

ARCHÄOKLIMATOLOGIE DES HOLOZÄNS

EIN DURCHGREIFENDER VERGLEICH DER »WUCHSHOMOGENITÄT« MIT DER SONNENAKTIVITÄT UND ANDEREN KLIMAANZEIGERN (»PROXIES«)

Für Archäologen ist es nicht ganz einfach, aus der Fülle von Arbeiten zur Paläoklimatologie, basierend auf unterschiedlichen Klimaanzeigern mit unterschiedlichen Fehlerbereichen, einen präzisen Klimaverlauf herauszufiltern. Viele Ansätze erlauben nur sehr beschränkte Aussagen und sind chronologisch zu ungenau. Zunächst sollen zwei in der letzten Dekade entwickelte Ansätze einander gegenübergestellt werden, deren Interpretationen widersprüchlich sind. Abschließend folgt – als neuer Ansatz – der Versuch einer Synchronisierung eines Grönland-Temperaturanzeigers mit Alpen-Baumgrenzen. »Durchgreifend« heißt hierbei, die gesamten Daten vom Atlantikum bis heute zu betrachten und nicht nur Teilbereiche.

WUCHSHOMOGENITÄT VON EICHEN

Eine Wuchshomogenität von Eichen verschiedener mitteleuropäischer Standorte stellten Schmidt / Gruhle 2003 nicht zuletzt in dieser Zeitschrift als neuen Klimaanzeiger vor. Bei diesen Eichen handelt es sich um die in unserer (sub-)atlantischen Klimazone verbreiteten, am fossilen Holz nur begrenzt unterscheidbaren beiden *Quercus*-Arten *Q. robur* (Stieleiche) und *Q. petraea* (Traubeneiche). In der Eiszeit in Mitteleuropa ausgestorben, wanderten sie nach der holozänen Erwärmung wieder ein. Dabei unterscheiden sich unsere zwei Eichenarten etwas in den Standortansprüchen und der Reaktion auf klimatische Einflüsse: Die weiter nach Osten vordringende *Q. robur* bevorzugt feuchte bis nasse Böden, während *Q. petraea* auch mit Sandböden vorliebnimmt, aber empfindlicher auf Winterkälte reagiert. Gemeinsam ist beiden Arten, dass sie besonders empfindlich gegenüber Trockenheit reagieren (vgl. z.B. Neuwirth 2004; Büntgen 2010); Untersuchungen haben gezeigt, dass – abgesehen von Temperatur-Grenzlagen – der Radialzuwachs vor allem vom Niederschlag im Frühsommer (ab 9°C) abhängt; etwas geringer wirkt sich die Temperatur der Vegetationsperiode aus (Spätfröste, Dauer der Vegetationsperiode) und zusätzlich die Temperatur des Vorjahres.

Die Summe dieser und weiterer Einflüsse zeigt sich in der Breite der Jahresringe, also dem Radialzuwachs der Bäume. So liegt es nahe, aus diesen Baumringbreiten Rückschlüsse auf das Klima zu ziehen. Denn bis zu über 10 000 Jahre zurück sind uns in Feuchtböden (Flussschottern, Mooren) eine große Anzahl von Stämmen erhalten geblieben, die nach ihrem durch Alter, Sturm, Hochwasser oder Vermooring verursachten Absterben unter diesen Bedingungen konserviert wurden.

Zum Beispiel mag die in **Abbildung 2a** sichtbare Lücke in der Kurve der Wuchshomogenität (oliv) zunächst auf ein mit der damaligen Moorausbreitung einhergehendes »Ertrinken« von Eichenbeständen rückzuführen sein; erst am Ende dieser Lücke, ab ca. 6 300 v.Chr., könnte der gut belegte Kälterückschlag (8.2 ka event) auch noch eine Rolle gespielt haben, der sich zur gleichen Zeit ebenfalls in einem Rückgang der Flusseicheneinlagerungen am Main auswirkte (Spurk u.a. 2002, Tab. 1).

Doch nicht nur wegen der geschilderten unterschiedlichen Reaktion der beiden Arten ist die klimatische Interpretation von Baumringbreiten verschiedener Standorte schwierig (vgl. z.B. Schmidt / Gruhle 2003,

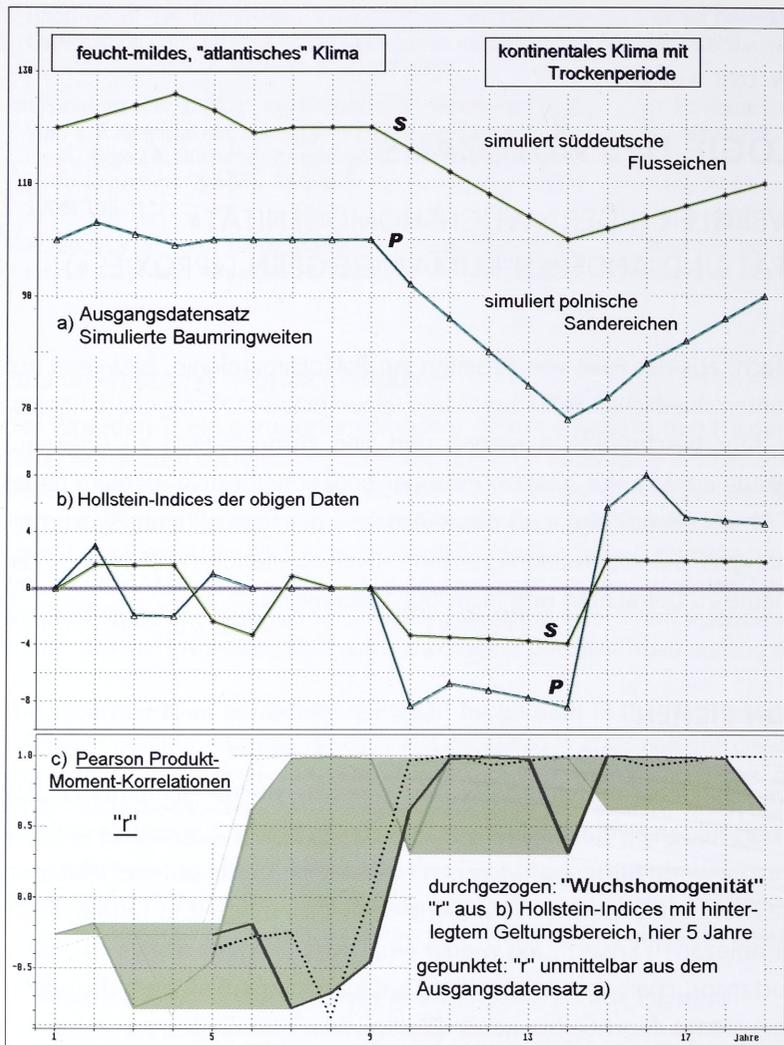


Abb. 1 Simulation der mathematischen Verfahren zur Wuchshomogenität. – (Graphik H. J. Holm).

Abb1; Riemer 1999, Abb. 6). Hier setzen die Autoren mit folgender Überlegung ein: Eichen an günstigen Standorten, also mit ständig guter Wasserversorgung und höherem Temperaturniveau, wie z.B. in süddeutschen Flussauen, sollten weniger von Klimaschwankungen abhängig sein, also geringere klimabedingte Schwankungen aufweisen. Demgegenüber sollte sich bei Eichen an trockeneren und nördlicheren Standorten vor allem Niederschlagsmangel in geringeren Zuwächsen ausdrücken. Also müsste man aus dem Vergleich verschiedener Jahrringbreitenmuster auf den überregionalen Klimaverlauf schließen können. Statt den Verlauf für die einzelnen Regionen zu mitteln, berechnen Schmidt / Gruhle die lineare Ähnlichkeit der vorhandenen Dendrodaten mittels der Spearman-Produkt-Moment-Korrelation in einem 50-jährigen Zeitblock. Sie erwarten, dass überregional feucht-warm («atlantisch») geprägte Klimaabschnitte sich ebenfalls überregional in höheren Ringbreiten zeigen, damit geringere Unterschiede aufweisen, die dann durch eine positive Korrelation erkennbar seien und umgekehrt. Dass an nördlichen Grenzstandorten auch niedrigere Temperaturen zu geringeren Ringbreiten führen, wird vernachlässigt. Über diesen methodischen Hauptschritt hinaus meinen Schmidt / Gruhle, eine vermutete »Autokorrelation« und »nicht-klimatisch bedingte Langzeitschwankungen« noch vor der Korrelationsberechnung mittels des sog. Hollstein-Algorithmus eliminieren zu müssen.

