

Klaus-Dieter Jäger

## Holozäner Klimawandel in Mitteleuropa

Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20. April 2006

### Vorbemerkung

Dem Klima hat Wolfgang Böhme auch nach seiner aktiven Zeit im Dienste der Meteorologie Veröffentlichungen nicht nur im meteorologischen Fachschrifttum, sondern wiederholt auch in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät gewidmet, so dem Thema „Klima und Menschheit“ gleich zweifach: 1994 gemeinsam mit K.-H. Bernhardt (Bernhardt & Böhme 1994) sowie nochmals 2005 im Abschlussbericht des ad hoc Arbeitskreises zum Thema „Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen“ (Böhme 2005).

In diesen Berichten wurde auf „Fortschritte beim Verständnis der Klimaproblematik“ Bezug genommen (Böhme 2005, S. 35), die in jüngster Vergangenheit von der Forschung auch international erzielt worden sind, wobei ausdrücklich als eines der wesentlichen Problemfelder „Fortschritt bei der Aufklärung und der modellgestützten Beschreibung der Klimageschichte“ genannt wird.

Die Kompetenz, mit der Wolfgang Böhme diese Feststellungen vorgetragen hat, ergibt sich aus seinen reichen Erfahrungen in der internationalen Klimaforschung, die aus seiner jahrelangen engagierten Mitarbeit in weltweit wirksamen Gremien wie COSPAR<sup>1</sup> (seit 1966) und CAS<sup>2</sup> (seit 1979) sowie insbesondere bei der Planung des GARP<sup>3</sup> (1966–1980) herrühren. Im CAS wirkte er sogar „zuletzt als Leiter einer der Arbeitsgruppen, die das auf der zweiten Weltklimakonferenz in Genf beschlossene Weltklimaprogramm ausarbeiteten“ (K.-H. Bernhardt 2002).

Naturgemäß von praktischer Bedeutung für die Menschheit wie für ihre gegenwärtige und zukünftige Existenz ist dabei die Klimaentwicklung in der

1 Committee on Space Research.

2 Commission for Atmospheric Sciences.

3 Global Atmospheric Research Programme.

jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit und deren Aussagevermögen für die weiteren Entwicklungsperspektiven in absehbarer Zukunft.

Die verfügbaren Aussagemöglichkeiten über die jüngste klimageschichtliche Entwicklung basieren auf unterschiedlichen Quellen mit unterschiedlichen Anteilen in Abhängigkeit vom zeitlichen Rahmen, der in die Untersuchung einbezogen wird. Ihrer zusammenfassenden Vorstellung soll der vorliegende Beitrag gewidmet sein.

## I. Einleitung

Gegenwärtig gewährleisten umfangreiche meteorologische Messungen auf einer Vielzahl von Stationen sowohl weltweit wie auch im besonderen Fall Mitteleuropas nicht nur

- die genaue Kennzeichnung der örtlichen klimatischen Bedingungen, sondern auch
- die detaillierte Erfassung ihrer räumlichen Differenzierung.

Sie ermöglichen auch die Feststellung etwaiger zeitlicher Veränderungen und bezeugen damit nicht nur deren Existenz, sondern dokumentieren auch ihren Ablauf nach Art, Richtung, Ausmaß und Chronologie.

Die zeitliche Veränderlichkeit des Klimas im Verlauf längerer Zeiträume wurde, zumindest in Bezug auf erdgeschichtliche Größenordnungen, bereits vor Jahrzehnten erkannt und untersucht (u. a. W. Köppen & A. Wegener 1924; M. Schwarzbach 1950). Aussagefähige Belege dazu wurden vor allem von Geowissenschaften erbracht und bestimmen inhaltlich das interdisziplinäre Forschungsgebiet der Paläoklimatologie, deren Gegenstand zunächst sehr allgemein als „Klima der Vorzeit“ beschrieben werden kann.

Konkreter bestimmt wird diese Aufgabe bei P. Hupfer & W. Kuttler (2005, S. 273) als „Rekonstruktion der klimatischen Verhältnisse in der Erdgeschichte“. Deren Konkretisierung durch „Schlussfolgerungen für die möglichen Grundzustände des Klimasystems, die Bedingungen ihrer Wandlung sowie die Geschwindigkeit des Wechsels zwischen verschiedenen Klimazuständen“ (a.a.O.) ist vor allem für Perioden akuter und deutlicher zeitlicher Veränderungen des Klimasystems, wie in der gegenwärtigen, von praktischem Interesse. Dies gilt naturgemäß und vorrangig für den jüngsten Abschnitt der Erdgeschichte, in den sich die erdgeschichtliche Gegenwart einordnet.

Mit einem grundsätzlichen und weltweit wirksamen Wandel der klimatischen Bedingungen begann dieser bisher letzte Abschnitt der erdgeschichtlichen Entwicklung vor ca. 11500 ... 11600 Jahren (vgl. für Mitteleuropa Th.

Litt, H.-U. Schmincke & B. Kromer 2003, dazu zur kalendarischen Datierung M. Spurk et al. 1998, ferner im globalen Maßstab K. A. Hughen et al. 1996). Dieser Zeitraum wird weltweit in der Gliederung der Erdgeschichte als Holozän bezeichnet.

Kriterien und Datierung für die Abgrenzung des Holozäns von dem vorangehenden, als Pleistozän bezeichneten Zeitraum der jüngeren Erdgeschichte sind in internationalen Fachgremien eingehend und interdisziplinär diskutiert worden.

Erschwert wurde diese Abgrenzung durch den Umstand, dass das vorangehende Pleistozän durch einen mehrfachen Wechsel zwischen einerseits wesentlich kälteren und andererseits thermisch der erdgeschichtlichen Gegenwart angenäherten oder sogar noch wärmeren Zeitabschnitten, beides in einer zeitlichen Größenordnung von einigen Jahrzehntausenden, gekennzeichnet ist, was innerhalb des Pleistozäns die Unterscheidung von Warm- und Kaltzeiten (Interglazialen und Glazialen) erlaubt.

Seit dem Ende der letzten Kaltzeit sind auch nur wenig mehr als zehn Jahrtausende vergangen, was für die seither andauernde sog. „Nacheiszeit“ im Vergleich zu den pleistozänen Warmzeiten eine ähnliche, wenn nicht sogar teilweise geringere Zeitdauer ergibt. Für die Ausgliederung des Holozäns aus dem Eiszeitalter waren jedoch ohnehin andere Gründe als eine klimageschichtliche Sonderstellung in der jüngeren Erdgeschichte maßgeblich, von denen hier nur die Anwesenheit des Menschen mitsamt seiner zunehmenden Wirksamkeit als Faktor im geologischen Geschehen angeführt werden soll.

## **II. Reichweite und Auswertbarkeit der instrumentellen Datenbasis**

Innerhalb der mehr als 11500 Jahre, die das Holozän nach international anerkannten Definitionen umspannt, liegen nur für einen sehr kurzen Teilabschnitt mit den letzten Jahrhunderten vor der historischen Gegenwart und regional begrenzt zumindest für Europa genaue instrumentelle meteorologische Beobachtungen sowie Messungen und vor allem Messreihen vor.

Kontinuierliche Beobachtungsreihen reichen, wenn auch nur punktuell, immerhin wenigstens einige Jahrhunderte zurück, in Mitteleuropa bis ins 18. Jh. (Belgien ab 1708 bzw. durchgängig ab 1767: G. Demarée, T. Verhoeven, P. J. Lacharet & E. Thoen 2000; Niederlande ab 1735: A. Labijn 1945 sowie F. Baur 1959; Böhmen ab 1752: R. Brázdil, H. Valášek, Zb. Sviták & J. Macková 2002), vereinzelt sogar noch darüber hinaus bis ins 17. Jh. (1670: H. v. Rudloff 1967).

Bereits diese Datenreihen vermitteln deutliche Vorstellungen von der zeitlichen Veränderlichkeit meteorologischer Parameter und ihrer Integration in der differenzierten klimatischen Kennzeichnung unterschiedlicher Regionen. Sie vermitteln Einblicke in die Amplitude saisonaler und langfristiger Veränderungen und lassen gegebenenfalls Tendenzen oder sogar Rhythmen erkennen, die im günstigsten Falle die Erstellung von Szenarien für Ausblicke in die Zukunft erlauben bzw. zumindest erhoffen lassen. Erste Auswertungen im letzten Jahrhundert zielten bereits auf die Erfassung möglicher Trends bzw. Rhythmen (A. Wagner 1940; H. v. Rudloff 1967).

Für die Herausarbeitung langfristig wirksamer Änderungstendenzen oder -rhythmen ist freilich auch ein Beobachtungszeitraum von einigen Jahrhunderten zu kurz als Grundlage für tragfähige Aussagen und erst recht für deren ausreichende statistische Absicherung. Fundierte Zukunftsplanung, die möglichst zuverlässige Aussagen erfordert, ist also auf eine Verbreiterung der Datenbasis, d. h. auf auswertbare Angaben über den Zeitraum von wenigen Jahrhunderten hinaus angewiesen.

