

„Natürliche Klimavariationen in historischen Zeiten bis 10.000 Jahre vor heute.“

Abschlussbericht Förderkennzeichen: 01SF9813

I. Einführung

1. Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojekts ist, Klimazustände der Nacheiszeit in Mitteleuropa möglichst quantitativ zu ermitteln und Proxydaten für Klimaparameter bereitzustellen. Damit liefern unsere Arbeiten einen Beitrag zur quantitativen Paläoklimatologie der Nacheiszeit in Mitteleuropa. Mit Hilfe dieser Zeitreihen sollen insbesondere ein besseres Verständnis der raum-zeitlichen Struktur der natürlichen Klimavariabilität sowie Aufschlüsse über rasche Klimaübergänge in der Vergangenheit gewonnen werden. Die Variationsbreite natürlicher Klimavariationen wird dadurch quantifizierbar, und der als anthropogen eingestufte Beitrag zum Klimageschehen kann vor diesem Hintergrund besser beurteilt werden. Als Klimaarchive dienen Jahrringe von Bäumen mitteleuropäischer Herkunft und die Niederschläge in Deutschland, alle diese Materialien tragen eine klimaabhängige Isotopenmarkierung. Die Isotopendaten enthalten zusätzlich Hinweise auf die Herkunft des atmosphärischen Wasserdampfs in vergangenen Zeitabschnitten und damit über Änderungen der atmosphärischen Zirkulation.

Als konkretes Ziel in dem Verbundprojekt sollen die bereits vorliegenden Zeitreihen der Isotopendaten ergänzt, bezüglich ihrer Klimarelevanz bewertet, mittels Transferfunktionen in Proxydaten der Temperatur und Feuchte überführt und schließlich einer statistischen Analyse unterzogen werden.

Der Stellenwert dieser Arbeiten für das Verbundprojekt "Natürliche Klimavariationen in historischen Zeiten bis 10.000 Jahre" ergibt sich daraus, dass Proxydaten des Temperaturverlaufs in der Zeit bis 10.000 Jahre vor heute und in ausgewählten Zeitscheiben für die Klimamodellierung und die Bewertung des anthropogenen Einflusses auf das heutige und zukünftige Klima notwendige Voraussetzung sind.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens sind u.a.:

- die Verfügbarkeit des geeigneten Probenmaterials
- die Verfügbarkeit der geeigneten Analysetechnik
- die Korrelierbarkeit der wichtigsten Klimaparameter mit ^2H -, ^{13}C - und ^{18}O -Isotopengehalten
- die Möglichkeit, nichtklimabedingte Isotopeneffekte zu eliminieren
- die eigenen Erfahrung mit der klimarelevanten Interpretation von Isotopengehalten in Hölzern und die enge Zusammenarbeit mit anderen an paläoklimatischen Fragen interessierten und erfahrenen Wissenschaftlern.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zum Erreichen des Forschungsziels, möglichst lückenlose Datenreihen für Klimamodellierung bereitzustellen, ist eine Ergänzung der bereits vorhandenen, umfangreichen Zeitreihen sowie eine Bewertung des gesamten Datenmaterials erforderlich.

Ergänzung von Zeitreihen

Es existieren bereits umfangreiche Zeitreihen von klimaabhängigen ^2H - und ^{13}C -Gehalten in der Zellulose des Spätholzes aus Jahrringen von Bäumen aus dem süddeutschen Raum. Die Lücken in diesen Chronologien gilt es mit Hilfe von dendrometrisch datierten Holzproben zu schließen. Die Isotopenanalyse (^2H , ^{18}O , ^{13}C) der Zellulose dieser Bäume trägt zur Regionalisierung der Klimainformation bei, die Analysen sollen zumindest in Zeitscheiben erfolgen, die innerhalb des Gesamtprojekts als wichtig angesehen werden und für eine regionale Klimamodellierung ausgewählt wurden.

Die Niederschläge an 18 Stationen Deutschlands, die zum Niederschlagsnetz der International Atomic Energy Agency (IAEA 1997) gehören, werden weiterhin, wie bereits in den letzten 25 Jahren, auf ihre ^2H - und ^{18}O -Gehalte analysiert.

Die Versuche in Klimakammern unter Variation der Temperatur- und Luftfeuchtebedingungen sowie der Bewässerung sollen fortgesetzt werden.

Bewertung der Proxydaten

Die Deutung der Isotopendaten als Proxydaten für Temperatur und Feuchteausgaben setzt die Kenntnis voraus, wie die Isotopenwerte von nicht-klimatischen Faktoren abhängen und wie sensitiv die Isotopengehalte auf Temperatur- und Luftfeuchteänderungen reagieren, d.h. mit welcher Transferfunktion die Proxydaten umzusetzen sind.