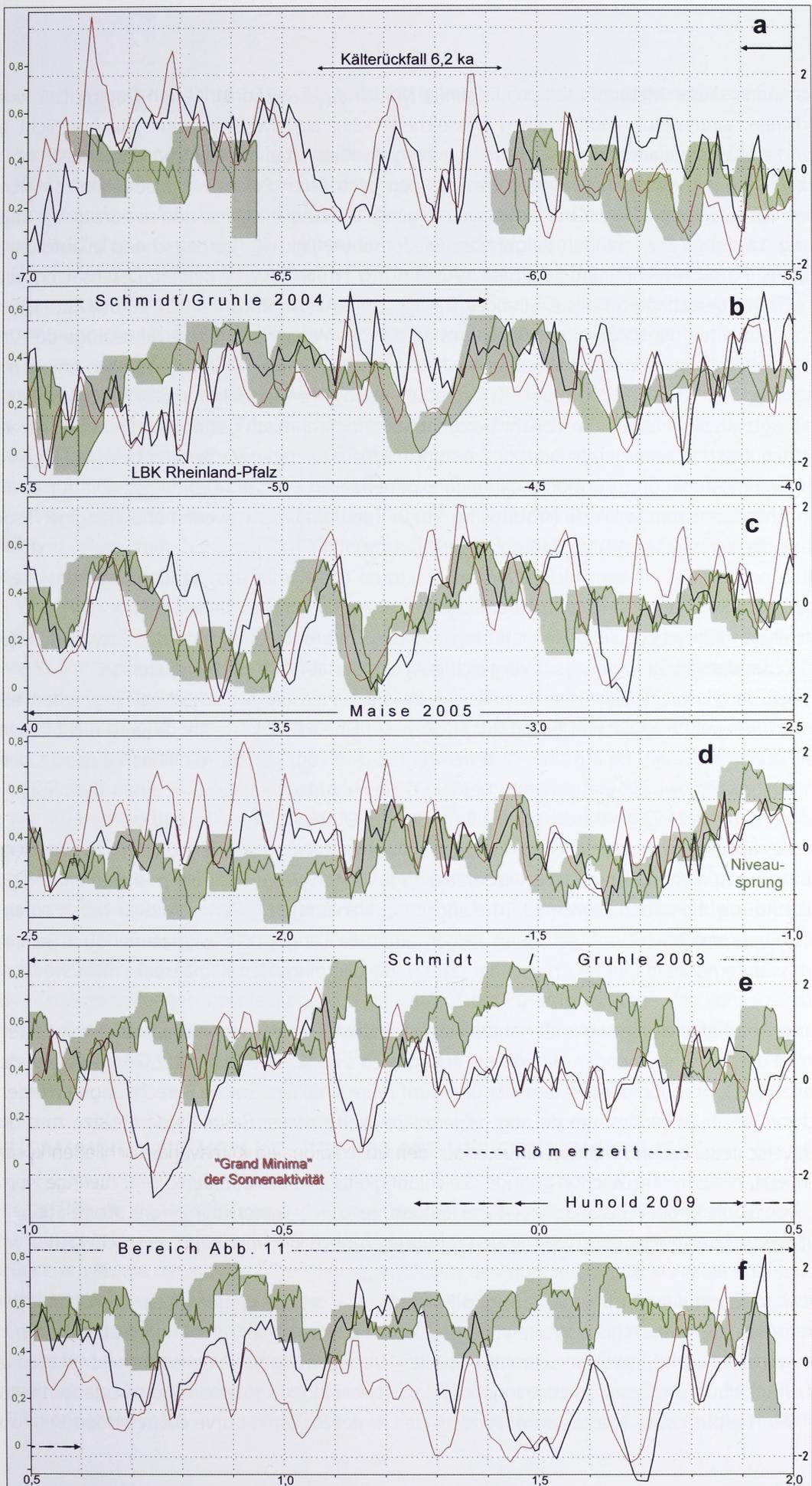


Abb. 2 Gültigkeitsbereich der Wuchshomogenität (oliv) im Vergleich zur Sonnenaktivität (schwarz) nach IntCal98; orange nach Solanki 2005; Betrachtungsbereiche verschiedener Autoren. – (Graphik H. J. Holm).

Zum Verständnis dieser Methodik soll das folgende Modell aus zwei konstruierten Datensätzen von Ringbreiten dienen, einmal von süddeutschen Flusseichen (»S«), aus west-mitteleuropäischer Sicht auf der wärmeren Seite eines atlantischen, feucht-mild geprägten Klimas bei ständiger Verfügbarkeit von Grundwasser; zum zweiten von einem Sandergebiet aus dem Nordosten Polens (»P«) bei eher kontinental beeinflusstem Klima und unsicherer Grundwasserversorgung. Die beiden Kurven sind so konstruiert, dass sie in **Abbildung 1a** die zu erwartenden Ringbreiten wiedergeben, links für vorherrschend atlantisches Klima, rechts für eine trocken-kontinentale Phase. **Abbildung 1b** zeigt von beiden Datensätzen die nach Schmidt / Gruhle berechneten Hollstein-Indices. Der Hollstein-Algorithmus $Y = 100 \ln (b(i) / b(i-1))$ logarithmiert den Quotienten der Ringbreite jedes Jahres zu der des Vorjahres. Breitere Jahresringe des Vorjahres (**Abb. 1**, Jahre 9-14) ergeben somit Werte unter 1, logarithmiert negative Werte, dagegen ergeben schmalere Ringbreiten des Vorjahres Werte über 1, logarithmiert positive Werte. Mit anderen Worten: Es wird das jeweilige Ringbreitenverhältnis zum Vorjahr berechnet und logarithmisch gestaucht, d.h. die höheren Werte stärker gegenüber den niedrigeren. Der Multiplikator trägt zur weiteren Verzerrung bei. Die Folgen daraus:

1. Die Logarithmusfunktion ist unnötig, da keine exponentiellen Vorgänge vorliegen. (Die für Laien kaum noch nachvollziehbaren In-Werte (**Abbildung 1b**) wurden mit einem zweiten unabhängigen Programm auf Basis der sechsstelligen Divisonsergebnisse bestätigt).
2. Die Null- oder Mittellinie sagt nichts über die Faktoren des Klimas aus, sondern nur, dass keine Veränderung der Ringbreiten zum Vorjahr vorliegt (vgl. Kurve »P« in den Jahren 6-9).
3. Es entstehen »Täler« bzw. »Gipfel« nicht dort, wo die Ringbreiten am schmalsten (bzw. breitesten) sind (Jahr 11), sondern vorher, wo sie im Vergleich zum Vorjahr abfallen und umgekehrt.

Kurz gesagt, der Hollstein-Algorithmus verfälscht die Daten, da die tatsächlichen Ringbreiten eliminiert werden. Das Ergebnis zeigt keinen Bezug zur Hypothese. Eine »Autokorrelation« wird nicht beseitigt, im Gegenteil, durch die Erhaltung ausschließlich der Verhältnisse zum Vorjahr, die ja den Zuwachs des Folgejahres mitbestimmen, würde diese gerade betont. Ob eine Autokorrelation im Sinne periodisch wiederkehrender Verläufe vorliegt, wäre zunächst z.B. mit einem Durbin-Watson-Test zu ermitteln.

Auch hat das alles kaum etwas mit dem »Herausrechnen von Langzeitschwankungen« zu tun, denn diese bleiben durch entsprechend langes Überwiegen der zugehörigen negativen oder positiven Phasen erhalten, wie in **Abbildung 1b** in den Jahren 10-14. Langzeitschwankungen ließen sich zwar durch einen geeigneten Filter herausrechnen, wodurch dann jedoch auch die Langzeitklimasignale verloren gehen. Einen Kompromiss unternahm Riemer / Leuschner (2002), die allerdings den Klimaaspekt nicht weiter verfolgt haben.