### III. Daten zur historischen Klimatologie

Derart weiter in die Vergangenheit zurückreichende Erkenntnisse und Aussagen sind zumindest für die beiden nachchristlichen Jahrtausende zu gewinnen an Hand

- von schriftlichen Aufzeichnungen (vgl. dazu zusammenfassend besonders Chr. Pfister 1999, S. 35 ff.),
- von bildlichen Zeugnissen (vgl. in den letzten Jahren z. B. K. Brunner 2002 und 2005 sowie D. Henningsen 2006),
- von gegenständlichen Sachzeugen, wie beispielsweise Hochwassermarken (vgl. aus den letzten Jahren besonders M. Deutsch 1994 und 2000, S. 13; R. Glaser 2000, S. 201; M. Deutsch & K.-H. Pörtge 2002; zuletzt zusammenfassend M. Deutsch, U. Grünewald & K.-T. Rost 2006).

Solche Zeugnisse sind im Regelfall aber zumeist vergleichsweise allgemein und weniger präzise als exakte quantitative Messdaten. Sie sind auch nur schwerer in Zeitreihen einzugliedern und regional mehr zufällig verteilt. Soweit im Vergleich die Widerspiegelung klimatischer Veränderungen angedeutet wird, sind Abläufe, Tendenzen oder gar Rhythmen bzw. Zyklen (zu deren Unterscheidung in den historischen Geowissenschaften vgl. beispielhaft W. Steiner, 1966), bestenfalls mit gröberer zeitlicher Auflösung nachzuzeichnen.

Nichtsdestoweniger wurde bereits im 20. Jh. viel Mühe auf Nachweis, Sammlung, Dokumentation und Auswertung derartiger Quellen verwandt (so bereits zu Beginn des 20. Jh. durch R. Hennig 1904). In der vormaligen DDR unternahm es vor allem C. Weikinn (1958–1963) am damaligen Institut für physikalische Hydrographie der ehemaligen Deutschen Akademie der Wissenschaften (ab 1972 Akademie der Wissenschaften der DDR), systematisch „Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahr 1850“ zu sammeln und für den Zeitraum bis ca. 1850 im Wesentlichen auch selbst zur Veröffentlichung zu bringen. Weitere Teile dieser Quellensammlung wurden nach der politischen Wende 1989/90 im östlichen Deutschland aus seinem Nachlass für die Jahre 1751–1800 durch M. Börngen & G. Tetzlaff (2000) sowie für den Zeitraum 1801–1850 durch die gleichen Bearbeiter (M. Börngen & Tetzlaff 2002) als ausgedruckte Veröffentlichungen vorgelegt. Basierend auf der von C. Weikinn recherchierten Quellensammlung betreut seit 2006 die „Strukturbezogene Kommission Wissenschaftsgeschichte (Naturwissenschaften, Mathematik und Technik)“ der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig ein Projekt zur Witterungsgeschichte Mitteleuropas.

Erst in den letzten beiden Jahrzehnten sind in verschiedenen europäischen Ländern weitere umfangreiche Materialsammlungen vorgelegt und ausgewertet worden (u. a. durch Chr. Pfister 1999; Chr. Pfister, R. Brázdil & R. Glaser 1999; R. Brázdil & O. Kotýza 1999; Chr. Pfister, G. Schwarz-Zanetti, F. Hochstrasser & M. Wegmann 1998; A. E. J. Ogilvie 1998; R. Glaser 2000).

Die Erfassung, Dokumentation, Auswertung und Edition schriftlicher und bildlicher Zeugnisse sowie von Sachzeugen zur Witterungs- und Klimageschichte zumindest Mitteleuropas aus dem letzten Jahrtausend ist insgesamt Gegenstand einer Arbeitsrichtung, die K.-H. Bernhardt (2007) unter dem Begriff „Historische Klimatologie“ zusammenfasst. Im Vergleich zu den letzten drei bis vier Jahrhunderten sind freilich bereits die dafür verfügbaren Quellen in ihrer Aussagefähigkeit in mehrfacher Hinsicht eingeschränkt:

- Sie sind nicht weltweit verfügbar, sondern nur in regional begrenztem Rahmen, insbesondere aus europäischen Ländern.
- Ihre Verfügbarkeit ist zufallsabhängig über Länder, Orte und Beobachtungszeiträume verteilt.
- Die Datierung ist weniger präzise und entbehrt damit der Genauigkeit der chronologisch vergleichbaren exakten Datenaufzeichnungen zu instrumentellen meteorologischen Messungen.
- Auch der quantitative Inhalt ist schwerer vergleichbar.

- Darüber hinaus sind Beobachtungsreihen selten ableitbar und dann im Regelfall von nur sehr begrenzter Dauer.

Für die Ermittlung von länger wirksamen Entwicklungstrends oder gar Rhythmen bzw. Zyklen im Verhalten klimatischer Parameter ist dieses Material insgesamt ebenso unzulänglich wie unentbehrlich. Noch problematischer wird jedoch die Basis für entsprechende Aussagen zu Zeiträumen, aus denen schriftliche Zeugnisse nicht vorliegen können, da die Schrift regional noch nicht bekannt war oder zumindest nicht genutzt wurde, d. h. für Mitteleuropa aus Zeiträumen weiter vor dem Jahr 1000 christlicher Zeitrechnung.

#### **IV. Proxydaten für noch nicht schriftkundige Zeiträume**

Jenseits dieser Zeitgrenze sind zumindest in Europa Informationen über Witterungszustände und -ereignisse sowie über Klimazustände und -veränderungen nur aus Proxydaten ableitbar, die im Wesentlichen aus naturwissenschaftlichen Untersuchungen gewonnen werden können, nur vereinzelt ergänzt durch geisteswissenschaftliche Disziplinen, wie die Archäologie. Die verfügbaren Aussagemöglichkeiten sind allerdings nach Informationsgehalt und Ereignischronologie noch weniger präzise, hinsichtlich flächiger Repräsentanz noch ungleicher verteilt und inhaltlich bezüglich Möglichkeiten einer Interpretation noch weniger genau. Dessen ungeachtet sind sie für die Herausarbeitung eventuell zukunftswirksamer Tendenzen oder Rhythmen (bzw. Zyklen) bzw. für deren Verneinung unentbehrlich.

Bevor aus solchem Material klimageschichtliche oder gar klimaprognostische Folgerungen abgeleitet werden, bedürfen mindestens zwei Fragen einer grundsätzlichen Klärung, nämlich

1. die inhaltliche Aussagefähigkeit, d. h. die vermittelte klimabezogene Information;
2. die möglichst genaue Bestimmung des Zeithorizonts, für den die klimabezogene Information gültig ist.

Hinzukommt der regionale Gültigkeitsrahmen der ermittelten Aussagen, der aber, ausgehend von der Lageposition der genutzten Beobachtungsorte, vielleicht noch am ehesten bestimmbar ist.

Die Quellenlage für klimabezogene Informationen aus den letzten Jahrtausenden wird durch wenige Kategorien einander ergänzender Beobachtungen bzw. Beobachtungsmöglichkeiten unterschiedlicher Disziplinen bestimmt.

## 1. Lithologische bzw. sedimentologische Befunde

Träger der Informationen sind sedimentäre Ablagerungen unterschiedlicher Genese in unterschiedlichen Faziesräumen, deren Entstehung nach aktuellen Erfahrungen an begrenzte Sedimentationsräume mit ganz bestimmten, letztlich oft weitgehend klimaabhängigen Sedimentationsbedingungen gebunden ist, welche aktuell am Ort ihrer heutigen Auffindung nicht mehr, anderenorts mit anderen aktuellen Voraussetzungen aber sehr wohl gegeben sind.

Das bedeutet, dass derartige Ablagerungen mit ihrer Beschaffenheit bestimmte Entstehungsvoraussetzungen in ihrem Entstehungszeitraum widerspiegeln, wofür als Beispiele genannt seien:

- Binnenwasserkarbonate, deren Ablagerung an oberflächige Gewässer<sup>4</sup> gebunden ist, deren sommerliche Wassertemperatur während mehrerer Wochen im Jahr ca. 20°C erreicht oder überschreitet (K.-D. Jäger 1965).
- Binnenwassersulfate, deren Ablagerung ein Zusammentreffen vergleichbar hoher sommerlicher Mitteltemperaturen mit eingeschränktem jährlichem Niederschlagsangebot (<400 mm/a) widerspiegelt, wie beispielhaft deren aktueller Entstehungsraum in Inneranatolien zeigt (J. Schulze 1980, Tab. 33).

