Jahren berechnet und mit archäologischen Befunden verglichen. In römischer Zeit, von etwa 40 v. Chr. bis etwa 180/190 n. Chr., dürfte nach der HG-Kurve (Abb. 9, a; Abb. 10)

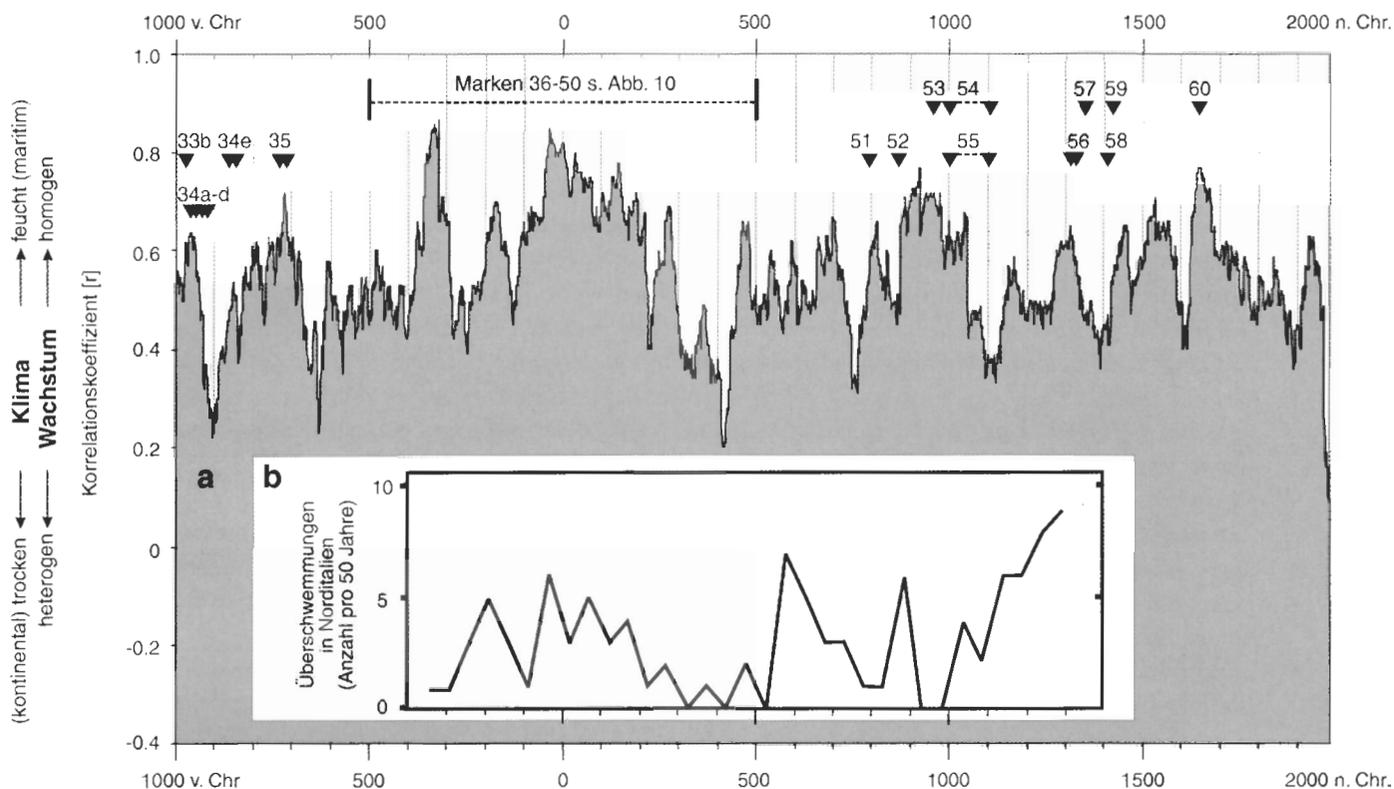


Abb. 9 a Berechnung der Wuchshomogenität von 1000 v. Chr. bis 2000 n. Chr. mit archäologischen Befunden (Korrelationsberechnung in einer Fensterbreite von 50 Jahren). – b Häufigkeitsverteilung von Überschwemmungsereignissen in Norditalien aus der Zeit von 400 v. Chr. bis 1300 n. Chr. (nach Lamb 1989).