Abbildung 1c zeigt die Ergebnisse der abschließenden Korrelationsberechnung, wofür mindestens zwei Messpunkte der zu vergleichenden Datensätze erforderlich sind. Die bei Schmidt / Gruhle verwendeten 50 vorhergehenden Jahrringbreiten werden hier über fünf Jahre simuliert. Solche Berechnungen werden in der Dendrochronologie verwendet, um die sog. »Gleichläufigkeit« zweier Baumringdatensätze zu prüfen. Ein Beispiel hierfür zeigt die gepunktete Kurve, die entsprechend der fünf verwendeten Vorjahre erst beim Jahr 5 einsetzt, bis zum Jahr 9 schon geringe Gleichläufigkeitsunterschiede durch sehr niedrige Korrelation anzeigt, jedoch die grobe Gleichläufigkeit der Folgejahre durch eine extrem hohe Korrelation nahe 1; hierbei spielen weder die Unterschiede in den Ringbreiten noch die im Süden (»S«) schwächer wirkende Trockenheit eine Rolle.

Somit erbringt schon diese Korrelation aus den Rohdaten das genaue Gegenteil der von Schmidt / Gruhle erwarteten Anzeige, nämlich hohe Werte in der Trockenphase, niedrige Werte in der »atlantischen« Phase. Ähnliches gilt dann auch für die von Schmidt / Gruhle »Wuchshomogenität« genannte Korrelation aus den Hollstein-Umrechnungen (fette, durchgezogene Linie). Der bei Jahr 14 sichtbare Abwärtszacken weist nicht etwa auf den Tiefpunkt der Trockenjahre, sondern den in der Hollstein-Kurve auftretenden Verlaufsunter-

schied der vorhergehenden Jahre 10 bis 14, zustande gekommen durch den zugrunde liegenden Algorithmus.

Diese Zusammenhänge hätten den Autoren bei korrekter Interpretation ihrer eigenen Abb. 11 (Schmidt / Gruhle 2003) auffallen müssen. Denn dort betonen die Autoren richtig die gute Übereinstimmung der kurzfristigen Trends der Wuchshomogenität mit der abgebildeten ^{14}C -Kurve, übersehen aber leider, dass diese spiegelbildlich zur (eigentlich gemeinten) Sonnenaktivität (vgl. unten) verläuft und damit das Gegenteil ihrer Vermutung beweist. Wandelt man in der genannten Abb. 11 die ^{14}C -Kurve durch Spiegelung zu einer angenäherten Sonnenaktivitätskurve, ist dagegen über die 3000 dargestellten Jahre eine gewisse Übereinstimmung des Langzeittrends zu beobachten, worauf später noch eingegangen wird.

Fazit: Die angewendete Methodik trägt nichts zu den beabsichtigten Aussagen bei, und die Hollstein-Transformation verfälscht das Ganze eher noch. Liest man den Wuchshomogenitätsindex richtig, zeigen hohe Werte ausschließlich langfristige Trends etwa im Millennium-Zeitraum an. Dies zeigte sich bereits in der erwähnten Abbildung (Schmidt / Gruhle 2003, Abb. 11) und könnte auch in unserer letzten **Abbildung 3** vermutet werden, wo jahrhundertelange Zu- oder Abnahmen überwiegend gut erkennbar sind und weitgehend mit dem im dritten Abschnitt erläuterten 980-Jahre-Rhythmus übereinstimmen. Kurzfristige Klimaaussagen (vor allem zum Niederschlag) dagegen scheinen sich eher über Durchschnittsberechnungen ableiten zu lassen (zuletzt Büntgen 2010).

Zu den Wuchshomogenitätsdaten: Die publizierte Wuchshomogenitätskurve stellt jährlich den Durchschnittstrend der vorhergehenden 50 Jahre dar. Dieser lange Berechnungsblock eliminiert kurzfristige Faktoren, wie Vulkanausbrüche sowie standortbedingte Einflüsse, wie den ca. alle vier Jahre wiederkehrenden Maikäferstress (vgl. z.B. Riemer / Leuschner, Folie 5). Für die menschliche Wahrnehmung ist das gewählte Zeitfenster bereits zu lang, wie auch Maise (2005, 182) bemerkte, der allerdings (2005, 183) schreibt, es handele sich um einen »jahrgenaue[n] [...] Klimaindikator«. Eine auffällige Niveaueverschiebung der Originalkurve um 0,2 nach oben ab $-1,1\text{ka}$ deutet auf einen nicht korrigierten Wechsel von Basisdaten¹. Dieser Sprung wurde in **Abbildung 3** korrigiert, in der höher aufgelösten **Abbildung 2** jedoch original belassen, außerdem wurde die korrekte Geltungsbreite von 50 Jahren² dargestellt, was sonst leicht übersehen wird und zu falschen Schlüssen bei genauer datierten Geschichtsereignissen führt. Der 50-Jahres-Block beseitigt allerdings nicht das Problem des Alterstrends (d.h. der mit dem Baumalter abnehmenden Ringzuwächse), der bereits aus den Einzelbäumen herausgerechnet werden sollte. Es ist nicht zu ersehen, ob das von Schmidt / Gruhle berücksichtigt wurde.

Bevor wir die Anwendungen besprechen, müssen wir auf die Zusammenhänge der Sonneneinstrahlung eingehen, da diese in vielen einschlägigen Arbeiten gemeinsam mit der Wuchshomogenität herangezogen wird.

ZUSAMMENHANG VON ^{14}C UND ^{10}Be MIT DER SONNENAKTIVITÄT

Unzweifelhaft ist die Sonneneinstrahlung unsere Hauptenergiequelle. Aus Messwerten der radioaktiven Isotope ^{14}C und ^{10}Be kann die Sonnenaktivität³ abgeschätzt werden. Diese Isotope werden, vereinfacht ausgedrückt, am Rande der Atmosphäre ständig durch den Beschuss mit der als konstant angenommenen energiereichen Weltraumstrahlung gebildet. Die Bildung der Isotope nimmt mit stärkerer Sonnenaktivität ab, weil der damit verbundene erhöhte Energiefluss (Sonnenwind) den Einfluss der Weltraumstrahlung zurückdrängt und damit zu einer geringeren Produktion der genannten Isotope führt: Die Kurven verlaufen daher gegensinnig. Zu Einzelheiten muss hier auf die Literatur verwiesen werden (z.B. Beer / McCracken 2009). Die Sonnenaktivitätswerte können auf zwei Wegen erschlossen werden, die recht gut übereinstim-