Wie nachfolgend zu belegen sein wird, bezeugt mit solchen Sedimenten ein zeitweiliges Auftreten im Thüringer Unstrutgebiet vor ca. 3000 Jahren für deren Entstehungszeitraum im Vergleich zur Gegenwart (gemessen am Referenzzeitraum 1961–1990) ein Defizit von ca. oder sogar mehr als 20% des aktuellen jährlichen Mittelwertes für das Niederschlagsangebot.

## 2. Paläontologische Untersuchungen und Befunde

Präzisere Aussagen erlaubt der Fossilinhalt solcher Ablagerungen, d. h. an erhaltungsfähigen Überresten der ehemaligen Tier- und/oder Pflanzenwelt im Entstehungszeitraum und Herkunftsbereich solcher Ablagerungen. Der Nachweis ehemals vorhandener Tier- und Pflanzensippen erfolgt durch Fossilien im Regelfall fragmentarisch, z. B.

- für Gehölze anhand von Holzresten (Stämme, Äste), Diasporen (Früchte, Samen) oder gar nur Blütenstaub (Pollen)
- für die Molluskenfauna nur durch Hartteile (Conchylien), während der Weichteilkörper praktisch nicht erhaltungsfähig ist.

---

4 Binnengewässer i. S. von A. Thienemann (1955, S. V).

Für die Ableitung klimageschichtlicher Aussagen aus dem Fossil- bzw. Fundgutinhalt solcher Ablagerungen müssen zumindest drei Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Stoffliche Erhaltungsfähigkeit von Organismenresten (analog bei Sachzeugen menschlicher Tätigkeit in der Vergangenheit), bestimmt durch
  - stoffliche Beschaffenheit der auszuwertenden Reste und
  - stoffliche Beschaffenheit der Ablagerungen selbst.

So begünstigt die Beschaffenheit von Torfen und Mudden die Erhaltung pflanzlicher Reste, wie Blütenstaub, Holz, Blätter sowie Früchte und Samen (Diasporen).

In kalkhaltigen (karbonatreichen) oder kalkigen (karbonatischen) Ablagerungen sind es vor allem Hartteile tierischer Organismen mit Innen- oder Außenskelett (z. B. Knochen von Wirbeltieren oder Schalen von Schnecken, Klappen von Muscheln o. Ä.), die dort weitgehend erhaltungsfähig sind.

2. Eindeutige Bestimmbarkeit, d. h. Möglichkeit taxonomischer Zuordnung der erhaltenen Reste, die im Vergleich zum lebenden Organismus zumeist fragmentarisch sind.

Beispielsweise sind sämtliche Schneckenarten, die im Binnenland von Mitteleuropa gegenwärtig leben bzw. während der letzten zwei Millionen Jahre gelebt haben, allein anhand ihrer Gehäuse (Conchylien), oft sogar bei nur fragmentarischer Überlieferung dieser Gehäuse, artgenau bestimmbar, auch wenn von den Weichteilen nichts erhalten oder erhaltungsfähig ist (V. Ložek 1964).

Ebenso sind die Blütenstaub-(Pollen-)Körner sämtlicher mitteleuropäischer Gehölzgattungen (Bäume, Sträucher), wenn auch nur unter dem Mikroskop, eindeutig unterscheidbar.

3. Für sämtliche nachgewiesenen Tier- oder Pflanzenarten müssen die aktuellen ökologischen Ansprüche genau bekannt sein, vor allem wenn Verbreitungsbild und Standortverteilung von klimaabhängigen Größen, wie Temperatur oder Niederschlag, bestimmt werden. Je stärker aktuell diese Abhängigkeiten sind, desto deutlichere Rückschlüsse auf frühere klimatische Gegebenheiten ermöglichen sie.

Eindrucksvolle Beispiele für die Abhängigkeit der Arealgrenzen von Gehölzen (Bäume, Sträucher) von klimatischen Gegebenheiten wurden bereits vor einigen Jahrzehnten durch Botaniker wie F. Enquist (1924) und J. Iversen (1944) veröffentlicht.

Dafür wähle ich zwei Beispiele:



1. Anhand ihres Blütenstaubes (Pollen) ist in Moorablagerungen der Vergangenheit auch außerhalb ihres gegenwärtigen natürlichen Verbreitungsgebietes als wichtige europäische Gehölzart die Fichte (*Picea abies* [L.] Karten)<sup>5</sup> nachweisbar, deren gegenwärtiges Areal, wie bereits Enquist (1924) nachwies, durch ihre Ansprüche an das Temperaturangebot im Jahresablauf bestimmt wird (vgl. auch H. Meusel 1943 und B. Frenzel 1967, S. 42).
2. Der gleiche schwedische Botaniker hat auch herausgefunden, dass die aktuelle östliche Verbreitungsgrenze der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) in Europa etwa durch die 0-°C-Januar-Isotherme oder – noch etwas genauer – durch eine Linie begrenzt wird, bis zu der im Jahresmittel wenigstens 345 Tage im Jahr eine Maximaltemperatur von über 0°C aufweisen (W. Rothmaler 1955, S. 51; B. Frenzel 1967, S. 41).

Analoge Aussagemöglichkeiten bietet aus der mitteleuropäischen Wirbeltierfauna die Europäische Sumpfschildkröte (*Emys orbicularis* L.). Außerhalb ihres gegenwärtigen Areals ist sie in holozänen Ablagerungen sowohl Thüringens wie Mecklenburgs anhand ihrer Schildplatten (Carapax) nachgewiesen. Die Umgrenzung des gegenwärtigen Areals ist davon abhängig, ob das sommerliche Wärmeangebot ein Ausbrüten der Eier erlaubt, bevor das Niederschlagsangebot zu deren Verfaulen führt. Je geringer also das sommerliche Niederschlagsangebot ist, desto geringer sind auch die Ansprüche an die im Sommer erreichten Temperaturwerte. Das heißt, im niederschlagsreichen Westen Europas begrenzt etwa die 20-°C-Juli-Isotherme das Verbreitungsgebiet, im trockeneren Osten reicht die 18-°C-Juli-Isotherme (M. Degerbøl & H. Krog 1951). Fossilnachweise außerhalb des jetzigen Areals bezeugen, dass solche Mittelwerte in der Entstehungszeit der fündigen Ablagerungen erreicht worden sind.

Der Fossilnachweis von Organismen, deren Fortkommen von bestimmten klimatischen Voraussetzungen abhängig ist, bedeutet nicht mehr und nicht weniger, als dass zum Zeitraum des Ablagerungsgeschehens diese klimatischen Voraussetzungen im Herkunftsraum des abgelagerten Materials erfüllt gewesen sein müssen, sofern nicht angenommen werden darf (oder muss), dass erdgeschichtlich früher entstandenes Material nur umgelagert wurde.

4. Die eindeutige Stratifizierung aller klimageschichtlich auswertbaren Organismenreste sichert die Korrelation der Fundniveaus innerhalb einer

---

5 Syn. *Picea excelsa* (LAMK) LINK.

Ablagerungsfolge zu verfügbaren Zeitmarken bzw. Datierungen sowie die gesicherte zeitliche Aufeinanderfolge der ableitbaren klimageschichtlichen Aussagen. Damit wird der Bezug auf eine letztlich kalendarische Zeitskala (im Sprachgebrauch von Archäologie und Geowissenschaften „absolute Chronologie“) ermöglicht und die klimageschichtliche Aussage mit der Chronostratigraphie verknüpft.

5. Zusätzliche Möglichkeiten für eine inhaltliche Präzisierung ableitbarer klimageschichtlicher Aussagen bestehen bei Kategorien von Kleinfossilien, die in ausreichend großer Anzahl bzw. Menge in den fündigen Ablagerungen auftreten, um quantitative Untersuchungen zuzulassen (z. B. Blütenstaubkörner in Torfen und Unterwasserablagerungen, Conchylien in Binnenwasserkalken).

Quantitative Verschiebungen im Spektrum nachweisbarer Arten mit unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen reflektieren in diesen Fällen Verschiebungen in der Zusammensetzung ehemaliger Biocoenosen als Ausdruck feinerer Veränderungen in der Konstellation damaliger Umweltfaktoren, unter denen klimatischen Gegebenheiten eine maßgebliche Rolle zukommt.

Eine dergestalt quantitative Arbeitsweise ermöglichen vorrangig Pollenanalyse (grundlegend K. Faegri & J. Iversen 1950 sowie für Mitteleuropa F. Firbas 1949/1952), Paläomalakologie (für Mitteleuropa und weltweit beispielgebend V. Ložek 1955, 1964), gelegentlich aber auch Überreste (bes. Zähne) von Kleinsäugetern (L. Kordos 1982).

### 3. Dendroklimatologische Untersuchungen

Von besonderer klimageschichtlicher Aussagekraft sind unter vorstehend bereits weitgehend erörterten Fossilfunden aus holozänen Ablagerungen Überreste von Gehölzen, deren taxonomische Zuweisung durch holzanatomische (xylotomische) Merkmale gelingt, die im verkohlten (wie im unverkohlten) Zustand erhaltungsfähig sind (vgl. u. a. E. Schmidt 1941; B. Huber 1951; F. H. Schweingruber 1978).