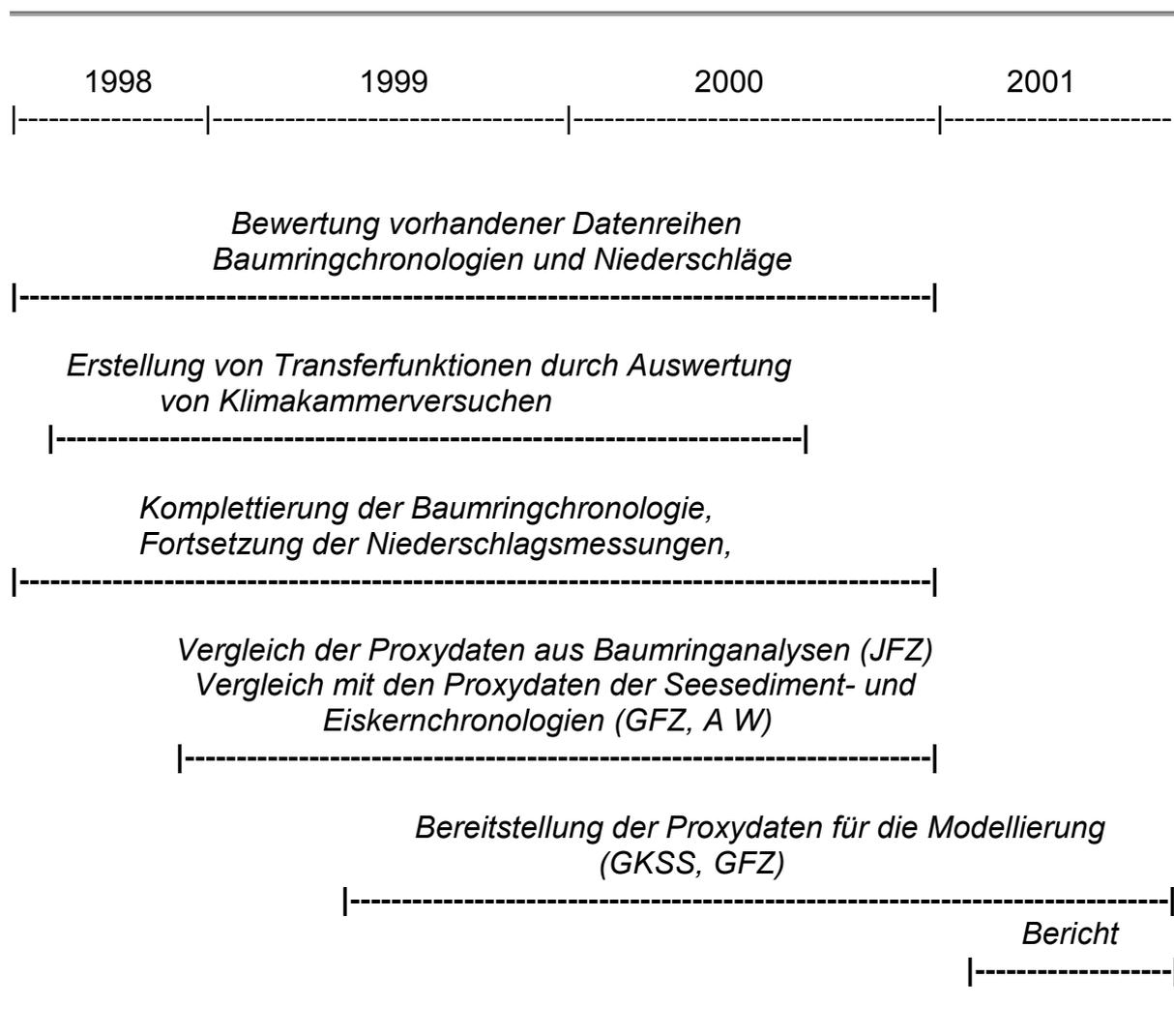
Die Transferfunktion für die Isotopendaten der Zellulose soll aus Daten bestimmt werden, die in Feldstudien im Schwarzwald und in Mittelfranken sowie in Expositionskammern erhoben wurden. Von den Untersuchungen im Schwarzwald liegen neben meteorologischen Daten detaillierte Isotopenwerte der Luftfeuchte, des Niederschlags, des Bodenwassers, des Blattwassers und der neugebildeten Nadel- und Astzellulose vor. In Mittelfranken kann das Spätholz der einzelnen Jahrringe von Fichten mit meteorologischen Parametern korreliert werden. Aus den Ergebnissen der Klimakammerversuche, in denen Temperatur, Luftfeuchte, Wasserangebot und CO_2 Partialdruck unabhängig voneinander variiert werden können, kann der Einfluss dieser Faktoren auf die Isotopengehalte der Pflanzenzellulose bestimmt werden.