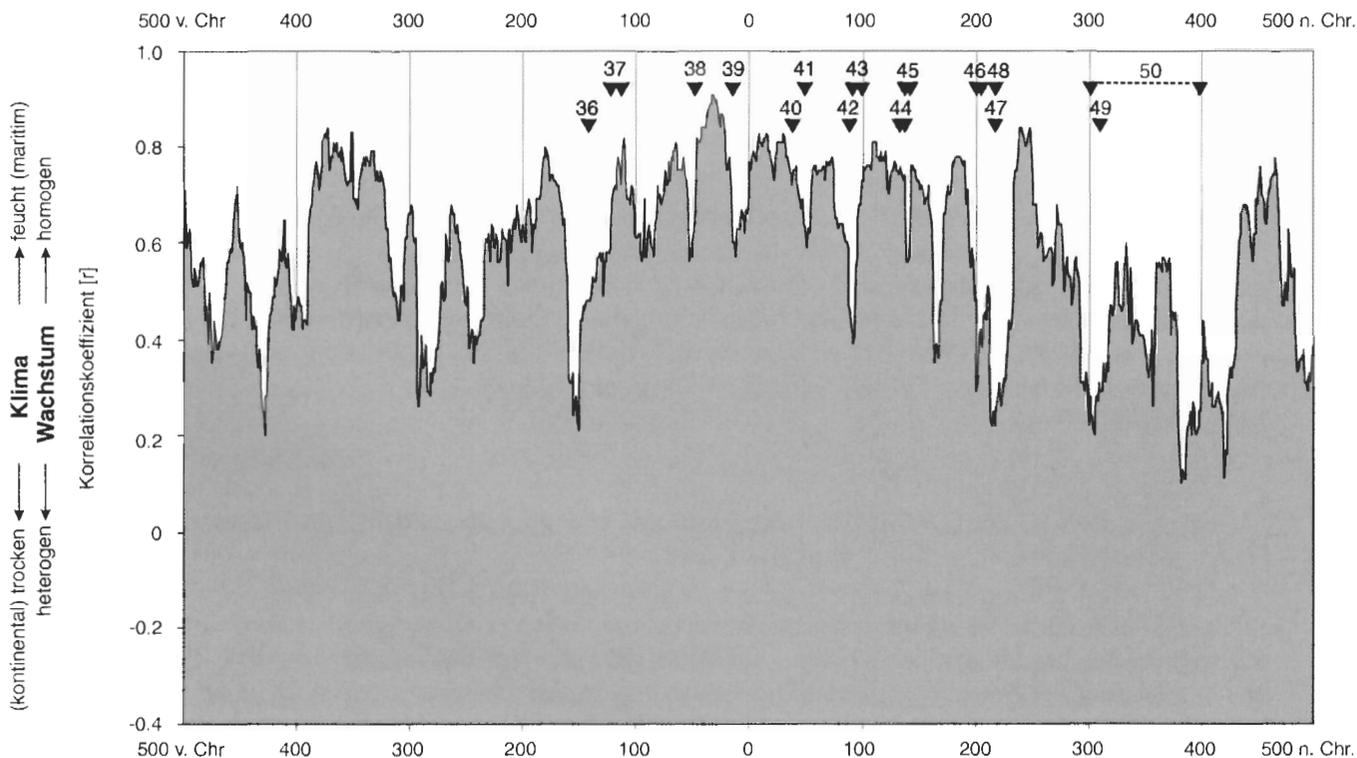


Abb. 10 Berechnung der Wuchshomogenität von 500 v. Chr. bis 500 n. Chr. mit archäologischen Befunden (Korrelationsberechnung in einer Fensterbreite von 20 Jahren).

das Klima niederschlagsreich gewesen sein. Ab 200 n. Chr. änderte sich das Klima dramatisch. Mit Ausnahme einer Unterbrechung in der Mitte des 3. Jahrhunderts wurde es zunehmend kontinentaler, und dieser Trend zu zunehmender Trockenheit endete erst um 420/430 n. Chr.

Während dieser Zeit, zwischen 250 und 450 n. Chr., zeichnet sich sowohl im westdeutschen Braunkohlentagebauegebiet (Schmidt u. a. 2003b) als auch im Bergischen Land (Gechter 2001) eine deutliche Fundlücke ab. Diese Siedlungslücke, die auffällig mit der beschriebenen Trockenphase einhergeht, lässt hier einen ursächlichen Zusammenhang vermuten.

Auf eine weiträumige Gültigkeit dieser Trockenphase weist Lamb (1989) hin und schreibt hierzu: »Während des römischen Zeitalters benutzten Kamelkarawanen jahrhundertlang (von ungefähr 150 v. Chr. bis 300 n. Chr.) die über den asiatischen Kontinent verlaufende Große Seidenstraße für den Handel mit chinesischen Luxusgütern. Aufgrund der Wasserspiegelschwankungen des Kaspischen Meeres sowie durch Untersuchungen über periodische Flüsse und Seen und aufgrund verlassener Siedlungen in Sienkang und Zentralasien ist bekannt, dass im vierten nachchristlichen Jahrhundert eine Trockenperiode den Verkehr entlang dieser Route zum Erliegen brachte.«

Ab der Mitte des 5. Jahrhunderts dürften sich dann die Niederschläge wieder auf einem durchschnittlichen Niveau bewegt haben. Archäologische Funde und dendrochronologische Datierungen belegen, dass zeitgleich ab der Mitte des 5. Jahrhunderts die Siedlungstätigkeit im niederrheinischen Braunkohlentagebauegebiet wieder zunimmt.

Aber auch während der feuchteren Phase des 1. und 2. Jahrhunderts sind kurzzeitige Trockenjahre feststellbar (Abb. 10; Tab. 2). Für fast alle Zeiten, in denen sich in der HG-Kurve trockene Sommer abzeichnen, lassen sich Baumaßnahmen (Hafenbau, Brückenbau) nachweisen, die in solchen niederschlagsärmeren Jahren bei niedrigerem Wasserstand einfacher durchgeführt werden konnten.