Die holzanatomische Untersuchung erfasst aber außerdem den jährlichen Zuwachs des Holzkörpers, der sich unter den Bedingungen eines Jahreszeitenklimas, wie in Mitteleuropa, in Jahresringen manifestiert.

Unterschiede in der Wasser- und Nährstoffversorgung eines Gehölzes veranlassen

- Unterschiede in der Gesamtbreite der jeweiligen Jahresringe,
- Unterschiede im Breitenverhältnis von Früh- und Spätholzanteilen sowie

- Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung des Holzes, die anhand der Mengenanteile verschiedener stabiler Isotope erfassbar werden.

Klimaabhängig sind u. a. Unterschiede in der Wasserversorgung des Gehölzes von Jahr zu Jahr. So ergeben sich in Abhängigkeit vom mittleren Witterungscharakter aufeinander folgender Jahre charakteristische und im Regelfall auch unikate Sequenzen aufeinander folgender Jahresringbreiten, die bestimmte Jahresfolgen widerspiegeln und mit deren Hilfe Zeitbestimmungen erlauben – das Verfahren der Dendrochronologie. In Nordamerika gibt es Koniferen (Borstenkiefer: *Pinus aristata* Engelmann), bei denen einzelne Baumindividuen ein Lebensalter von vier Jahrtausenden mit >4600 Jahren bei weitem überschreiten (F. Ehrendorfer 1978, S. 726).

In Mitteleuropa gelingt es bei relativ langlebigen Baumindividuen, etwa der Eiche (Gattung *Quercus*), mit einem sog. Überbrückungsverfahren, ausgehend von rezenten Bäumen über Bauholz früherer Jahrhunderte und Jahrtausende, eine geschlossene Jahresringsequenz von >10 Jahrtausenden aufzubauen (M. Spurk et al. 1998) und auszuwerten (B. Kromer, M. Friedrich & Spurk 2001).

#### 4. Pedostratigraphische Untersuchungen und Befunde

In nacheiszeitlichen Ablagerungsfolgen treten außer wechselnden Sedimenten mit ihrem Fossilinhalt – häufig alternierend – auch begrabene Böden auf, die für bestimmte Profilpositionen innerhalb der örtlichen Stratigraphie anstelle von Ablagerungsvorgängen Bodenbildung und damit veränderte Umweltbedingungen bezeugen. Auch deren Ursache kann (unter bestimmten örtlichen Voraussetzungen) von klimatischen Veränderungen bestimmt sein.

Beispielsweise können nachlassende Niederschläge in der betroffenen Region zur partiellen oder totalen Austrocknung von Gewässern führen, was zur Folge hat, dass dort (zeitweilig oder dauerhaft) subaerische Humusanreicherung an die Stelle subaquatischer (bzw. subhydrischer) Sedimentation tritt und eine (ggf. ehemalige) terrestrische Geländeoberfläche nachzeichnet.

Derartige Befunde sind zunächst nur örtlich von Bedeutung (K. Brunnaker 1959, S. 136), gewinnen aber klimageschichtliche Relevanz, wenn mit Hilfe genauerer Datierung die Gleichzeitigkeit für den Eintritt des Wechsels zwischen Sedimentation und Bodenbildung (bzw. umgekehrt) weiträumig und vielerorts belegt werden kann (K.-D. Jäger 2002, 2007a).

## 5. Paläolimnologische Befunde

Auch wechselnde Wasserspiegelstände von Binnenseen vermögen in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge unterschiedliche klimatische Bedingungen, vorrangig, aber nicht ausschließlich, hinsichtlich des mittleren Niederschlagsangebotes widerzuspiegeln. Ihre Rekonstruktion bedient sich aber selbst unterschiedlicher methodischer Möglichkeiten mit Hilfe von Sedimentologie, Paläontologie, Geomorphologie, Archäologie, die ihrerseits aussagekräftiger Datierungen bedürfen. Gemeinsam bilden sie die interdisziplinäre Basis der Paläolimnologie, die die „Geschichte der Seen“ zum Gegenstand hat (J. Schwoerbel 1971, S. 11).

Aussagekräftige und zugleich gut datierte Befunde ergeben sich aus Lageveränderungen urgeschichtlicher Uferstandorte von Siedlungen, bei denen häufig fischereiliche Gewässernutzung die genaue Standortwahl bestimmt hat. Absinkende Wasserspiegelstände haben bei Binnenseen eine Verkleinerung der Wasserfläche und in Verbindung damit zumindest partielle Trockenlegung von Flachuferebenen bewirkt, d. h. Siedlungsstandorte rückten ins Innere der Seenbecken und verlagerten sich bei Wiederanstieg der Seespiegelstände wieder in umgekehrter Richtung. Das Phänomen ist seit dem 19. Jh. bekannt und zunächst mit der populär gewordenen Vorstellung von „Pfahlbauten“ verbunden worden (F. Keller 1854), deren tatsächliche Natur erst seit Mitte des 20. Jh. erkannt wurde (bes. O. Paret 1946). Dank des geborgenen archäologischen Materials ist deren grobe Datierung möglich und dank ihres Auftretens in verschiedenen, teilweise regional weit voneinander entfernten Regionen Mitteleuropas ihre weiträumige Synchronisierbarkeit belegbar (K.-D. Jäger 2001, 2007a).

## 6. Archäologische Untersuchungen und Befunde

Wechselnde klimatische Bedingungen, beispielsweise im mittleren jährlichen Niederschlagsangebot, beeinflussen maßgeblich die Eignung unterschiedlicher Standorte für menschliche Siedlungstätigkeit und Landnutzung. Folgerichtig bewirkt der klimatische Wechsel auch mehr oder weniger deutliche Veränderungen in der Standortwahl für Aktivitäten durch den Menschen. Soweit diese in einem konkreten regionalen Rahmen gleichzeitig auftreten, d. h. sofern die örtlichen Einzelbeobachtungen synchronisierbar sind, ist die Frage nach einer regional wirksamen klimageschichtlichen Ursache angezeigt. Beispiele wurden bereits zu früherem Anlass in der Akademie vorgetragen und zum Druck vorbereitet (K.-D. Jäger 2007a).

## **V. Datierung und zeitliche Fixierung sowie Präzision naturwissenschaftlicher Proxydaten für die letzten Jahrtausende**

Die vorgetragenen Beispiele verdeutlichen zunächst, dass mittels naturwissenschaftlicher Proxydaten, vorzugsweise aus Geo- und Biowissenschaften, relativ präzise Informationen über Witterungszustände sowie Klimaparameter und -veränderungen der Vergangenheit ablesbar sind. Aussagen zum Gang klimatischer Entwicklungen erfordern jedoch darüber hinaus genaue Angaben zu Ort und Zeit, für die diese Informationen gültig sind. Das bedeutet: Ebenso wichtig, wie die inhaltliche Analyse der erreichbaren Informationen ist ihre möglichst genaue Datierung, wobei zusätzlich eine möglichst hohe zeitliche Auflösung der erhältlichen Datenmenge erforderlich ist.

Die beste zeitliche Auflösung und Präzision bietet dabei die Dendroklimatologie, mit der immerhin Jahreswerte bereitgestellt werden. Überdies ist diese Methode auch für historische Zeiträume im letzten Jahrtausend christlicher Zeitrechnung anwendbar, wofür die gewinnbaren Aussagen teilweise (besonders zu den letzten zwei bis drei Jahrhunderten) mit den Ergebnissen instrumenteller Messungen, darüber hinaus aber zumindest mit Ableitungen aus schriftlichen und bildlichen Überlieferungen verglichen werden können. Beispielhaft für eine klimageschichtliche Untersuchung für das zweite nachchristliche Jahrtausend unter Gegenüberstellung der verschiedenen Aussagemöglichkeiten ist eine Studie von R. Glaser (1991) am Beispiel des Maingebietes (Mainfranken, Odenwald und Bauland) in Süddeutschland.

Aus methodischen Gründen hinsichtlich Eindeutigkeit weniger „scharfe“ Daten liefern physikalische Verfahren (G. A. Wagner 1995, 1998) wie

- Radiometrie, besonders  $^{14}\text{C}$  (gebunden an organisches Material)
- Lumineszenz (TL, OSL, RF).

Dabei ergeben sich jedoch vielfach methodisch begründete Unschärfen, die durch Kalibration u. a. mit Hilfe der Dendrochronologie korrigiert werden können. Dendrochronologische Daten entsprechen den Präzisionsanforderungen der Dendroklimatologie.

Die regionale Reichweite von  $^{14}\text{C}$ -Datierungen ist überdies durch Kombination mit Tephren erweiterungsfähig, da an einem Fundort gewonnene  $^{14}\text{C}$ -Datierungen auf Vorkommen der gleichen Tephra, d. h. pyroklastischer Ablagerungen mit übereinstimmenden mineralogischen Merkmalen übertragen werden dürfen.