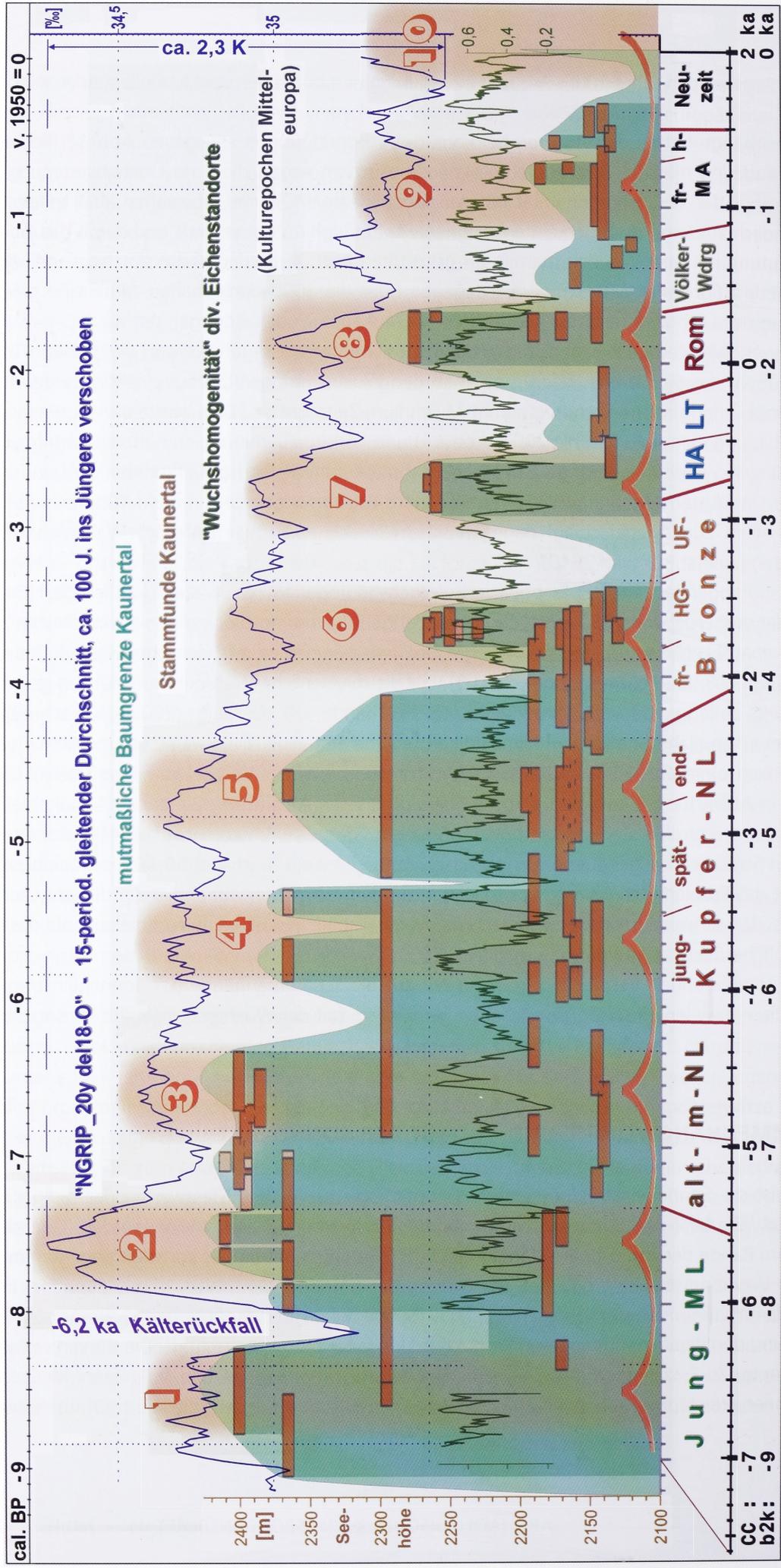


Abb. 3 Vergleich der Baumgrenzen im Kaunertal (nach Nicolussi 2009, braun: dendrochronologisch, hellbraun: ¹⁴C-bestimmte Baumstammalter). – Hellgrün ergänzt: vermutete Baumgrenze mit geringerer Stammbildung oder fehlenden Funden. – Oliv: Wuchshomogenität mitteleuropäischer Eichen (Schmid / Gruhle 2003, Abb. 1, 2 niveau-korrigiert). – Blau: Sauerstoffisotopenkurve des NGRIP-Eiskerns (Vinther 2006), zur besseren Vergleichbarkeit mit der Reaktionsdauer des alpinen Systems ins Jüngere verschoben. Untergesetzt: Kürzel der mitteleuropäischen Kulturepochen. – Geschummert: Periodisch wiederkehrende Temperatur-»Rückfälle«. – (Graphik H. J. Holm).

mende Werte ergeben: jahrgenau durch ^{14}C -Messungen in Baumringen, als auch durch ^{10}Be -Messungen an grönländischen Eiskernen (vgl. Vonmoos u.a. 2006).

In **Abbildung 2** wurde aus Vergleichsgründen mit dem unten vorgestellten Ansatz von Maise 1998, 2005 zum einen eine genau nach dessen Verfahren erschlossene Sonnenaktivitätskurve (schwarz) dargestellt, zum anderen dazu (orange) eine relativ moderne, wenn auch nicht unumstrittene Kurve der Sonnenaktivität nach Solanki u.a. 2004, welche die Daten unter Verwendung verschiedener Modelle modifizierte, wodurch die Kurve u.a. von der Rohkurve deutlich ins Ältere abweicht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf die zusätzliche Einfügung der Berylliumkurve aus Vonmoos u.a. 2006 verzichtet.

VERWENDUNG DER WUCHSHOMOGENITÄTS- UND SONNENAKTIVITÄTSKURVEN IN ARCHÄOLOGISCHEN ARBEITEN

In seinem Ansatz versuchte Maise 1998, Aussagen der ^{14}C -Sonnenaktivitäts-Kurve zu stützen und in Maise 2005 auch Beziehungen mit der Wuchshomogenitätskurve zu belegen. Er benutzte die Daten von Stuiver u.a. 1998 und berechnete die negative Differenz zu ihrem 1000-jährigen gleitenden Durchschnitt, so dass nun höhere Sonnenaktivität, wie oben erläutert, richtigerweise oben lag. Für Maises Betrachtungsbereich (**Abb. 2c**) scheint die Wuchshomogenität auch relativ gut mit der Sonnenaktivität zu harmonisieren. Selbst diese grobe Übereinstimmung gilt allerdings nur auf einem relativ kurzen Ausschnitt; im Gesamtvergleich wird deutlich, dass die parallelen Verläufe eher eine Ausnahme denn die Regel darstellen und daher statistisch als Zufall gelten müssen. Er stützt sich weiter auf voralpine Seespiegelschwankungen. Wie Maise (2005, 183) jedoch selbst richtig vermerkt, ist bei »[...] größeren ^{14}C -Peaks (± 100 Jahre) [...] die Korrelierung nicht immer eindeutig«, und daher sei »[...] die ^{14}C -Kurve keinesfalls 1:1 als Klimakurve zu lesen«. Leider beschreibt Maise das Verfahren trotz richtiger Arbeit mehrfach falsch (2005, 182f. **Abb. 1**), als bilde er die direkte ^{14}C -Kurve ab: » ^{14}C - und H-Kurve laufen [...] auffällig parallel«. Er verwechselt also die gar nicht gezeigte ^{14}C - mit der gespiegelt verlaufenden Sonnenaktivitätskurve.

Schmidt / Gruhle wiederholen die für 2003, **Abb. 11** (vgl. unsere **Abbildung 2e-f**) bereits angesprochene Verwechslung (2005; 2006, 435): »Auffallend ist die hohe Parallelität [!] zur ^{14}C -Produktionsrate«. Es kann sich dabei also nur um einen Verständnisfehler handeln. Dieser Fehler setzt sich dann auch im »archäologischen Kommentar« von Fischer (2006, 458ff.) fort, in dem die Wuchshomogenitätskurve gegenteilig zum postulierten Prinzip der Autoren beschrieben wird, womit also statt der Beweise Gegenbeweise geliefert werden. So wird dort z.B. S. 459 ein »Klimasturz um 400 v. Chr. als Ursache der für diese Zeit historisch belegten Keltenwanderungen« beschrieben, und weiter heißt es: »Dieser Einbruch in Richtung eines trockenen Klimas [...]«. In **Abbildung 2e** dagegen zeigt die Wuchshomogenitätskurve fast im gesamten 4. Jahrhundert v. Chr. ein Maximum – welches nach Schmidt / Gruhle gerade ein extrem feucht-warmes, atlantisches Klima anzeigen soll. Demgegenüber zeigt die Sonnenaktivitätskurve genau im selben Zeitraum ein sog. »Grand Minimum«, nach Sirocko 2009 kalt-feuchtes Wetter anzeigend. Zu Recht wollen Nortmann / Schönfelder in Sirocko (2009, 141) auch gar nichts von dem wenige Seiten vorher postulierten Katastrophenklima wissen, denn »kurz nach 400 BC verzeichnet die Latènekultur in Süddeutschland [...] bei weiterhin stabilen Verhältnissen gerade den Höhepunkt der oben beschriebenen Prunkgrabsitte.«

In einem Beitrag zu Blüte und Ende des Römerreiches (vgl. **Abb. 2e**) von Hunold / Sirocko (2009, 148f.) heißt es zur Wuchshomogenität: »Ein sehr präzise bestimmter Datensatz, der klare Rückschlüsse auf die großräumige Klimasituation ermöglicht, ist von Schmidt / Gruhle 2006 vorgestellt worden (**Abb. 26.8**)«. In der genannten **Abbildung** stellen Hunold / Sirocko – ähnlich Maise – die Wuchshomogenität für die Zeit –250 bis +600 der ^{14}C -Produktion (letztere mit falscher Quellenangabe und ungenau) gegenüber. Für das

hier nur in der Wuchshomogenitätskurve abgelesene »Optimum der Römerzeit« entspricht ihre Interpretation als »mildes Klima [...] regelmäßige Niederschläge« (zufällig) der Leitidee von Schmidt / Gruhle. Der in **Abbildung 3** für diese Zeit ebenfalls ersichtliche signifikante Anstieg der Baumgrenze kann dabei allerdings nur die Annahme längerfristig höherer Temperaturen stützen, die sich auch in einem deutlichen Gipfel der NGRIP-Isotopenkurve (Vinther 2006) abzeichnen.