Ein niedriger Wasserstand (trockene Sommer seit 45 n. Chr.) könnte z.B. bei der Festlegung des Baubeginns der Rheinbrücke bei Koblenz im Jahre 48 n. Chr. eine Rolle gespielt haben.

Unter Berücksichtigung eines niedrigen Wasserstandes lässt sich die hohe Präzision der Pfahlstellungen (Richtung und Abstand der eingerammten Eichenstämmen variierten nur sehr geringfügig) besser verstehen.

Nicht so eindeutig lässt sich der Bau der Konstantinsbrücke in Köln erklären. In einer in Trier gehaltenen Lobrede auf Kaiser Konstantin im Jahre 310 n. Chr. wird bereits der Bau dieser Brücke erwähnt. Genau zu diesem Zeitpunkt deutet die HG-Kurve auf einen extrem niedrigen Wasserstand hin. Nach dendrochronologischen Untersuchungen ist die Brücke aber erst im Jahre 336 n. Chr. entstanden, als bereits die Niederschläge wieder angestiegen waren. Es wäre denkbar, dass der Brückenbau zwar um 310 begonnen worden ist, aber erst nach einer Unterbrechung bis zum Jahre 336 setzten schließlich die Hauptarbeiten zur Fertigstellung der Brücke ein.

Der hier während der römischen Zeit vermutete Klimawechsel von einer niederschlagsreichen zu einer niederschlagsarmen Phase wird auch durch den Rückgang überlieferter Überschwemmungen in Italien bestätigt (Lamb 1989, Abb. 9b). Vergleiche mit hydrologischen Untersuchungen des Wassernetzes in römischer Zeit (z.B. Gerlach u. a. 1989; Gerlach 1995) stehen noch aus.

Vergleich der HG-Kurve mit der Einlagerung subfossiler Eichen in den Flussschottern von Main, Lahn und Weser

Während des Aufbaus der westeuropäischen Jahrringchronologien in den vergangenen Jahrzehnten wurde deutlich, dass die aus den Flussschottern des Mains, der Weser und der Lahn geborgenen Eichenstämmen in verschiedenen Zeiten in unterschiedlicher Anzahl einsedimentiert worden sind. Diese unterschiedliche Einlagerungsrate während der letzten 10.000 Jahre haben Spurk u. a. (2002) weiter untersucht und mit $\Delta^{18}\text{O}$ -Daten (Grönland, GRIP Eisbohrkerne) verglichen. Die Variationen der $\Delta^{18}\text{O}$ -Daten verlaufen in ähnlicher Weise wie die unterschiedlichen Anhäufungen der eingelagerten Eichenstämmen.