Zumindest für die radiometrischen Datierungen mit  $^{14}\text{C}$  liegt die gesamte Nacheiszeit mit den letzten >10000 Jahren voll innerhalb der Reichweite von im Regelfall ca. 40000 ... 50000 Jahren.

Hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich Aussagesicherheit bieten auch archäologische Datierungen für Ablagerungen und begrabene Böden sowie deren Fossilinhalt, jedoch bei im Regelfall deutlich geringerer zeitlicher Auflösungsschärfe (time resolution). Vergleichbare Präzisionsunschärfen bieten schließlich auch vor allem quantitativ arbeitende paläontologische Datierungsmöglichkeiten, besonders mit Hilfe von Pollenanalyse und Paläomalakologie. Das zeitliche Raster ihrer chronologischen Aussagemöglichkeiten lässt die Genauigkeit aktueller instrumenteller Messungen und klimakundlicher Feststellungen weit hinter sich.

## **VI. Grundzüge der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung in den letzten Jahrtausenden**

Die vorgetragenen Möglichkeiten für Interpretation und Datierung klimageschichtlich aussagefähiger Beobachtungen und Befunde lassen für verschiedene Klimaelemente, wie Temperatur und Niederschlag, Unterschiede sowohl im methodischen Zugang wie im nacheiszeitlichen Entwicklungsgang erkennen:

Die Herleitung von Temperaturdaten stützt sich vorrangig auf paläontologische Untersuchungen und Erkenntnisse, in Mitteleuropa besonders durch Pollenanalyse und Paläomalakologie, während Veränderungen im Niederschlagsangebot vor allem anhand stratigraphischer Befunde mit Alternieren subaquatischer Sedimente und begrabener Böden erkennbar werden.

Der Gang der Temperaturentwicklung lässt für die ersten 2 bis 4 Jahrtausende nach Ende der letzten pleistozänen Kaltzeit einen relativ gleichmäßigen Anstieg der Mittelwerte von weichsel-spätglazialen Jahresmittelwerten in der sog. jüngeren Tundren-(Dryas-)Zeit vor mehr als 11500 Jahren um ca. 0°C auf ca. +9°C bis +11°C in Mitteldeutschland im Klimax der seither stattfindenden Warmzeit (ca. seit 8 bis 9 Jahrtausenden vor heute) erkennen, um nachfolgend in den letzten 3 Jahrtausenden einem leichten Rückgang der mittleren Jahrestemperaturen um 2 bis 3°C Raum zu geben. Daraus ergibt sich ein verhältnismäßig einfaches Bild der zeitlichen Gliederung für die holozäne Warmzeit, das bereits einem entsprechenden Ansatz vor mehr als einem halben Jahrhundert durch den Pollenanalytiker F. Firbas (1949, S. 104) zugrunde lag, nämlich durch eine Grobgliederung durch je eine

Vorwärmezeit	ab >8000*	>11000**
Frühe Wärmezeit	ab ca. 6800	ca. 9000
Mittlere Wärmezeit	ab ca. 5500	ca. 7500
Späte Wärmezeit	ab ca. 2500	ca. 4500
Nachwärmezeit	ab ca. 800	

\* BC-Daten nach Firbas (1949, S. 1004)

\*\* BP-Daten nach aktuellem Kenntnisstand

Die Fokussierung aller ableitbaren Aussagen auf den jeweiligen Fundort ist der Vorzug paläomalakologischer Untersuchungen an (nicht umgelagerten) Conchylien. Die Methodik sowohl der quantitativen Analyse wie der paläo-ökologischen Auswertung einzelner Fundobjekte und nicht zuletzt ein zuverlässiger Schlüssel für deren sichere (taxonomische) Bestimmung wurde für die Landmollusken Mitteleuropas in den 50er- und 60er-Jahren des 20. Jh. von der tschechischen Forschung erarbeitet und veröffentlicht (V. Ložek 1955, 1964).

Auf dieser methodischen Grundlage wurden quantitativ konkretisierte Angaben zur Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen im Verlauf der letzten >10000 Jahre in Mitteldeutschland gewonnen und vorgelegt (D. Mania 1973, S. 128; vgl. dazu hier Tab. 1 aus Jäger 2006, S. 123).

Darüber hinaus versuchte Mania (1973, a. a. O.) die bestimmbareren Mittelwerte der Temperatur für den Hochsommer (Juli), den Hochwinter (Januar) und das Jahr insgesamt sowie die Jahresmittelwerte für den Niederschlag mit aktuellen Mittelwerten zu vergleichen (Tab. 2). Wegen früheren Erscheinens seiner Veröffentlichung können sich dabei freilich die aktuellen Vergleichswerte nicht auf den gegenwärtig bevorzugten Referenzzeitraum von 1971/2000 oder auch nur wenigstens auf 1961/1990 (P. Hupfer & W. Kuttler 2005, S. 237) beziehen. Aus den Untersuchungen der Temperaturwerte resultiert jedoch zumindest zweierlei:

1. Für den gesamten Zeitraum der letzten ca. 10000 Jahre betragen die freilich wechselnden Abweichungen von den gegenwärtigen Mitteltemperaturen (Referenzzeitraum 1961–1990) in Mitteleuropa maximal 1°C bis 3°C (1 bis 3 K).
2. Vom Beginn der Nacheiszeit haben sich die Mittelwerte der Temperatur kontinuierlich oder diskontinuierlich langsam zu Maximalwerten hin entwickelt, die etwa seit dem 8. bis 9. Jahrtausend vor heute (ca. 6./7. Jtsd.

vorchristlicher Zeitrechnung) erreicht worden sind, um nachfolgend, spätestens seit dem 3. Jahrtausend vor der Gegenwart (letztes Jtsd. vorchristlicher Zeitrechnung) einem ebenso moderaten kontinuierlichen oder diskontinuierlichen leichten Temperaturrückgang Raum zu geben.

ka BP	Geologische Zeitskala	Jahresmitteltemperaturen nach Mania (1973)	
1	Subrezent	8–9°C	
2	Subatlantikum		
3	Subboreal	ca. 11°C	
4			
5			Epiatlantikum <sup>a</sup>
6			Atlantikum
7	Boreal	9–10°C	
8			
9	Präboreal	5–6°C	
10			

a. Zu diesem Zeitabschnitt vgl. aktuell K.-D. Jäger (2007, c).

*Tabelle 1: Jahresmitteltemperaturen im Verlauf der Nacheiszeit nach Mania (1973) aus Jäger (2006)*

	Gegenwärtiges Klima	Näherungswerte für das Atlantikum
Jahresmittel der Temperatur	+ 8 bis + 9°C	etwa +9 bis +11°C
Julimittel der Temperatur	+16 bis +18°C	etwa +18 bis + 20°C
Januarmittel der Temperatur	-3 bis -1°C	etwa -1°C
Jahresmittel der Niederschläge	450 bis 650 mm	etwa 550 bis 700 mm

*Tabelle 2: Näherungswerte für das Klima während des Atlantikums im Saale- und mittleren Elbegebiet außerhalb der Mittelgebirgslagen, rekonstruiert mit Hilfe von Molluskenanalysen nach D. Mania 1973 (S. 128)*

Für Aussagen über die Entwicklung des Niederschlagsangebotes in den letzten Jahrtausenden ist vorrangig die litho- und pedostratigraphische Gliederung von holozänen Ablagerungsfolgen aussagefähig, vor allem aus Ablagerungsräumen, deren Sedimentationsgeschehen durch Grund- oder Oberflächenwasser bestimmt oder zumindest deutlich beeinflusst ist. Dazu gehören als telmatische Bildungen Torfe, deren Aufwuchs durch das Feuch-



teangebot begünstigt wird, während Zeiträume oberflächiger Mooraustrocknung durch die bereits seit den 40er-Jahren des letzten Jahrhunderts bekannten begrabenen sog. Rekurrenzflächen (vgl. bereits F. Firbas 1949, S. 65-66; K. Göttlich 1974, S. 96) dokumentiert sind.

In den Ablagerungsfolgen holozäner Binnenwasserkalke werden Zeiträume verminderten Feuchte- bzw. Wasserangebotes durch häufig beobachtete Humushorizonte begrabener Böden nachgezeichnet, entstanden auf Teilflächen oder gelegentlich auch im gesamten Bereich des vormaligen (und oft auch nachmaligen) Gewässergrundes, wenn nachlassendes Wasserangebot zur Verkleinerung der von Wasser eingenommenen Gewässerfläche und – vor allem in Flachuferbereichen – zur subaerischen Bodenbildung auf dabei freigegebenen und abgetrockneten Teilen des Gewässergrundes geführt hat. Die zunächst nur lokal aussagefähigen Beobachtungen solcher Profilbilder (vgl. K. Brunnacker 1959, S. 136) erhalten landschaftsgeschichtliche Relevanz erst durch den Nachweis weitgehender Synchronität für das Auftreten der subhydrischen Sedimente im Liegenden wie im Hangenden einerseits und der mit ihnen alternierenden begrabenen Humushorizonte andererseits nicht nur an unterschiedlichen Fundorten, sondern vor allem auch in den unterschiedlichsten und teilweise auch weit voneinander entfernten Teilräumen Mitteleuropas, vor allem der zentraleuropäischen Mittelgebirgszone, wo zeitgleiche Nachweise für den Wechsel von Unterwassersedimenten mit begrabenen Humushorizonten für das Gesamtgebiet etwa zwischen Rhein und Theiß zur Verfügung stehen (K.-D. Jäger 2002, 2007a).