Genau diese markante Temperaturerhöhung sollte nun logischerweise ebenso in der Sonnenaktivitätskurve ersichtlich sein. Doch im entsprechenden Abschnitt (**Abb. 2e**) verläuft die Sonnenaktivitätskurve im von Hunold bearbeiteten Abschnitt eher leicht unterdurchschnittlich (etwa auf dem Niveau von 1890), im größeren Vergleich sogar eher entgegengesetzt. Etwas vorher tritt dieser Widerspruch noch deutlicher hervor, nämlich im Bereich der beiden »Grand Minima« der Sonnenaktivität im 8. und 4. Jahrhundert v. Chr. – nach Sirocko 2009 angeblich nass-kaltes Klima anzeigend – entgegen gerade hoher Wuchshomogenität unter der gegenteiligen Annahme, wie für das 4. Jahrhundert v. Chr. oben bereits angesprochen.

So führt auch der in Schmidt / Gruhle 2006 eingebundene Beitrag von Fischer 2006, 456 in die falsche Richtung, wenn er schreibt: »Die Zeit um etwa 145 v. Chr. war nach der HG-Kurve von Schmidt / Gruhle eine extreme Trockenphase.« und führt als Beleg an: »Nach den Dendrodaten [...] fand genau zu dieser Zeit in der Rheinniederung nördlich von Köln (Köln-Porz-Lind) die Gründung einer jüngerlatènezeitlichen Siedlung statt, die bis in die Zeit um ca. 100 v. Chr. existierte. Diese Standortwahl wäre unter »normalen« klimatischen Bedingungen nie erfolgt, denn sowohl vorher, als auch kurze Zeit später bis heute herrschen hier höhere Wasserstände vor, die dann auch zu permanenter Feuchtbodenerhaltung der Siedlungsreste führten«⁴. Die Wasserstände mögen, aus welchen Gründen auch immer, niedriger gewesen sein. Aus der Wuchshomogenitätskurve ist dies weder im Prinzip noch in diesem Fall abzulesen: Der Autor beruft sich auf die in Schmidt / Gruhle 2003, Abb. 10 verzeichnete Kurve in 20-jähriger Auflösung. Allerdings, darin ist die unterstellte »Trockenperiode« viel früher, nämlich für ca. –162 bis –150 verzeichnet, und gilt zudem für das Mittel der Hollstein-Indices der 20 vorausgehenden Jahre. Bereits 140 v. Chr. zeigt die angesprochene Wuchshomogenitätskurve wieder überdurchschnittliche Werte (angeblich also Feuchttjahre), und die Siedlung könnte unter der Schmidt / Gruhle-Annahme nicht mehr bis 100 v. Chr. am alten Uferstrand bestanden haben – ein weiterer Gegenbeweis.

Einen weiteren, auch bereits bei Fischer (2006, 460) und anderen falsch dargestellten klimatischen Zusammenhang kolportieren Hunold / Sirocko (2009, 149) zu den Einfällen der Germanen: »In der Homogenitätskurve neigt sich jedenfalls um 240 AD die milde feuchte Gunstphase eindeutig ihrem Ende zu [...]«. Diese Aussage ist bereits in der Abbildung der Autoren nicht nachvollziehbar, denn in jener steigt die Sonnenaktivität genau dort wieder an. Zudem wissen wir ja jetzt, dass hohe Werte der Wuchshomogenitätskurve weder atlantisches Klima anzeigen, noch derartig genaue Aussagen erlauben, da sie lediglich die Veränderungen der vorhergehenden 50 Jahre beschreiben.

ZWISCHENBILANZ ZU WUCHSHOMOGENITÄT UND SONNENAKTIVITÄT

Im Vergleich fällt auf, dass die zwei Sonnenaktivitätskurven (schwarz/orange) gegenüber der (grünen) Wuchshomogenitätskurve zeitweise (vor allem im von Maisie behandelten Zeitraum) schwach parallel, in den übrigen Zeiten (z.B. Hunold) dagegen überwiegend unterschiedlich stark gegeneinander verlaufen. Hier nicht gezeigte Vergleiche im Bereich von zwei 20-jährig aufgelösten Wuchshomogenitätskurven fallen ähnlich widersprüchlich aus: Während zwischen 5600 und 4600 v. Chr. (–5.6 bis –4.6 ka), damit auch zur Zeit der Linienbandkeramik, eine akzeptable Parallelität von Wuchshomogenität und Sonnenaktivität herrscht, ist das genaue Gegenteil zwischen 500 v. Chr. und 500 n. Chr. (–0.5 bis +0.5 ka) der Fall. Wenn

auch in unserer Gesamtbetrachtung der **Abbildung 2** die Gegenläufigkeit zu überwiegen scheint, lässt sich erwartungsgemäß eine eindeutige Beziehung zwischen beiden Kurven nicht ableiten, und eine gegenseitige Stützung ist nicht gegeben.

Die Vergleichbarkeit der beiden unterstellten Klimateilreihen ist darüber hinaus schon wegen der nicht kongruenten Definition erschwert: Da eine gute Wuchshomogenität auf atlantisches Klima zurückgeführt wird, welches niederschlagsreich und mild geprägt, jedoch hinsichtlich der Temperatur nicht eindeutig ist, kann die mangelnde Parallelität mit der als trocken-warm definierten Wirkung hoher Sonnenaktivität nicht verwundern. Und natürlich hält die mehrfach hervorgehobene Aussagekraft der Wuchshomogenität für reiche Niederschläge einem Vergleich mit den empirisch erhobenen Daten (z.B. in Glaser 2008, 94-95. 181) in keiner Weise stand. Damit können die Ergebnisse von Maise nicht bestätigt werden; ebenso wenig der viel zu grobe Vergleich von Hunold; und genauso wenig auch die Grundannahme, auf der Sirocko (2009) aufbaut, dass nämlich niedrige Sonnenaktivität regelhaft zeitgleich zu »nasskaltem Klima« führe. Für beide Ansätze sind weitere Parallelen zu untersuchen.

BELEGE FÜR KLIMAAUSWIRKUNGEN DER SONNENAKTIVITÄT

Eisbergvorstöße im Nordatlantik

Belege für eine mögliche zeitnahe Auswirkung der Sonnenaktivitätsschwankungen auf die Verhältnisse im Nordatlantik wurden in mineralischen Rückständen holozäner Eisbergfelder gesehen, die Bond (u.a. 2001, Abb. 3) zufolge periodisch gegenläufig zur Sonnenaktivität weit südwärts in den Atlantik vorstießen und dort beim Schmelzen ihre Sedimentfracht abladen. In entsprechenden Bohrkernen können diese Lagen identifiziert und grob datiert werden. Diese Ereignisse könnten aber weniger auf direkte Sonnenaktivität im Norden, als vielmehr auf Wärmetransport durch die in äquatorialen Breiten aufgeheizten Meeresströmungen zurückzuführen sein. Eine durchgehende Parallelisierung mit weiteren Proxies war nicht möglich.