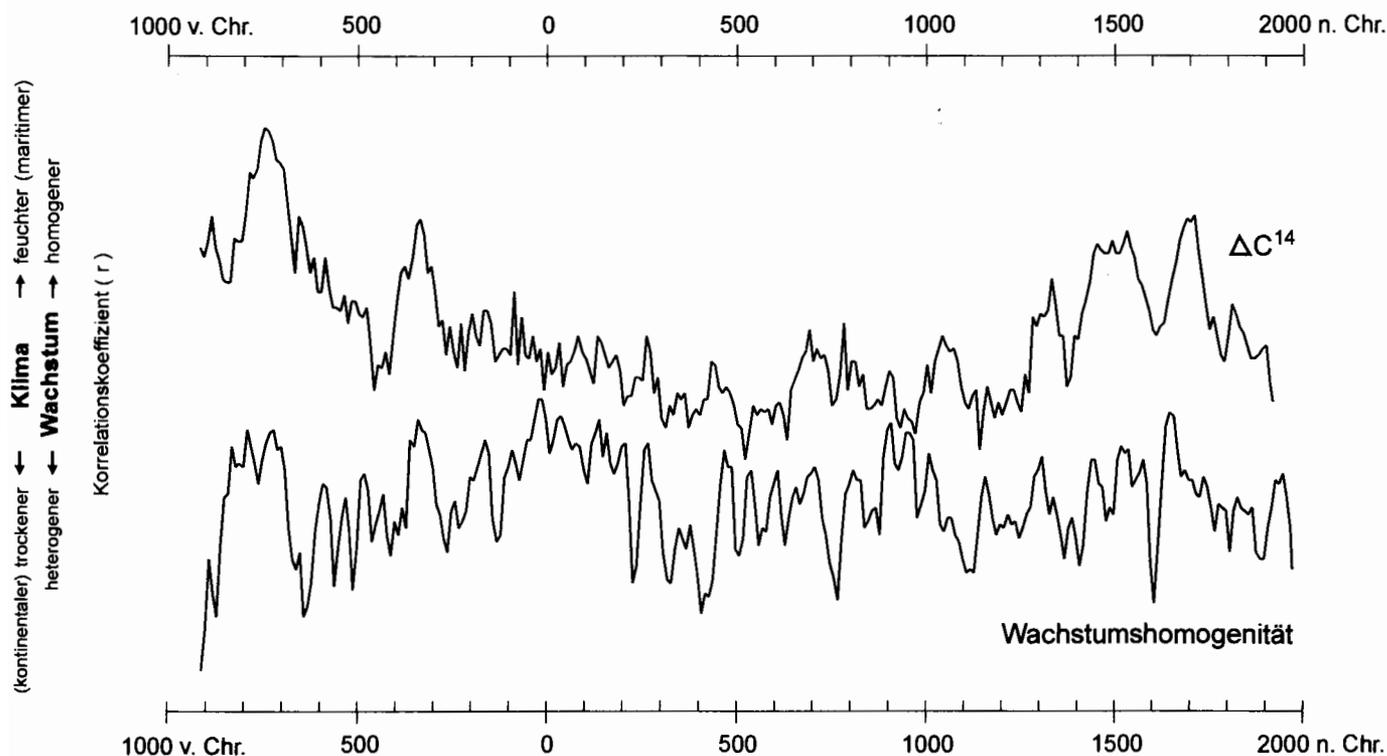


Abb. 11 Verlauf der HG-Kurve zwischen 900 v. Chr. und 2000 n. Chr. im Vergleich zu den Schwankungen des atmosphärischen ^{14}C -Gehalts ($\Delta^{14}\text{C}$). Die zeitweiligen Übereinstimmungen beider Kurven lassen vermuten, dass westeuropäische Klimawechsel zwischen kontinental und maritim auch durch Änderungen der Solarstrahlung beeinflusst sein könnten.

Da die Häufung der unterspülten Aueneichen zunächst von unterschiedlichen Wasserständen der Flüsse (maritime/kontinentale Wetterlagen) abhängig ist, müssten sich Übereinstimmungen zwischen HG-Kurve und Einlagerungsrate der Eichenstämmen abzeichnen.

Um 6000 v. Chr. wurden z.B. am Main, an der Weser und der Lahn sehr wenige Stämme eingelagert (Abb. 6); die Anzahl der Bäume nimmt bis etwa 5000 v. Chr. deutlich zu, nach der HG-Kurve war diese Zeit feucht. Auch der Rückgang der Holzfunde bis 4000 v. Chr. entspricht dem Verlauf der HG-Kurve. Um etwa 3800, 3000, 1000 und 700 v. Chr. dürfte es nach den HG-Werten wieder feuchter gewesen sein, auch sind die Eichen an den Flüssen von Main, Weser und Lahn (Urz u. a. 2002) während dieser Zeit wieder zahlreicher.

Vergleich der HG-Kurve mit der ^{14}C -Kurve für die letzten 3000 Jahre

Während der beiden bekannten Vernässungsphasen um 700 v. Chr. und ca. 300 v. Chr. fällt auf, dass sich diese Ereignisse sowohl in der ^{14}C -Kurve als auch in der HG-Kurve abzeichnen, ebenso wie die deutliche Marke um 1600 n. Chr. (während der Kleinen Eiszeit) (Abb. 11). Diese hier zu beobachtenden Parallelen zwischen beiden Kurven könnten andeuten, dass die Niederschlagsschwankungen Westeuropas teilweise auch von Änderungen der Strahlungsaktivität der Sonne abhängig sind. Auf einen solchen

möglichen Zusammenhang wurde bereits in mehreren Arbeiten hingewiesen (z.B. Schmidt u. a. 1988; Jirikowic u. a. 1993; Lassen u. a. 1995; Gross-Klee u. a. 1997). Dieses Ergebnis erlaubt jedoch noch keine Aussage über den direkten Einfluss schwankender Solarstrahlung auf das Klimageschehen Westeuropas, da die Ähnlichkeit zwischen ^{14}C -Kurve und HG-Kurve ab etwa 1000 v. Chr. zurückgeht. Die Werte scheinen bis 6000 v. Chr. eher antikorreliert zu sein.

Erste Fourier-analytische Untersuchungen der 8000-jährigen HG-Kurve zeigen periodische Strukturen bei 350, 580 und 800 Jahren.

Zusammenfassung und Ausblick

Der erfolgreiche Einsatz der Dendrochronologie beruht auf der Erscheinung, dass zeitgleiche Bäume innerhalb eines Klimagebietes deutliche Übereinstimmungen in der Aufeinanderfolge engerer und breiterer Jahrringe – als Folge des jährlich unterschiedlichen Klimas – zeigen.

Bereits beim Aufbau der mehrtausendjährigen Jahrringchronologien in Westeuropa fiel auf, dass der Grad der Jahrringübereinstimmung der Bäume über die Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg nicht gleichbleibend hoch ist, sondern auffälligen Schwankungen, von extrem homogen bis heterogen, unterliegt.

Da diese Schwankungen vorrangig klimatische Ursachen haben dürften, wurde der Ähnlichkeitsgrad bei Eichen aus verschiedenen Regionen Westeuropas für die letzten 8000 Jahre mit Hilfe von Korrelationsberechnungen der Jahrringbreiten im gleitenden Zeitfenster ermittelt, um zu prüfen, ob sich aus diesem Wachstumsmerkmal (Grad der Wuchshomogenität) Klimainformationen gewinnen lassen.