Die Daten sollen einer statistischen Analyse unterzogen werden, von der unter Anwendung moderner statistischer Filtermethoden für jede Zeitreihe eine objektive Antwort auf das Signal-/Rauschverhalten und mit statistischen Frequenzanalysen Aussagen über die Periodizitäten der Klimaentwicklung erwartet werden. Die statistischen Methoden sind dem hier gestellten Problem anzupassen. Welche überregio-

nale Bedeutung (Temperatur-) Signalen zuzuschreiben ist, folgt durch Vergleich der verschiedenen Isotopen-Chronologien.

Arbeitsplan:

Der Arbeitsplan und der Einsatz der für den Antragszeitraum 07.1998 bis 06.2001 beantragten Stellen wird anhand des folgenden Schemas erläutert.



4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Verhältnisse natürlich vorkommender stabiler Isotope ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in der Zellulose der Jahrringe von Bäumen sind geprägt von den Wachstumsbedingungen (insbesondere die Einflüsse von Temperatur und rel. Feuchte darauf) und können daher zur Rekonstruktion des Klimas in vergangenen Zeiten herangezogen werden.

Die Temperatur- und Feuchtebedingungen während der Wachstumsperiode des Spätholzes (Juli bis August) liegen verschlüsselt in den ^2H -Gehalten des Spätholzes vor (z.B. Epstein und Yapp 1976, Yapp und Epstein 1982). Bei der Photosynthese wird Blattwasser verwendet, das aus der Wurzelzone stammt und in den Blättern, je nach Feuchtebedingungen unterschiedlich stark der Verdunstung ausgesetzt war. Die Isotopensignatur dieses Blattwassers wird bei der Photosynthese auf die Zellulose übertragen, wobei eine (konstante) Isotopenfraktionierung auftritt, welche die ^2H -Gehalte in der Zellulose erhöht. Die ^2H -Gehalte in der Zellulose werden also von zwei klimatischen Faktoren bestimmt: Der Temperatur, die den ^2H -Gehalt im Niederschlag (Dansgaard 1964, Yurtsever und Gat 1981) und damit im Bodenwasser bestimmt, und der rel. Luftfeuchte, die für die Isotopenanreicherung im Blattwasser verantwortlich ist (Brenninkmeijer 1983). Den Einfluss dieser beiden Faktoren zu trennen, sind zusätzliche, unabhängige Informationen über einen der Parameter nötig. In gemäßigten Klimazonen sind beide Parameter weitgehend gekoppelt (Kälteperioden sind meist auch Perioden hoher Luftfeuchte und umgekehrt), so dass sich die Signale in den Zeitreihen der ^2H -Gehalte verstärken. In mediterranen Klimaten mit ausgeglichenen Temperaturen während der letzten 2000 Jahre, stehen die ^2H -Signale eher für Schwankungen der rel. Luftfeuchte (Yakir et al. 1996, Lipp et al. 1996b).

Das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnis in pflanzlicher Zellulose scheint im wesentlichen von der Öffnung der Stomata abzuhängen und damit u.a. von der relativen Luftfeuchte (Farquhar und v. Caemmerer 1982), in gemäßigten Klimazonen damit auch von der Temperatur: je mehr sich die Pflanze durch Verengung der Stomata vor Austrocknung schützen muss, um so mehr reichert sich $^{13}\text{CO}_2$ im Interzellularraum an und wird vom Enzym Rubisco zunehmend neben dem bevorzugten $^{12}\text{CO}_2$ fixiert. Als sekundäre, nicht klimatisch bedingte Veränderungen der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse sind die Abnahme der ^{13}C -Gehalte des atmosphärischen CO_2 durch die zunehmende Nutzung fossiler Brennstoffe seit Mitte des vorigen Jahrhunderts (Freyer 1979, Farmer 1979, Freyer und Belacy 1983, Friedli et al. 1986, Lipp et al. 1991a) sowie die unterschiedliche Isotopendiskriminierung während verschiedener Wachstumsphasen des Baumes (Juvenileffekt) und verschiedener Baumtypen zu berücksichtigen. Bisher ungeklärt ist, wie sich unterschiedliche CO_2 Partialdrücke auf den ^{13}C -Gehalt der Pflanzenzellulose auswirken.