Gletscherschwankungen in den Alpen

Mögliche Zusammenhänge zwischen der Sonnenaktivität und dem mitteleuropäischen Klima werden derzeit vermehrt überprüft, um im Vergleich dazu das Ausmaß der menschlichen Eingriffe abschätzen zu können. Beer / McCracken (2009, Abb. 8) fanden einen Zusammenhang mit alpinen Gletscherschwankungen, wo ein grober, natürlich systembedingt verzögerter Gleichtakt der Sonnenaktivität mit den Schwankungen des Großen Aletsch-Gletschers in der Schweiz erkennbar ist. Bei der Konstruktion solcher Zusammenhänge ist jedoch zu beachten, dass die Ursache (hier die Sonnenaktivitätsänderung) der Wirkung (hier die Gletscherreaktionen) zeitlich vorausgehen hat. Will man also eine Kongruenz von Ursache und Wirkung grafisch aufzeigen, muss die Sonnenaktivitätskurve zum Jüngeren hin (in **Abb. 3** nach rechts) verschoben werden. Zur nur teilweisen Übereinstimmung schreiben die Autoren, dass die Vorstöße dieses Gletschers wohl bei weitem noch nicht sicher genug rekonstruiert sind. Weitere Forschungen sollten in Zukunft erheblich genauere Einsichten erbringen, wie sie z.T. bereits für die im folgenden Abschnitt zu untersuchenden Baumgrenzschwankungen des Kaunertales vorliegen.

In diesen beiden und anderen Fällen bleibt bisher die Frage offen, ob sich hier Änderungen der Sonnenaktivität tatsächlich direkt auswirken oder nicht vielmehr langfristige Energietransporte und Rückkopplungen eine viel stärkere Rolle mitspielen.

ALPINE BAUMGRENZSCHWANKUNGEN, EISKERNERGEBNISSE, WUCHSHOMOGENITÄT

Bisher noch nicht untersucht wurde die durchgehend relativ gute Parallelität im langwelligen⁵ Verlauf der Wuchshomogenität mit dem im Verlauf des Holozäns ständig wechselnden Auf und Ab der Baumgrenzen in den Alpen. Zwar hat Nicolussi 2005, 125 einen kleinen Ausschnitt (6 000-5 000 v. Chr.) mit einer ostalpinen Jahrringchronologie parallelisiert, jedoch mit wenig signifikantem Ergebnis. In **Abbildung 3** wurde die für die letzten 9 000 Jahre vorliegende Gesamtgrafik der Baumgrenzhöhen im Kaunertal (Nicolussi 2009) verwendet. Diese Grafik konnte durch dendrochronologische Datierung von dort in verschiedenen Höhen gefundenen fossilen Baumstammresten konstruiert werden und wurde in **Abbildung 3** nur um den zu vermutenden »weichen« Verlauf ergänzt: Die Baumgrenze folgt den weichenden Gletschern in großem Abstand, umgekehrt bleiben die Bäume stehen, bis sie vom wachsenden Gletscher wieder »überfahren« werden. Die grobe Parallelität mit dem Millennium-Trend der Wuchshomogenität ist umso bemerkenswerter, als die Baumgrenzen – vereinfacht ausgedrückt – bei der im Alpenraum in der Regel ausreichenden Feuchtigkeit logischerweise vor allem temperaturabhängig sind.

So verwundert es wenig, dass sich eine weitere Parallele, ebenfalls nur im langwelligen Millennium-Bereich, mit der Isotopenkurve des grönländischen Eisbohrkerns NGRIP (Vinther u.a. 2006) abzeichnet (**Abb. 3**, blaue Kurve), die als Temperaturanzeiger auffällig gut sowohl mit dem Gesamttrend der Baumgrenzrückgänge (Abkühlung) als auch den ca. alle 980 Jahre auftretenden Wiederanstiegen der Baumgrenzen (»Wärmerückfälle«) parallel läuft. Die ab hier eingetragene Temperaturdifferenz der Mittelwerte stimmt sehr gut mit der Angabe Burroughs' (2004, 47/48) überein: »On the evidence of tree cover the average summer temperature in mid latitudes of the northern hemisphere was 2 to 3 °C warmer than it is today.«

Diese NGRIP-Messergebnisse wurden durch die Ergebnisse einer Serie weiterer Bohrungen bestätigt (Fischer u.a. 1998), zeigen jedoch ab ca. 4000 v. Chr. zu den noch häufig zitierten Ergebnissen der amerikanischen GISP2-Bohrung in der Temperaturinterpretation von Alley (2004) bisher nicht geklärte Unterschiede, und zwar desto mehr, je jünger die beschriebenen Zeiten sind. Leider beruhen derzeit noch viele unsauber nur als »Grönland-Eiskerndaten« beschriebenen Kurven allein auf letzterer oder noch älteren GISP2-Arbeiten.

Aus **Abbildung 3**, und nur dort, wo alle drei Klimaanzeiger (Proxies) übereinstimmen, lassen sich die ausgeprägtesten Klimaänderungen des Holozäns deutlich erkennen, sowohl im Ausmaß als auch der zeitlichen Zuordnung. Diese so mehrfach abgesicherten Beziehungen erweisen viele der bisher veröffentlichten und häufig widersprüchlichen »Klimaoptima« und »-pessima«, die oft auf zu wenigen, veralteten und unbestätigten Proxies fußten, als falsch (wobei zudem oft »Klimaoptimum« vereinfachend gleich »Wärme« gesetzt wurde). Wie bereits mehrfach beobachtet (Schulz / Paul 2002; Solanki 2004, 1080; Beer / McCracken 2009, 211), lassen sich zehn jeweils etwa 980 Jahre dauernde, in Bezug auf die Temperaturen als auch die Baumgrenzen langsam abnehmende Temperaturwellen feststellen, deren Wellenkämme oder Temperaturgipfel man als holozäne »Wärmerückfälle« bezeichnen könnte:

- Der erste vorläufige Temperaturgipfel des 8. Jahrtausends v. Chr. (frühes Atlantikum) endet abrupt mit dem gut belegten Temperaturrückschlag zwischen –6420 und –6050 (engl. »8.2 BP cold event«), der sich auch in der Hohenheimer Eichenkurve (z.B. Weninger u.a. 2005, 77. 80) zeigt.
- Es folgen die zwei Hauptwellen (2 und 3) des späten Atlantikums. Im Zuge dieser Klimaerholung expandiert das Neolithikum auf dem Balkan. In einer Zwischenwelle sowohl bei den Baumgrenzen als auch der Wuchshomogenität expandiert das Neolithikum als Linienbandkeramische Kultur (LBK) bis an die Lössgrenzen Mitteleuropas; dies eigentliche »Optimum« des Holozäns endet in der zweiten Hälfte des 5. Jahrtausends v. Chr., grob etwa mit dem mittleren Neolithikum.

- Auf das mitteleuropäische Spät- und Endneolithikum fallen die nächsten beiden Wellen, deren erste (4) in allen drei Klimazeigern eine typische Doppelspitze bei ca. 3800 und 3400 v. Chr. aufweist, gefolgt von einem sehr kurzen, scharfen Kälterückfall (falls es sich nicht um eine Beleglücke handelt).
- Die fünfte, langsam abfallende, aber auch letzte Welle des wärmeren Abschnittes des Holozäns (das Sub-Boreal) endet ca. 1900 v. Chr. in unserer Frühbronzezeit. Baumgrenzen und Grönlandtemperaturen erreichen ab jetzt nicht mehr die vorhergehenden Niveaus des Holozäns, nicht einmal mehr in den Wellengipfeln:
- Die sechste Welle kulminiert jetzt viel bescheidener in der mitteleuropäischen Hügelgräberzeit (Bz A3). Im folgenden Wellental der Urnenfelderzeit besteht leider eine Fundlücke im Kaunertal, wodurch sich hier bezüglich eines manchmal postulierten »Optimums der Bronzezeit« eine Unsicherheit ergibt, die sich wegen der Widersprüchlichkeit vieler weiterer Arbeiten für diesen Abschnitt derzeit nicht klären lässt.
- Die folgende (siebte) Welle der Hallstattzeit ist wieder in allen drei Proxies gut sichtbar.
- Die Klimaverhältnisse der Latènezeit sind sowohl wegen unsicherer ¹⁴C-Datierungen (sog. »wobble-Bereiche« bis 370 v. Chr.), als auch unsicherer Dendrodaten (Schmidt / Gruhle 2003, 282) nicht ganz klar; doch läuft die Tendenz trotz erheblicher Schwankungen auf das
- berühmte und allgemein akzeptierte (achte) »Optimum der Römerzeit« zu.
- Ab hier laufen die Anzeigen auseinander: Die nach dem Rhythmus fällige (neunte) Welle, das oft zitierte »Optimum des Mittelalters«, taucht nur insignifikant in den NGRIP-Daten, etwas deutlicher in den Baumgrenzen des Kaunertals auf. In der Wuchshomogenitätskurve jedoch bleibt dies Optimum wie in vielen anderen baumringbasierten Forschungen insignifikant (vgl. Lansner 2009), weil diese im Wesentlichen von den Niederschlägen abhängen (vgl. oben; Daten bei Glaser 2008, Abb. 56). In den regional auf Teile Norddeutschlands beschränkten Untersuchungen in Büntgen 2010 erscheint ein Optimum gar erst im 13./14. Jahrhundert.
- Als regelhaft zehnter Wärmerückfall wird dann die augenblickliche Erwärmung sowohl in NGRIP als auch in den Alpen sichtbar. In welchem Maße hierbei menschliche Einflüsse eine Rolle spielen, wird bekanntermaßen kontrovers und heftig diskutiert, leider allzu oft aus zeitlich zu beschränkter Sicht.