Vergleiche mit Klimadaten von 21 Wetterstationen Nord- und Westeuropas haben gezeigt, dass in Zeiten hoher Wuchshomogenität der Eichen Westeuropas ebenfalls überdurchschnittlich hohe Niederschlagsübereinstimmungen bei den Wetterstationen zu verzeichnen sind, wahrscheinlich herrschen Tiefdrucklagen aus westlicher Richtung vor (Tendenz zu höheren Niederschlägen, vorwiegend »maritime Wetterlagen«). In Zeiten geringerer Wachstumsübereinstimmung fallen auch zwischen Wetterstationen unterschiedliche Niederschlagsmengen (Tendenz zu geringeren Niederschlägen, vorwiegend »kontinentale Wetterlagen«).

Zur Einschätzung der hier vorgestellten Niederschlagsrekonstruktion können archäologische Befunde dienen, z. B. prähistorische Pfahlbauten an Seen in Süddeutschland und der Schweiz oder etwa Brücken und Häfen aus römischer Zeit, bei deren Bau die damaligen Wasserstände zweifellos eine Rolle gespielt haben.

Zur Abschätzung einer geographischen Gültigkeit dieser Niederschlagskurve sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, aber es scheint sich schon jetzt abzuzeichnen, dass einige großräumige Trockenphasen in der rekonstruierten Niederschlagskurve ausgeprägt sind. So scheint nach einer Feuchtphase um Christi Geburt bis etwa 200 n. Chr. ein Rückgang der Niederschläge bis 425 n. Chr. eingetreten zu sein. Auch die überlieferte Häufigkeit bzw. das Ausbleiben von Überschwemmungen in Norditalien zeigt einen ähnlichen Trend für diese Zeit. In gleicher Zeit sind Trockenperioden in China aufgetreten. Ein zweites Beispiel ist die Übereinstimmung zwischen der rekonstruierten Trockenphase von 2180 bis 2130 v. Chr. und der Dürreperiode in Ägypten, die zu einer großen Hungersnot führte. Zu dieser Zeit brechen auch die Siedlungsspuren in der östlichen Mittelmeerregion (z. B. Tell Leilan) ab. Von archäologischer Seite wird die Zeit um 2200 v. Chr. als Beginn einer Trockenperiode diskutiert. Der Vergleich zwischen der rekonstruierten Niederschlagskurve und der ^{14}C -Kurve zeigt für die letzten 3000 Jahre zeitweilig parallele Verläufe, die wahrscheinlich einen möglichen Zusammenhang zwischen Niederschlagsschwankungen in Westeuropa und Variationen der Solarstrahlung andeuten.

Erste Fourier-analytische Untersuchungen der 8000-jährigen Homogenitätskurve zeigen periodische Strukturen bei 350, 580 und 800 Jahren.

Die Auswertung von Jahrringbreiten durch Korrelationsberechnungen im Zeitfenster soll hier zunächst anzeigen, dass sich nach diesem Rechenverfahren Klimainformationen gewinnen lassen. Durch die Analysen weiterer historischer und prähistorischer Hölzer der einzelnen dendrochronologischen Laboratorien wird sich die Rekonstruktion der Niederschläge für Westeuropa noch wesentlich verfeinern lassen.

Dank

D. Eckstein, H. Egger, J. Pilcher und T. Wazny sei gedankt, dass wir ihre Chronologien verwenden durften, besonders H. H. Leuschner, M. Friedrich und M. Spurk für die Langzeitchronologien. Das hat diese ersten HG-Berechnungen wesentlich erleichtert.

Bei der Untersuchung haben mitgearbeitet: E. Höfs, M. Stiller, D. Tuteuruga und O. Verbeek sowie T. Baumgart, D. Braun, I. Jöns, M. Münch, N. Nolde, J. Ruland und S. Scherm. Allen sei herzlich gedankt.