Mehrere Autoren haben mit Isotopendaten des Gesamtholzes von Jahrringen (Früh- und Spätholz) klimatische Entwicklungen in der Vergangenheit untersucht (Kitagawa et al. 1989, Epstein und Yapp 1976, Stuiver und Braziunas 1987, Grinsted et al. 1979, Mazany et al. 1980, Libby et al. 1976). Vom GSF-Institut für Hydrologie wurde dazu ausschließlich Spätholz verwendet und zwar das Holz von Tannen und Fichten (siehe eigene Vorarbeiten). Alle Isotopenkurven zeigen im wesentlichen übereinstimmend globale klimatische Änderungen im langzeitlichen Trend.

Eigene Vorarbeiten

Die bisherigen Arbeiten konzentrieren sich hauptsächlich auf die Untersuchung von Baumringen, auf deren Darstellung deshalb vornehmlich eingegangen wird.

Im Rahmen des Klimaprogramms des BMBF wurden am GSF-Institut für Hydrologie in Zusammenarbeit mit dem Institut für Botanik, der Universität Hohenheim Untersuchungen an rezenten und an alten Bäumen durchgeführt.

Untersuchungen an rezentem Pflanzenmaterial, die z.T. in den Klimakammern der GSF durchgeführt wurden, dienen dazu, die Abhängigkeit der Isotopengehalte in der Pflanzenzellulose und von Wachstumsbedingungen zu quantifizieren. Klimakammerversuche sind teilweise ausgewertet (Lipp et al. 1997), auch die Untersuchungen an rezenten Bäumen aus dem Schwarzwald. Mit den Studien an rezenten, ca. 100 Jahre alten Bäumen aus Mittelfranken konnte abgeleitet werden, wie sensitiv die ^2H -Gehalte der Zellulose auf Temperatur- und Feuchteschwankungen reagieren (Lipp et al. 1993a, 1993b, 1996a). Das dortige Sommerklima scheint einem etwa vierzehnjährigen Zyklus zu unterliegen, mit warm-trockenen und feuchtkühlen Sommern (Lipp et al. 1993a). Die Ursache dieser Periodizität, die in den letzten 150 Jahren auch an der Breite der Jahrringe von Bäumen aus Mitteleuropa, Colorado und New York nachweisbar ist (Schweingruber et al. 1990), ist bislang unbekannt.

Mit den Untersuchungen an alten Bäumen wurden umfangreiche Zeitreihen von ^2H - und ^{13}C -Gehalten in der Zellulose des Spätholzes aus Jahrringen von Bäumen aufgestellt, die dendrometrisch jahrgenau vom Jahrringlabor des Instituts für Botanik, der Universität Hohenheim datiert worden sind:

- Eine aus 21 Tannen des Schwarzwalds zusammengesetzten Chronologie (1004 bis 1981 A.D.). Die Isotopenreihen belegen das Klimaoptimum im Mittelalter und die sog. Kleine Eiszeit (Lipp et al. 1991a).
- Eine aus Eichen des Donau- und Maingebiets Zusammengesetzte Chronologie (1000 bis 4000 B.P.), die sich überlappend an die Tannenchronologie anschließt.
- Eine aus 34 Kiefern zusammengesetzte ca. 2000 Jahre umfassende Chronologie des Spätglazials und Frühholozäns (Beginn der Chronologie nach ^{14}C -Datierung: 11.370 B.P.). Die ^{13}C -Reihe dokumentiert die letzte Phase der jüngeren Dryas, das Ende der jüngeren Dryas (10.000 B.P.) und die folgende Warmzeit des Präboreals, die nur durch eine kurze Phase mit kälteren Temperaturen die sich auch in Sediment- und Eiskernen andeutet, unterbrochen wird. Die ^2H -Gehalte verlaufen in diesem Zeitabschnitt nach den ^2H -Werten ähnlich. Allerdings dauert der Übergang von der jüngeren Dryas zum Präboreal länger (450 Jahre anstatt der 100 bis 200 Jahre in der ^{13}C -Chronologie), setzt aber zur selben Zeit ein (Becker et al. 1991). Die Gründe sind vermutlich in der relativ langsamen Durchmischung des Ozeans, der Quelle der ^2H -Gehalte im Süßwasser, zu suchen.

Aus den unabhängig ermittelten Zeitreihen aus Baumringweiten, ^{13}C -, ^2H - und ^{14}C -Gehalten lässt sich eine präzise Zeitskala für das Ende der Eiszeit ableiten. Das Spätglazial muss nach hochpräzisen ^{14}C -Altern und Datierungen mit Hilfe der absoluten Eichenchronologie spätestens 10.970 B.P. vor heute geendet haben.