Der Nachweis der Zeitgleichheit für den Wechsel zwischen Unterwassersedimenten (= Gewässer) und subaerischer Bodenbildung (= Austrocknung) wurde zuerst durch archäologische Funde und Befunde erbracht, die belegen, dass der abgetrocknete Gewässergrund nicht nur vom Menschen begangen und besiedelt werden konnte, sondern zugleich auch archäologische Datierungen erfährt, die erste chronologische Korrelationen ermöglichen. Sie gestatten die Synchronisierung der verfügbaren Einzelbefunde in unterschiedlichen Teilen Mitteleuropas, deren Weiträumigkeit eine klimageschichtliche Interpretation der Ursachen nahelegt (K.-D. Jäger 2002, 2007a und 2007b).

Genau genommen, werden mit der zeitweiligen Auffüllung oder Austrocknung von Gewässerflächen freilich zunächst nur zeitliche Unterschiede im Landschaftswasserhaushalt erfaßt, die ihrerseits ein Zusammenspiel unterschiedlicher Faktoren widerspiegeln. Als klimaabhängige Größen sind an diesem Zusammenspiel sowohl das Niederschlagsangebot als auch die Tem-

peratur – über deren Wirkung auf das Maß der Verdunstung – beteiligt. Erfasst wird also letztlich lediglich das Wasserdargebot, das in der Gesamtlandschaft zur Verfügung steht und dessen Menge offenbar in längeren Zeitintervallen gewechselt hat, deren Anfang und Ende mit Hilfe archäologischer und paläontologischer Datierungen bestimmbar ist, teilweise mit Hilfe radiometrischer Datierungen mittels  $^{14}\text{C}$  kontrollierbar. Die Befunde allein geben freilich weder Auskunft über die Anteile von Temperatur- und Niederschlagsveränderungen am resultierenden Befund noch über deren innere Struktur, d. h. über die Frage, ob im Einzelnen z. B. Veränderungen von Mittelwerten, ihrer saisonalen Verteilung oder ihres vielleicht auch jahreszeitlich unterschiedlichen Zusammenwirkens vorliegen. An der resultierenden Aussage ist also das Niederschlagsgeschehen jedenfalls beteiligt, die Abschätzung von Veränderungen bleibt aber, soweit sie allein anhand begrabener Böden geschieht, nicht nur chronologisch in einem ziemlich groben Rahmen.

Eine approximative Annäherung an eine Quantifizierung für die Verminderung des Wasserdargebotes in den Abtrocknungszeiträumen gelingt mit lithostratigraphischen Beobachtungen an Befunden, wo deren Eintritt nicht durch begrabene Humushorizonte als Zeugnis völliger Trockenlegung des Gewässergrundes, sondern durch Sedimentwechsel als Zeugnis einer Veränderung des Gewässerzustandes mit Konsequenzen für die Sedimentationsbedingungen dokumentiert ist. Beispielhaft wird diese Situation repräsentiert durch den Ersatz von Binnenwasserkarbonaten durch Binnenwassersulfate in der Schichtenfolge, die etwa im thüringischen Unstrutgebiet auf großen Flächen auftreten (J. Schulze 1980, Karte 9) und dank pollenanalytischer Untersuchung liegender und hangender Torfschichten (E. Lange 1965, S. 57, Abb. 12) sowie dank verfügbarer radiometrischer ( $^{14}\text{C}$ -)Daten für dokumentierte vergleichbare vegetationsgeschichtliche Sachverhalte im umliegenden Gebiet (M. Schäfer 1996, S. 197) chronologisch mit den andernorts nachgewiesenen begrabenen Böden aus einer Trockenperiode, z. B. um 1000 v. u. Zr. verknüpft werden können. Gegenwärtig ist eine flächendeckende Ausbildung derartiger Sedimente in Mitteleuropa nicht bekannt. Vergleichbare Bildungen in anderen Klimaregionen erlauben eine vorsichtige Abschätzung der Differenzen zu aktuellen Klimadaten aus der Region ihres jetzigen Fossilnachweises und die Unterstellung, dass die Mittelwerte der Niederschläge pro Jahr im Vergleich zur Gegenwart (Referenzzeitraum 1961–1990) um wenigstens >20% geringer gewesen sind. Derlei Befunde liegen aber bisher nur vereinzelt vor, sind nur regional teilräumig verfügbar (inneres Thüringen) und überdies noch bei weitem nicht für alle pedostratigraphisch bezeugten

Trockenzeiträume verfügbar. Schwankungen im nacheiszeitlichen Wasserdargebot in Mitteleuropa sind also belegbar, grob datierbar und in ihrer Größenordnung zumindest näherungsweise einschätzbar, aber bisher weder detailliert noch differenziert quantifizierbar.

## **VII. Zusammenfassung**

Zusammenfassend ergibt sich:

1. Die Temperaturentwicklung in den letzten mehr als 10000 Jahren ist anhand von Mittelwerten verfolgbar, die vorrangig von Fossilfunden in holozänen Ablagerungsfolgen aufgrund von paläontologischen Untersuchungen mit Hilfe aktualistischer ökologischer Erfahrungen abgeleitet werden können.
2. Der Verlauf der Temperaturentwicklung führt von im Vergleich zur Gegenwart (bezogen auf den Referenzzeitraum 1961–1990) deutlich niedrigeren Mittelwerten (Jahresmittel um 0°C) am Ende der letzten pleistozänen Kaltzeit vor mehr als 11000 Jahren im Verlauf von mehreren Jahrtausenden zu einem nacheiszeitlichen Klimaxzustand mit Jahresmitteltemperaturen um 9 bis 11°C, um – nach einer Dauer von 6 bis 7 Jahrtausenden – innerhalb der letzten 3 Jahrtausende zu den aktuellen Mittelwerten zurückzuführen.
3. Die Abweichungen der mittleren Jahrestemperatur von den Vergleichswerten im aktuellen Referenzzeitraum 1961–1990 verbleiben im Gesamtzeitraum der Nacheiszeit, erdgeschichtlich also im Holozän, innerhalb einer Amplitude von 1°C bis maximal 3°C (bzw. 1 bis 3 K).
4. Das Niederschlagsangebot in Mitteleuropa entwickelte sich diskontinuierlich mit alternierenden feuchteren und trockeneren Teilzeiträumen. Dabei hat sich nach den verfügbaren Datierungen im Zeitraum vom vierten bis zum zweiten vorchristlichen Jahrtausend (d. h. bis vor ca. 3 Jahrtausenden) sowohl die Dauer der miteinander alternierenden Teilzeiträume als auch die Intensität der jeweiligen klimatischen Tönung im Mittel tendenziell verstärkt, um in den letzten drei Jahrtausenden bis hin zur Gegenwart ebenso tendenziell wieder abzunehmen.
5. Soweit ermittelbar, wie für die subborealen Jahrhunderte um 1000 v. u. Zr. (in Mitteleuropa späte Bronzezeit), haben die Jahresmittelwerte des Niederschlags auch in den vergleichsweise trockeneren Teilzeiträumen der Nacheiszeit zumindest regional ca. 80% (oder wenig unter 80%) der Beträge für den Referenzzeitraum 1961–1990 kaum oder nur unwesentlich unterschritten.