Literatur

- Baillie, M. G. L. 1992: Dendrochronology and past environmental change. *Proceedings of the British Academy* 77, 5-23.
- Becker, B. und Schmidt, B. 1990: Extension of the European Oak Chronology to the past 9224 years. In: *Pact* 29-II, 1, 37-50.
- Becker, B. / Billamboz, A. / Egger, H. / Gassmann, A. / Orzel, A. / Orzel, Chr. u. Ruoff, U. 1985: Dendrochronologie in der Ur- und Frühgeschichte. Die absolute Datierung von Pfahlbausiedlungen nördlich der Alpen im Jahrringkalender Mitteleuropas. *Antiqua* 11. Veröffentlichung der Schweiz. Ges. Ur- und Frühgesch.
- Billamboz, A. u. Schöbel, G. 1996: Dendrochronologische Untersuchungen in den spätbronzezeitlichen Pfahlbausiedlungen am nördlichen Ufer des Bodensees. In: *Siedlungsarchäologie im Alpenvorland IV. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg* 47 (Stuttgart).
- Briffa, K. R. / Bartholin, T. S. / Eckstein, D. / Jones, P. D. / Karlen, W. / Schweingruber, F. H. u. Zetterberg, P. 1990: A 1. 400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. *Nature* 346, 434-439.
- Briffa, K. R. u. Osborn, T. J. 2002: Blowing Hot and Cold. *Science* 295, 2227-2228.
- Davis, O. K. / Kaimei, D. / Dean, J. S. / Parks, J. u. Kalin, R. M. 1995: Radiocarbon dating of buried trees and climate change in Western Oklahoma. *Radiocarbon* 37, Nr. 2, 611-614.
- Delorme, A. 1972: Dendrochronologische Untersuchungen an Eichen des südlichen Weser- und Leineberglandes (Diss. Göttingen).
- 1973: Über die Reichweite von Jahrringchronologien unter besonderer Berücksichtigung mitteleuropäischer Eichenchronologien. *Prähist. Zeitschr.* 48, 133-143.
- Eckstein, D. (pers. Mitt.): Jahrringchronologie für Norddeutschland 1376-1972 AD.
- Egger, H. (pers. Mitt.): Jahrringchronologien für die Schweiz 924-1989 AD.
- Esper, J. / Cook, E. R. u. Schweingruber, F. H. 2002: Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstruction past temperature variability. *Science* 295, 2250-2253.
- Friedrich, M. / Kromer, B. / Spurk, M. u. Kaiser, K. F. 1999: Palaeo-environment and radiocarbon calibration as derived from Late Glacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International* 61, 27-39.
- Friedrich, M. / Kromer, B. / Kaiser, K. F. / Spurk, M. / HUGHEN, K. u. Johnsen, S. J. 2001: High resolution climate signals in the Boelling/Alleroed Interstadial as reflected in European tree-ring chronologies compared to marine varves and ice-core records. *Quaternary Science Reviews* 20 (11), 1223-1232.
- Fritts, H. C. 1976: *Tree rings and climate* (Academic Press, London, New York, San Francisco).

- Gechter, M. 2001: Die Wirtschaftsbeziehungen zwischen dem Römischen Reich und dem Bergischen Land. In: T. Grünwald (Hrsg.), *Germania inferior. Reallexikon der Germanischen Altertumskunde, Ergänzungsband 28*, 517-546.
- Gerlach, R. 1995: Die hydrologischen und klimatischen Bedingungen des Wassernetzes im römischen Germanien. *Arch. Korrbibl.* 25, 97-106.
- Gerlach, R. u. Klostermann, J. 1989: Witterung und Klima am Niederrhein von der Zeitenwende bis zum Beginn der Neuzeit. *Natur am Niederrhein (N. F.)* 4, 2, 35-43.
- Graybill, D. A. u. Shiyatov, S. G. 1989: A 1009 year tree-ring reconstruction of mean June-July temperature deviations in the polar urals. In: *Symposium on air pollution effects of vegetation. USDA Forest Service, Northwestern Forest Experiment Station* 37-42.
- Gross-Klee, E. u. Maise, C. 1997: Sonne, Vulkane und Seefersiedlungen. *Jahrb. Schweiz. Ges. Ur- u. Frühgesch.* 80, 85-94.
- Hollstein, E. 1980: Mitteleuropäische Eichenchronologie. *Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte. Trierer Grabungen und Forschungen* 11.
- Huber, B. / Giertz-Siebenlist, V. u. Niess, W. 1964: Jahringchronologie hessischer Eichen. *Büdingen Geschichtsbl.* 5, 29-81.
- Hughes, M. K. / Kelly, P. M. / Pilcher, J. R. u. Lamarche Jr, V. C. (Hrsg.) 1982: *Climate from tree rings* (Cambridge University Press).
- Hughes, M. K. / Xiangding, W. / Xuemei, S. u. Garfin, G. M. 1994: A preliminary reconstruction of rainfall in North-Central China since A. D. 1600 from tree-ring density and width. *Quaternary Research* 42, 88-99.
- Jirikowic, J. L. / Kalin, R. M. u. Davis, O. K. 1993: Tree-Ring ^{14}C as a possible indicator of climate change. In: *Climatic Change in Continental Isotopic Records. AGU Geophysical Monograph* 78, 353-366.
- Klostermann, J. 2001: Klima und Landschaft am römischen Niederrhein. In: *Germania inferior a. a. O.* (vgl. Gechter 2001) 36-53.
- Lamb, H. H. 1982: *Climate, history and the Modern World* (Methuen & Co., London).
- 1989: *Klima und Kulturgeschichte. Der Einfluß des Wetters auf den Gang der Geschichte* (Rowohlt, Reinbeck bei Hamburg).
- Lassen, K. u. Friis-Christensen, E. 1995: Variability of the solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 57/8, 835-845.
- Leuschner, H. H. 1992: Subfossil trees. In: Bartholin, T. S., Berglund, B. E., Eckstein, D. und Schweingruber, F. H. (Hrsg. 1990), *Tree rings and environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, Sweden*, Lund University, Department of Quaternary Geology, LUNDQUA Report.
- Leuschner, H. H. / Spurk, M. / Baillie, M. G. L. u. Jansma, E. 2000: Stand dynamics of prehistoric oak forest derived from dendrochronologically dated subfossil trunks from Bogs and Riverine sediments in Europe. *GEOLINES* 11, 118-121.
- Pfister, C. 1988: *Klimageschichte der Schweiz 1525-1860. Das Klima der Schweiz von 1525-1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft* (Paul Haupt, Bern, Stuttgart) 1, 15-184.
- 1999: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995)* (Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien).
- Pilcher, J. R.: Sechs Jahringchronologien für Frankreich 1531-1979 AD, Id-Nummer FRAN001-FRAN005. RWL, FRAN007. RWL. (Internat. Tree-Ring Data Bank-ITRDB).
- Pilcher, J. R. / Baillie, M. G. L. / Schmidt, B. u. Becker, B. 1984: A 7272-year tree-ring chronology for western Europe. *Nature* 312, 150-152.
- Schmidt, B. 1981: Dendrochronologische Untersuchungen an Pfahlresten einer römerzeitlichen Rheinbrücke in Koblenz. *Bonner Jahrb.* 181, 301-311.
- 1992a: Jahringanalytische Untersuchungen an Eichenfunden aus den Grabungen in Oberaden. In: Kühlborn, J.-S., *Das Römerlager in Oberaden III, Die Ausgrabungen im nordwestlichen Lagerbereich und weitere Baustellenuntersuchungen der Jahre 1962-1988* (Münster).
- 1992b: Hölzerne Moorwege als Untersuchungsobjekte für die Dendrochronologie. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland* 15, 147-159.
- Schmidt, B. und Gruhle, W. 1988: Klima, Radiokohlenstoffgehalt und Dendrochronologie. *Naturw. Rundschau* 41, 177-182.
- 2001a: Überregionale Reaktionsmuster im Baumwachstum. *Naturw. Rundschau* 54, 5, 240-245.
- 2001b: Ähnlichkeitsprofil (Homogenitätsgrad) von Jahringchronologien Westeuropas während der letzten Jahrhunderte. In: Gehlen, B., Heinen, M. u. Tillmann, A. (Hrsg.), *Archäologische Berichte 14. Zeit-Räume, Gedenkschrift für Wolfgang Taute* 43-53.
- 2002: Dendrochronologische Untersuchungen zur Latènesiedlung von Porz-Lind, »Linder Bruch«. In: Joachim, H. E. (Hrsg.), *Porz-Lind. Rheinische Ausgrabungen* 47, 197-207.
- 2003a: Wuchshomogenität als ein neues Analyseverfahren zur Verbesserung der dendrochronologischen Datierung.