SCHLUSSBEWERTUNG

Zur Wuchshomogenität: Aus allem ergibt sich eine zweigeteilte Bewertung: Nur im Millennium-Trend der **Abbildung 3** stimmt die Wuchshomogenität zumindest hinsichtlich der Temperatur mit zwei weiteren Klimazeigern recht gut überein. Dagegen ist ihre Aussagefähigkeit im Centennium-Bereich und darunter nicht zu belegen: Abgesehen vom mathematisch unangemessenen Vorgehen heben sich die von den Begründern der Wuchshomogenität (Schmidt / Gruhle 2003, 284) angeführten wenigen Belege ihrer Grundannahme »positive Korrelation – atlantisches Klima« mit den Gegenbeispielen auf. Diesbezügliche Baumringarbeiten weiterer europäischer Regionen (z.B. bei Riemer 1999, Abb. 6; Riemer / Leuschner 2002) liefern völlig andere Ergebnisse als die von Schmidt / Gruhle. Stochastisch saubere Synopsen (Lansner 2009) verschiedener weltweiter Temperaturanzeiger weisen besonders starke Abweichungen bei allen aus Baumringdaten gewonnenen Kurven gegenüber den aus anderen Proxies gewonnenen auf. Swindles 2010 fand für nordirische Verhältnisse nicht einmal einen Bezug zwischen Eichenringbreiten und Feuchtigkeit. Darüber hinausgehende Aussagen gibt also die augenblickliche Datenlage nicht her, womit die Wuchshomogenität für geschichtliche Arbeiten unbrauchbar bleibt.

Zur Sonnenaktivität: Hier sind direkte Auswirkungen auf geschichtliche Ereignisse – trotz des Versuchs von Sirocko 2009 – bisher nicht ausreichend belegt; der Hauptgrund hierfür dürfte in den noch weitgehend unklaren globalen Zusammenhängen beim Energietransport der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationen unseres Planeten liegen, deren sich mehrfach überschneidenden kurz- und langfristigen Einflüsse und Rückkopplungen noch nicht vollständig verstanden sind. Es muss darüber hinaus auffallen, dass die Klimainterpretationen von Schmidt / Gruhle weder chronologisch noch in der Polarität »warm-feucht« gegen »kühl-trocken« mit denen von Sirocko »kalt-feucht« gegen »warm-trocken« korrelieren. Allein von daher sind Vergleiche *a priori* zum Scheitern verurteilt. Aus all diesen Gründen erscheint die Sonnenaktivitätskurve für unmittelbare Rückschlüsse auf vorgeschichtliche Klimabedingungen oder gar eine Klimafolgenforschung derzeit noch ungeeignet. Für die Zeit des 16.-18. Jahrhunderts mit den tiefsten Temperaturen der letzten 10 000 Jahre werden in der Geschichte keine hierdurch bedingten langdauernden Katastrophen verzeichnet. Darüber hinaus sind sowohl die naturwissenschaftlichen als auch die Geschichtsdaten in Sirocko 2009 zu oft fehlerhaft und wenig Vertrauen erweckend.

Für die Ergebnisse der grönländischen Eiskernforschung lässt sich feststellen, dass sie zumindest im Millennium-Rahmen als Anzeiger für das Großklima im mitteleuropäischen Bereich herangezogen werden können. Es ist zu erwarten, dass die Forschung künftig mit genaueren Datierungen (dies nicht zuletzt in der hier nicht angesprochenen Sedimentforschung und Palynologie) und besserem Verständnis der geophysikalischen Zusammenhänge auch der Geschichtswissenschaft zufriedenstellendere Unterlagen bereitstellen wird.

Anmerkungen

- 1) Die Autoren haben hierfür bisher keine Erklärung.
- 2) »In den Homogenitätskurven der folgenden Abbildungen wird in jedem Jahrespunkt die Wuchshomogenität des vorangegangenen Zeitfensters dargestellt, also jeweils im Endpunkt dieses Zeitintervalls.« (nach Schmidt / Gruhle 2003, 282).
- 3) Jedoch nicht die Gesamtstrahlung (engl. total irradiance).
- 4) Anm. des Verf.: Der »Linder Bruch« liegt südlich (und nicht nördlich) von Köln und ist heute ca. 5 km vom Rhein entfernt.
- 5) Da die Originaldaten nicht zu Verfügung standen, kann hier leider keine mathematische Mittelwertkurve geboten werden. Die graphische Rekonstruktion der Kurven erfolgte daher per Hand. Auf eine Freihandmittelung wurde verzichtet, da sich die langwellige Übereinstimmung auch so erkennen lässt.

Literatur

- Alley 2004: R. B. Alley, GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data 3/2004, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004-013 (Boulder CO 2004).
- Beer / McCracken 2009: J. Beer / K. McCracken, Evidence for solar forcing: Some selected aspects. In: T. Tsuda / R. Fujii / K. Shibata / M. A. Geller (Hsrg.), Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES): Selected Papers from the 2007 Kyoto Symposium (Tokyo 2009) 201-216.
- Bond u.a. 2001: G. Bond / B. Kromer / J. Beer / R. Muscheler / M. N. Evans / W. Showers / S. Hoffmann / R. Lotti-Bond / I. Hajdas / G. Bonani, Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene, *Science* 294, 2001, 2130-2136.
- Büntgen u.a. 2010: U. Büntgen / V. Trouet / D. Frank / H. H. Leuschner / D. Friedrichs / J. Luterbacher / J. Esper, Tree-ring indicators of German summer drought over the last millennium. *Quaternary Science Reviews* 29/7-8, 2010, 1005-1016.
- Fischer u.a. 1998: H. Fischer / M. Werner / D. Wagenbach / M. Schwager / T. Thorsteinsson / F. Wilhelms / J. Kipfstuhl, Little ice age clearly recorded in northern Greenland ice core. *Geophysical Research Letters* Nr. 25-10, 1998, 1749-1752.
- Fischer 2006: Th. Fischer, Neue Chancen für eine archäologische Klimafolgenforschung? *Archäologisch-historischer Kommentar. Germania* 84/2, 2006, 453-463.
- Glaser 2008: R. Glaser, *Klimageschichte Mitteleuropas: 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen* (Darmstadt 2008).
- Gronenborn 2005: D. Gronenborn (Hrsg.), *Klimaveränderung und Kulturwandel in neolithischen Gesellschaften Mitteleuropas 6700 -2200 v.Chr.* RGZM Tagungen 1 (Mainz 2005).
- Hunold / Sirocko 2009: A. Hunold / F. Sirocko, Klimagunst und die Blütezeit des Römischen Reiches. In: Sirocko 2009, 144-9.
- Lansner 2009: F. Lansner, Holocene, historic and recent global temperatures from temperature proxies. <http://icecap.us/index>.