6. Der Klimaxzeitraum in der Entwicklung der thermischen Mittelwerte fällt in das sechste bis dritte vorchristliche Jahrtausend, die maximale Amplitude der Oszillationen im (vorzugsweise niederschlagsabhängigen) landschaftlichen Wasserhaushalt und Feuchteangebot folgt dagegen erst später im zweiten und beginnenden ersten vorchristlichen Jahrtausend. Beide Kurvenverläufe sind also nicht miteinander gekoppelt.
7. Insgesamt belegen die verfügbaren Daten (auch für Mitteleuropa) eine auch vor dem Hintergrund fernerer erdgeschichtlicher Zeiträume außerordentliche klimatische Stabilität für den Gesamtzeitraum der letzten ungefähr 10000 Jahre vor der (menschheits-)geschichtlichen Gegenwart mit vergleichsweise engen Amplituden der zeitlichen Variabilität von Temperatur und Niederschlag, was u. a. von W. S. Broecker (1966, S. 66) als „Ausnahmeerscheinung in der jüngeren Klimageschichte unseres Planeten“ bewertet sowie durch relativ „konstante und ausgeglichene Witterungsbedingungen“ gekennzeichnet wird.
8. Auch die Entwicklung der jüngsten, durch instrumentelle Messungen vergleichsweise gut überwachten und letztlich annähernd global überschaubaren Vergangenheit fügt sich vorerst in dieses Bild ein. Allerdings zeigen die instrumentellen Messungen aus dem letzten Viertel des 20. Jh. und auch aus den ersten Jahren des 21. Jh. (nachchristlicher Zeitrechnung) für die jährlichen und dekadenbezogenen Mittelwerte der Temperatur eine steigende Tendenz mit erkennbarer Beschleunigung, was allein für das letzte Jahrzehnt im 20. Jh. zu höheren Beträgen führt als für das gesamte Jahrhundert von 1891 bis 1990 (J. Rapp 2000, S. 86). Dieser Trend gibt Anlass zu der Befürchtung, daß die weitere Entwicklung der Temperaturmittelwerte über die Grenzen hinausführen kann oder wird, die bisher im Großteil des ganzen letzten Jahrzehntausends im Wesentlichen eingehalten worden sind.

### **Literaturnachweis**

- Baur, F. (1959): Die Sommerniederschläge Mitteleuropas in den letzten eineinhalb Jahrhunderten und ihre Beziehungen zum Sonnenfleckenzyklus. IV, 80 S. (Leipzig: Geest & Portig)
- Bernhardt, K.-H. (2002): Zum Geleit. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 52 (1), S. 5-9 (Berlin: trafo)
- Bernhardt, K.-H. (2007): Historische Klimatologie – Vorinstrumentelle Periode. In: P. Hupfer (Hrsg.), Klimaforschung in der DDR – Ein Rückblick (Geschichte der Me-

- teologie in Deutschland 8, Offenbach/Main: Deutscher Wetterdienst, in Vorbereitung)
- Bernhardt, K.-H. & Böhme, W. (1994): Klima und Menschheit. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 1, S. 51-90 (Berlin: trafo)
- Böhme, W. (2005): Beitrag zur Thematik „Klima und Menschheit“. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 82, S. 35-44 (Berlin: trafo)
- Börngen, M. & Tetzlaff, G. (2000): C. Weikinn, Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahr 1850, Teil 5 (1781-1800). 674 S. (Berlin & Stuttgart: Gebr. Borntraeger)
- Börngen, M. & Tetzlaff, G. (2002): C. Weikinn, Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahr 1850, Teil 6 (1801-1850). 728 S. (Berlin & Stuttgart: Gebr. Borntraeger)
- Brázdil, R. & Kotýza, O. (1999): Daily Weather Records in the Czech Lands in the Sixteenth Century II (History of Weather and Climate in the Czech Lands, III), 228 S. (Brno: Masaryk University)
- Brázdil, R., Valášek, H., Šviták, Zb. & Macová, J. (2002): Instrumental Meteorological Measurements in Moravia up to the Eighteenth Century (History of Weather and Climate in the Czech Lands, V), 250 S. (Brno: Masaryk University)
- Broecker, W. S. (1996): Plötzliche Klimawechsel. In: Spektrum der Wissenschaft. Dossier 5 (Klima und Energie). S. 66-72 (Heidelberg)
- Brunnacker, K. (1959): Zur Kenntnis des Spät- und Postglazials in Bayern. In: *Geologica Bavarica* 43, S. 74-150 (München: Bayer. Geolog. Landesamt)
- Brunner, K. (2003): Ein buntes Klimaarchiv – Malerei, Graphik und Kartographie als Klimazeugen. In: *Naturwissenschaftliche Rundschau* 56 (4), S. 181-186 (Stuttgart: Wiss. Verlagsgesellschaft)
- Brunner, K. (2005): Kartographie als Klimarchiv – Meereis im Norden, vom Eis verschlossene Schiffspassagen und vorsto?ende Gletscher – alte Karten dokumentieren die „Kleine Eiszeit“. In: *Eiszeitalter und Gegenwart* 55, S. 1-24 (Hannover & Stuttgart: DEUQUA sowie E. Schweizerbart)
- Degerbøl, M. & Krog, H. (1951): Den europæiske Sumpskildpadde (*Emys orbicularis* L.) i Danmark. In: *Danmarks Geologiske Undersøgelse, II. Række, Nr. 78*. 130 S. (København)
- Demarée, G., Verhoeve, T., Lacharet, P.-J. & Thoen, E. (2000) The long-term temperature time-series of Central Belgium (1767-1999). In: B. Obrebska-Starkel (Hrsg.), *Reconstruction of Climate and Its Modelling (Prace Geograficzne 107)*, S. 41-48 (Kraków: Instytut Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego)
- Deutsch, M. (1994): Die Hochwassermarken an der Unstrut. Unveröffentlichte Maschinenschrift (Magisterarbeit), 63 S., 8. Anl., 25 Taf. (Halle/Saale: Martin-Luther-Universität, Institut für Geschichte)
- Deutsch, M. (2000): Zum Hochwasser der Elbe und Saale Ende Februar/Anfang März 1799. In: M. Deutsch, K.-H. Pörtge & H. Teltcher (Hrsg.), *Beiträge zum Hoch-*

- wasserschutz in Vergangenheit und Gegenwart (Erfurter Geographische Studien 9), S. 7-44 (Erfurt: Institut für Geographie der Pädagogischen Hochschule)
- Deutsch, M., Grünewald, U. & Rost, K.-T. (2006): Historische Hochwassermarken – Ausgangssituation, Probleme und Möglichkeiten bei der heutigen Nutzung. In: M. Disse, K. Guckenberger, S. Pakosch, A. Yörük & A. Zimmermann (Hrsg.), Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse ... (Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 15.06), Bd. 1, S. 59-70 (München: Universität der Bundeswehr)
- Deutsch, M. & Pörtge, K.-H. (2002): Hochwasserereignisse in Thüringen (Schriftenreihe der TLUG 63), 99 S. (Jena: Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie)
- Ehrendorfer, F. (1976): Spermatophyta, Samenpflanzen. In: E. Strassburger et al. (Hrsg.), Lehrbuch der Botanik (31. Aufl.), S. 699-855 (Jena: Gustav Fischer)
- Enquist, F. (1924): Sambandet mellan klimat och växtgränser. In: Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 46, S. 202-211 (Stockholm)
- Fægri, K. & J. Iversen J. (1950): Textbook of modern Pollen Analysis. (København: E. Munksgaard)
- Firbas, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen, Bd. 1 (Allgemeine Waldgeschichte), VIII, 480 S. (Jena: Gustav Fischer)
- Frenzel, B. (1967): Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters (Die Wissenschaft, Bd. 129), XII, 296 S. (Braunschweig: Franz Vieweg)
- Friedrich, M. et al. (1999): Palaeo-environment and radiocarbon calibration as derived from Late Glacial/Early Holocene tree-ring chronologies. In: Quaternary International 61, S. 27-39
- Glaser, R. (1991): Klimarekonstruktion für Mainfranken, Bauland und Odenwald anhand direkter und indirekter Witterungsdaten seit 1500 (Paläoklimaforschung, Bd. 5). 175 S. (Stuttgart & New York: Gustav Fischer)
- Glaser, R. (2000): Klimageschichte Mitteleuropas – 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. VIII, 227 S. (Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft)
- Göttlich, K. (1974): Moor- und Torfkunde. XII, 338 S. (Stuttgart: Schweizerbart)
- Hennig, R. (1904): Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800 (Abhandlungen des Preussischen Meteorologischen Instituts 2 [4]), 93 S.
- Hennig, R. (1904): Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800 (Abhandlungen des Preussischen Meteorologischen Instituts 2 [4]), 93 S.
- Henningens, D. (2006): Karten und Gemälde als Anzeiger von Klimaveränderungen. In: Naturwissenschaftliche Rundschau 59 (9), S. 487 (Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft)