- rungsmethode. Die Hölzer der neolithischen Brunnen von Erkelenz-Kückhoven, Zwenkau und Mohelnice sowie vom Fundplatz Kaster. In: Eckert, J., Eisenhauer, U., Zimmermann, A. (Hrsg.), *Archäologische Perspektiven; Analysen und Interpretationen im Wandel*. Festschrift für Jens Lüning zum 65. Geburtstag. Internationale Archäologie: Studia honoraria, Bd. 20.
- 2003b: Jahrringdatierung archäologischer Fundplätze des Elsbahtales im westdeutschen Braunkohlentagebauegebiet mit auffallender Fundlücke zwischen 250 und 450 n. Chr. In: Koschik, H. (Hrsg.), *Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland 15*.
- Schmidt, B. / Höfs, E. / Khalessi, M. u. Schemainda, P. 1998: Dendrochronologische Befunde zur Datierung des Brunnens von Erkelenz-Kückhoven in das Jahr 5090 vor Christus. In: Koschik, H. (Hrsg.), *Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland 11*, 279-289.
- Schmidt, B. und Höfs, E. 2001c: Die Hölzer aus den Ausgrabungen auf dem Heumarkt in Köln als Baustein eines neuen 2500-jährigen Eichenkalenders für Nordrhein-Westfalen. *Kölner Jahrb.* 34, 795-834.
- Schweingruber, F. H. / Bräker, O. U. u. Schär, E. 1987: Temperature information from a European dendroclimatological sampling network. *Dendrochronologia* 5.
- Spurk, M. / Friedrich, M. / Hofmann, J. / Remmele, S. / Frenzel, B. / Leuschner, H. H. u. 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, 1-10.
- Spurk, M. / Leuschner, H. H. / Baillie, M. G. L. / Briffa, K. R. u. Friedrich, M. 2002: Depositional frequency of German subfossil oaks: climatically and non-climatically induced fluctuations in the Holocene. *The Holocene* 12, 6, 695-703.
- Tichý, R. 1998: The context of the early-LBK Well at Mohelnice. In: Koschik, H. (Hrsg.), *Materialien zur Bodendenkmalpflege im Rheinland 11*, 45-50.
- Urz, R. / Röttger, K. u. Thiemeyer, H. 2002: Von der Natur zur Kulturlandschaft. Das mittlere Lahntal (Hessen) in vor- und frühgeschichtlicher Zeit. *Germania* 80, 269-293.
- Wagner, P. 1990: Die Holzbrücken bei Riedstadt-Goddelau, Kreis Groß-Gerau. *Materialien zur Vor- und Frühgeschichte von Hessen* 5 (Wiesbaden).
- Wazny, T. (pers. Mitt.): Jahrringchronologie für Polen 996-1985 AD.
- Wefer, G. / Berger, W. H. / Behre, K. E. u. Jansen, E. (Hrsg.) 2002: *Climate development and history of the North Atlantic Realm* (Springer-Verlag Berlin, Heidelberg).
- Weiss, H. 2000: Environmental disaster and the archeology of human response. *Maxwell Museum of Anthropology, Anthropological Papers No. 7*.
- Weiss, H. u. Bradley, R. S., 2001: What drives societal collapse?. *Science* 291,609-610.