- php/go/climate-library/Historicandrecentglobaltemperature.pdf. Novo Nordisk A/5, erstellt 2009-04-11 (Zugriff 6. 7. 2010).
- Maise 1998: Ch. Maise, Archäoklimatologie – Vom Einfluss nach-eiszeitlicher Klimavariabilität in der Ur- und Frühgeschichte. *Jahrb. SGUF* 81, 1998, 197-235.
- 2005: Ch. Maise, Archäoklimatologie neolithischer Seeufersiedlungen. In: Gronenborn 2005, 181-186.
- Neuwirth 2004: B. Neuwirth, Interannuelle Klima/Wachstums-Beziehungen zentraleuropäischer Bäume von AD 1901 bis 1971. Eine dendroklimatologische Netzwerkanalyse [Dissertation Rhein. Friedrich-Wilhelms-Univ. Bonn] hss.ulb.uni-bonn.de: 90/2005/0556/0556-1.pdf (Zugriff 1. 3. 2011).
- Nicolussi 2005: K. Nicolussi / G. Patzold / H. Slupetzky / A. Thurner, Klimaentwicklung in den Ostalpen. In: Gronenborn 2005, 119-130.
- 2009: K. Nicolussi, Alpine Dendrochronologie – Untersuchungen zur Kenntnis der holozänen Umwelt- und Klimaentwicklung. In: R. Schmidt / C. Matulla / R. Psenner (Hrsg.), Klimawandel in Österreich. Die letzten 20 000 Jahre ... und ein Blick voraus. *Alpine space – man and environment* 6 (Innsbruck 2009) 41-54.
- Riemer 1999: T. Riemer, Multivariate Analyse subfossiler Zuwachs-Zeitreihen.pdf. Beitrag zur 3. Konferenz der SAS-Anwender in Forschung und Entwicklung, 1999 Heidelberg. http://de.saswiki.org/wiki/KSFE_1999 (Zugriff 1. 3. 2011).
- Riemer / Leuschner 2002: T. Riemer / H. H. Leuschner, Trendanalyse mit gemischten linearen Modellen: SAS-Lösungen und Anwendung in der Ökologie – Was können uns Zeitreihen von Baumzuwächsen über eine sich ändernde Umwelt erzählen? Pdf-Präsentation über http://saswiki.org/wiki/KSFE_2002 (Internes Datum 2006, abgerufen 2009).
- Schmidt / Gruhle 2003: B. Schmidt / W. Gruhle, Niederschlagschwankungen in Westeuropa während der letzten 8000 Jahre; Versuch einer Rekonstruktion mit Hilfe eines neuen dendrochronologischen Verfahrens (Grad der Wuchshomogenität). *Arch. Korrb.* 33, 2003, 281-300.
- 2005: B. Schmidt / W. Gruhle, Tree-ring growth-homogeneity, applied to climate analysis. In: Gronenborn 2005, 151-170.
- 2006: B. Schmidt / W. Gruhle, Globales Auftreten ähnlicher Wachstumsmuster von Bäumen – Homogenitätsanalyse als neues Verfahren für die Dendrochronologie und Klimaforschung. Mit einem archäologischen Kommentar von Th. Fischer. *Germania* 84/2, 2006, 431-465.
- Schulz / Paul 2002: M. Schulz / A. Paul, Holocene climate variability on centennial-to-millennial time scales: 1. Climate records from the North-Atlantic realm. In: G. Wefer / R. W. Berger / K.-E. Behre / E. Jansen (Hrsg.), *Climate Development and History of the North Atlantic Realm* (Berlin, Heidelberg 2002) 41-54.
- Sirocko 2009: F. Sirocko (Hrsg.), *Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung; von der Eiszeit bis ins 21. Jahrhundert* (Stuttgart 2009).
- Solanki u.a. 2004: K. Solanki / I. G. Usoskin / B. Kromer / M. Schüssler / J. Beer, An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* 431-7012, 2004, 1084-1087. Die zugehörigen Daten wurden wie folgt veröffentlicht: K. Solanki u.a., 11,000 Year Sunspot Number Reconstruction. IGBP PAGES / World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2005-015 (Boulder CO 2005).
- Stuiver u.a. 1998: M. Stuiver / P. J. Reimer / E. Bard / J. W. Beck / G. S. Burr / K. A. Hughen / B. Kromer / G. McCormac / J. v. d. Plicht / M. Spurk, INTCAL98 Radiocarbon age calibration, Radiocarbon 40, 1998, 1041-1083.
- Swindles 2010: G. T. Swindles, Testing the palaeoclimatic significance of the Northern Irish bog oak record, *Holocene* 20/2, 2010, 155-159.
- Vinther u.a. 2006: B. M. Vinther / H. B. Clausen / J. Johnsen / S.O. Rasmussen / K. K. Andersen / S.L. Buchardt / D. Dahl-Jensen / I. K. Seierstad / M.-L. Siggaard-Andersen / J. P. Steffensen / A. Svensson, A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. *Journal Geophysical Research* 111. doi:10.1029/2005JD006921
- Vonmoos u.a. 2006: M. Vonmoos / J. Beer / R. Muscheler, Large variations in Holocene solar activity: Constraints from 10 Be in the Greenland Ice Core Project ice core. *Journal Geophysical Research* 111. A10105, doi:10.1029/2005JA011500.
- Weninger 2006: B. Weninger / E. Alram-Stern / E. Bauer / L. Clare / U. Danzeglocke / O. Jöris / C. Kubatzki / G. Rollefson / H. Totorova / T. v. Andel, Climate forcing due to the 8200 cal yr B.P. event observed at early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research* 66-2, 401-420.

Zusammenfassung / Abstract / Résumé

Archäoklimatologie des Holozäns: Ein durchgreifender Vergleich der »Wuchshomogenität« mit der Sonnenaktivität und anderen Klimaanzeigern (»Proxies«)

Bisherige Ansätze zur Validität sowohl der Wuchshomogenität mitteleuropäischer Eichenstandorte als auch verschiedener Anzeiger der Sonnenaktivität halten einem durchgreifenden Vergleich nicht stand. Dies gilt vor allem hinsichtlich behaupteter klimatischer Aussagen, z.B. zum Niederschlag. Bessere Übereinstimmungen scheinen dagegen über die letzten 9000 Jahre zwischen der Wuchshomogenität und den Baumgrenzen der Alpen als auch Temperaturausagen des NGRIP-Eiskerns erkennbar zu sein.

Archaeoclimatology of the Holocene: The comparison of homogeneity of tree-ring widths with solar activity and other climatic indicators («proxies»)

Recent approaches to the validity of both the homogeneity of tree-ring widths of Middle-European oaks as well as two proxies for the activity of the sun do not stand our thorough comparison. This in particular concerns their alleged climatic meaning, e.g. regarding precipitation. Better correspondences, on the other hand, seem to be recognizable for the past 9000 years between this same homogeneity and the alpine tree lines, as well as temperature evidence of the NGRIP ice core.

Archéoclimatologie de l'Holocène: une comparaison entre l'«homogénéité de croissance», l'activité solaire et d'autres indicateurs climatiques («proxies»)

Les approches récentes sur la validité de l'homogénéité de croissance des chênes de l'Europe centrale et de deux proxies (indicateurs climatiques) de l'activité solaire ne résistent pas à une comparaison drastique. Ceci est valable avant tout pour les données climatiques, comme les précipitations par exemple. A l'inverse, il semble qu'on puisse reconnaître pour les 9000 dernières années de meilleures correspondances entre cette homogénéité de croissance et les limites des arbres alpines, ainsi qu'avec les données de température de la carotte de glace du forage NGRIP.

Schlüsselwörter / Keywords / Mots clés

Archäoklimatologie / Holozän / Wuchshomogenität / Sonnenaktivität / Baumgrenzen

Archaeoclimatology / Holocene / homogeneity of tree-ring widths / activity of the sun / Alpine tree lines

Archéoclimatologie / Holocène / homogénéité de croissance / activité solaire / limites des arbres

Hans J. Holm

Bernburger Straße 11

30629 Hannover

hjjaholm@arcor.de