- Huber, B. (1951): Mikroskopische Untersuchungen von Hölzern. In: H. Freund (Hrsg.), Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. V (Mikroskopie des Holzes und des Papiers). Teil I, S. 79-192 (Frankfurt/Main: Umschau)
- Hughen, K. A., Overpeck, J. T., Peterson, L. C. & Anderson, R. F. (1996): The nature of varved sedimentation in the Cariaco Basin, Venezuela, and its palaeoclimatic significance. In: Geological Society Special Publication 116, S. 171-183
- Hupfer, P. & Kuttler, W. (2005): Witterung und Klima – Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, XV, 554 S. (Stuttgart, Leipzig & Wiesbaden: B. G. Teubner)
- Iversen, J. (1944): *Viscum*, *Hedera* and *Ilex* as Climatic indicators. In: Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 66, S. 463-483 (Stockholm)
- Jäger, K.-D. (1965): Holozäne Binnenwasserkalke und ihre Aussage für die nacheiszeitliche Klima- und Landschaftsentwicklung im südlichen Mitteleuropa. Unveröffentlichte Maschinenschrift (Dissertation). (Jena: Friedrich-Schiller-Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät)
- Jäger, K.-D. (2001): Zur zeitlichen Veränderlichkeit von Binnenseen mitteleuropäischer Jungmoränenlandschaften im Verlauf der letzten 10 Jahrtausende. In: S. Bussemer (Hrsg.), Das Erbe der Eiszeit (Marcinek-Festschrift), S. 111-117 (Langenweißbach: Beier & Beran)
- Jäger, K.-D. (2002): Oscillations of the water balance during the Holocene in interior Central Europe – features, dating and consequences. In: Quaternary International 91, S. 33-37
- Jäger, K.-D. (2005): Klimawandel im Holozän – Problemanalyse am Beispiel Mitteleuropa. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 82, S. 45-54 (Berlin: trafo)
- Jäger, K.-D. (2006): Methodische Möglichkeiten und bisherige Erkenntnisse zum nacheiszeitlichen Klimawandel in Mitteleuropa. In: Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 45 (3/4), S. 117-126 (Remagen: Dr. Kessel)
- Jäger, K.-D. (2007, a): Klimawandel und Besiedlungsgeschichte in Mitteleuropa während der Nacheiszeit. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (Berlin, in Vorbereitung)
- Jäger, K.-D. (2007, b): Holozän. In P. Hupfer (Hrsg.), Klimaforschung in der DDR – Ein Rückblick (Geschichte der Meteorologie in Deutschland 8, Offenbach/Main: Deutscher Wetterdienst, in Vorbereitung)
- Jäger, K.-D. (2007, c): Subboreal and Epiatlanticum. In: Antropozoikum (Praha, im Druck)
- Keller, F. (1854): Die keltischen Pfahlbauten in den Schweizerseen. In: Mitteilungen der Antiquarischen Gesellschaft in Zürich 9, S. 67-100 (Zürich)
- Köppen, W. & Wegener, A. (1924): Die Klimate der geologischen Vorzeit, 266 S. (Berlin: Gebr. Borntraeger)
- Kordos, L. (1982): Evolution of the Holocene vertebrate fauna in the Carpathian Basin. In: Zeitschrift für Geologische Wissenschaften 10 (7), S. 963-970 (Berlin: Akademie-Verlag)

- Kromer, B. Friedrich, M. & Spurk, M. (2001): Natürliche Klimavariationen im Spätglazial und Holozän im Spiegel von Baumringserien. In: M. Sarnthein et al. (Hrsg.), Klimawechsel vor dem Einfluß des Menschen (Nova Acta Leopoldina, N. F. 88 (331), S. 151-159 (Halle/Saale: Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina))
- Labijn, A. (1945): Het klimaat van Nederland gedurende de laatste twee en halve eeuw (Koninklijke Nederlandse Meteorolog Institut 102) ('s Gravenhage)
- Lange, E. (1965): Zur Vegetationsgeschichte des zentralen Thüringer Beckens. In: *Drudea* 5 (1), S. 3-58 (Jena: Geobotanischer Arbeitskreis Sachsen-Thüringen)
- Litt, Th., Schmincke, H.-U. & Kromer, B. (2003): Environmental response to climatic and volcanic events in central Europe during the Weichselian Lateglacial. In: *Quaternary Science Reviews* 22, S. 7-32
- Ložek, V. (1955): Měkkýši československého kvartéru (Rozprávy Ústředního ústavu geologického 17), 512 S., 3 Beil., 12 Taf. (Praha: Nákladství ČSAV)
- Ložek, V. (1964): Quartärmollusken der Tschechoslowakei (Rozprávy Ústředního ústavu geologického 31). 376 S., 4 Beil., 32 Taf. (Praha: Nákladství ČSAV)
- Mania, D. (1973): Paläoökologie, Faunenentwicklung und Stratigraphie des Eiszeitalters im mittleren Elbe-Saalegebiet auf Grund von Molluskengesellschaften (Geologie, Beiheft 78/79), 175 S. (Berlin: Akademie-Verlag)
- Meusel, H. (1943): Vergleichende Arealkunde, Bd. 1 (Berlin)
- Ogilvie, A. E. J. (1998): Historical accounts of weather events, sea ice and related matters in Iceland and Greenland, A. D. c. 1250 to 1430. In: *Paläoklimaforschung* 23, S. 23-43 (Stuttgart etc.: Gustav Fischer)
- Paret, O. (1946): Das neue Bild der Vorgeschichte. (Stuttgart)
- Pfister, Chr. (1999): *Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. 304 S. (Bern, Stuttgart & Wien: Paul Haupt)
- Pfister, Chr., Brzdil, R. & Glaser, R. (Hrsg.) (1999): Climatic Variability in Sixteenth Century Europe and its Social Dimension. In: *Climatic Change* 43 (1). 351 S. (Dordrecht, Boston & London: Kluwer)
- Pfister, Chr., Schwarz-Zanetti, G., Hochstrasser, F. & Wegmann, M. (1998): The most severe winters of the fourteenth century in Central Europe compared to some analogues in the more recent past. In: *Paläoklimaforschung* 23, S. 45-61 (Stuttgart, Jena, Lübeck & Ulm: Gustav Fischer)
- Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland (Berichte des Deutschen Wetterdienstes 212), 145 S. (Offenbach/Main: Deutscher Wetterdienst)
- Rothmaler, W. (1955): *Allgemeine Taxonomie und Chorologie der Pflanzen – Grundzüge der speziellen Botanik*, 2. Aufl., VII, 215 S. (Jena: Wilhelm Gronau)
- v. Rudloff, H. (1967): Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumenten-Beobachtungen (1670). (Die Wissenschaft, Bd. 122), 370 S. (Braunschweig: Vieweg)



- v. Rudloff, H. (1967): Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmäßigen Instrumenten-Beobachtungen (1670). (Die Wissenschaft, Bd. 122), 370 S. (Braunschweig: Vieweg)
- Schäfer, M. (1996): Pollenanalysen an Mooren des Hohen Vogelsberges (Hessen) – Beiträge zur Vegetationsgeschichte und anthropogenen Nutzung eines Mittelgebirges (Dissertationes Botanicae, Bd. 265). VIII, 280 S., 3 Faltbeil. (Berlin & Stuttgart: J. Cramer)
- Schmidt, E. (1941): Mikrophotographischer Atlas der mitteleuropäischen Hölzer (Schriftenreihe des Reichsinstitutes für ausländische und koloniale Fortwirtschaft, 1). 112 S., 1 Faltbeil. (Neudamm: J. Neumann)
- Schulze, J. (1980): Das Standortmosaik von ausgewählten Talauen und Niederungen im Einzugsgebiet der oberen und mittleren Unstrut unter besonderer Berücksichtigung der Sedimenttypenverteilung. Unveröffentlichte Maschinenschrift (Dissertation), Textband. XI, 250 und XXX S. (Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät)
- Schwarzbach, M. (1950): Das Klima der Vorzeit – Eine Einführung in die Paläoklimatologie. VIII, 211. S. (Stuttgart: Ferdinand Enke)
- Schweingruber, F. H. (1978): Mikroskopische Holz Anatomie, 226 S. (Zug/Schweiz: Zürcher AG)
- Schwoerbel, J. (1971): Einführung in die Limnologie. VIII, 170 S. (Jena: Gustav Fischer)
- Spurk, M., Friedrich, M. et al. (1998): Revision and extension of the Hohenheim oak and pine chronologies: New evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal transition. In: Radiocarbon 40 (3), S. 1107-1116
- Steiner, W. (1966): Zyklen und Rhythmen in der Sedimentation – eine terminologische Betrachtung. In: Geologie 15, S. 496-502 (Berlin: Akademie-Verlag)
- Thienemann, A. (1955): Die Binnengewässer in Natur und Kultur – Eine Einführung in die theoretische und angewandte Limnologie (Verständliche Wissenschaft, Bd. 55). VIII, 156 S. (Berlin, Göttingen & Heidelberg: Springer)
- Wagner, A. (1940): Klimaänderungen und Klimaschwankungen (Die Wissenschaft, Bd. 92), 221 S. (Braunschweig: Franz Vieweg)
- Wagner, G. A. (1995): Altersbestimmung von jungen Gesteinen und Artefakten – Physikalische und chemische Uhren in Quartärgeologie und Archäologie. X, 277 S. (Stuttgart: Ferdinand Enke)
- Wagner, G. A. (1998): Age Determination of Young Rocks and Artefacts. VIII, 466 S. (Berlin, Heidelberg etc.: Springer)
- Weikinn, C. (1958–1963): Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahre 1850. 4 Teile (1 1958, 531 S.; 2 1960, 486 S.; 3 1961, 586 S.; 4 1963, 381 S.) (Berlin: Akademie-Verlag)