Resümee

NIEDERSCHLAGSSCHWANKUNGEN IN WESTEUROPA WÄHREND DER LETZTEN 8000 JAHRE. VERSUCH EINER REKONSTRUKTION MIT HILFE EINES NEUEN DENDROCHRONOLOGISCHEN VERFAHRENS (GRAD DER WUCHSHOMOGENITÄT)

Vergleiche durch Korrelationsberechnungen im gleitenden Zeitfenster zwischen Jahrringchronologien Westeuropas für die letzten 8000 Jahre haben gezeigt, dass der Ähnlichkeitsgrad im Baumwachstum über die Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg nicht gleichbleibend ist, sondern deutlichen Schwankungen zwischen homogen und heterogen unterliegt (Grad der Wuchshomogenität). Als Ursache hierfür kommen Schwankungen zwischen maritimen und kontinentalen Wetterlagen in Betracht, wie erste Untersuchungen der Niederschlagsmengen von 21 Wetterstationen Nord- und Westeuropas belegen.

Es gibt aus der Historie Hinweise auf Trocken- und Feuchtphasen, die in der rekonstruierten Niederschlagskurve wiederzufinden sind, wie etwa die diskutierte Zeit um etwa 2200 v. Chr. (Tell Leilan).

Die berechneten Niederschlagsschwankungen können zu einem Teil durch Variationen der Solarstrahlung hervorgerufen sein, wie erste Vergleiche mit der ¹⁴C-Kurve zeigen.

Erste Fourier-analytische Untersuchungen der 8000-jährigen Homogenitätskurve deuten auf periodische Strukturen bei 350, 580 und 800 Jahren.

PRECIPITATION CHANGES IN WESTERN EUROPE DURING THE LAST 8000 YEARS. ATTEMPTED RECONSTRUCTION WITH THE HELP OF A NEW DENDROCHRONOLOGICAL METHOD (DEGREE OF GROWTH HOMOGENEITY).

Tree-ring chronologies in Western Europe for the last 8000 years have been compared by calculations of correlation in a sliding time-window of 20 years. This showed that the degree of similarity in tree growth does not stay the same over decades and centuries, but can be either homogenous or heterogeneous (degree of growth homogeneity). As a reason for this phenomenon, changes between maritime and continental weather conditions can be postulated; this is indicated preliminary by studies of the amount of precipitation from 21 weather stations in North and West Europe.

From history we know of dry and humid phases, which can be recognised in the reconstructed graph of precipitation, e.g. the discussed time around 2200 BC (Tell Leilan).

The calculated changes of precipitation can be partly caused by variations in solar radiation, as first comparisons with the ^{14}C curve indicate.

Preliminary Fourier-analytical studies of the homogeneity-graph over a period of 8000 years imply periodical structures of 350, 580 and 800 years.

M. S.

FLUCTUATIONS DES PRÉCIPITATIONS DE L'EUROPE DE L'OUEST POUR LES 8000 DERNIÈRES ANNÉES. ESSAI D'UNE RECONSTITUTION AVEC DE NOUVELLES MÉTHODES DENDROCHRONOLOGIQUES (DEGRÉ D'HOMOGÉNÉITÉ DE CROISSANCE)

Concernant les dernières 8000 années, les comparaisons par les calculs de corrélation dans les échelles de temps entre les chronologies annuelles de l'Europe de l'Ouest ont montré que le degré de similitude dans la croissance d'un arbre, durant une décennie ou un siècle, n'est pas constant, mais est victime de fluctuations distinctes, homogènes et hétérogènes (degré d'homogénéité de croissance). Comme les premières études pluviométriques des 21 stations-météorologiques de l'Europe du Nord et de l'Ouest le montrent, les causes entrant en ligne de compte correspondent aux variations entre climats maritimes et climats continentaux.

L'existence de phases sèches et de phases humides est attestée par les sources écrites ; on les retrouve dans les courbes graphiques des précipitations, comme par exemple, pour la période discutée de 2200 avant J.-C. (Tell Leilan).

Les fluctuations prévues des précipitations atmosphériques ont pu, pour une partie, être suscitées par les variations du rayonnement solaire, comme la première comparaison le montre avec la courbe radiocarbone.

Les premières études analytiques-Fourier des courbes d'homogénéité des 8000 dernières années montrent des structures périodiques de 350, 580, 800 ans.

E. M.

Burghart Schmidt
 Universität zu Köln
 Institut für Ur- und Frühgeschichte
 Labor für Dendrochronologie
 50923 Köln-Weyertal 125

Wolfgang Grubbe
 Kölner Str. 66
 51429 Bergisch Gladbach