TÜBINGER GEOGRAPHISCHE STUDIEN	H. 125	1999	S. 23-46	TÜBINGEN
SCHENK, W. (HRSG.)				
„LANGE REIHEN" ZUR ERFORSCHUNG VON WALDZUSTÄNDEN UND WALDENTWICKLUNGEN				

Die Temperaturentwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000 auf der Grundlage quantifizierter historischer Quellentexte

von

RÜDIGER GLASER, ULRIKE BEYER & CHRISTOPH BECK, WÜRZBURG

mit

3 Abbildungen und 4 Tabellen

1. Klima in Perspektive - eine Einleitung

Nach wie vor zählt das Klima im Allgemeinen und Klimaveränderungen im Speziellen zu den ökologischen Themenkreisen, die eine hohe gesellschaftspolitische Relevanz aufweisen. Neben den Fragen der aktuellen Klimaveränderung, die v.a. auf Prognosemodelle abzielen und anthropogene Einflußnahmen auf das Klimasystem thematisieren, beschäftigt sich eine andere Forschungsrichtung mit der Rekonstruktion vergangener Klimate. Man möchte auf diesem Wege u.a. erfahren, in welcher Bandbreite das Klimageschehen außerhalb der modernen Beeinflussung durch den Menschen variiert hat. Mit der Einbeziehung der historischen Dimension kann man gegebenenfalls auch klimatische Vergleichsfälle und Besonderheiten bestimmen, wie sie in der amtlichen Meßperiode seit dem 19. Jahrhundert nicht vorkamen.

Die Historische Klimatologie hat, nachdem bereits seit Begründung der Meteorologie immer wieder restrospektive Arbeiten durchgeführt wurden, ihre wissenschaftliche Neubegründung durch die Arbeit von LAMB (1977) „Climate: Present, Past and Future" gefunden. Seit dieser Zeit wurden zahlreiche regionale Arbeiten mit einem immer breiter werdenden methodischen Spektrum zu diesem Themenkreis durchgeführt. Anzuführen wären LE ROY LADURIE (1983) für Frankreich, PFISTER (1985) für die Schweiz, ALEXANDRE (1987) für Westeuropa, LAUER & FRANKENBERG (1986) für die Rheinpfalz, GLASER (1991, 1996, 1997) für Deutschland, BARON (1982) sowie BRADLEY & JONES (1992) in Nordamerika, BRAZDIL & KOTYZA (1995) sowie MUNZAR (1995) für Tschechien und CHERNAVSKAYA (1994) für Rußland.

2. Texte, Daten und Verarbeitungen

Ein Spezifikum dieser Forschungsrichtung ist die äußerst vielfältige Quellen- und Datenstruktur, die sich überwiegend aus schriftlichen Angaben, aber auch sogenannten Proxydaten, d.h. Klimazeigern wie Dendrodaten oder Ernteertragsangaben sowie den frühen Instrumentenmeßdaten zusammensetzt. Entsprechend komplex sind auch die eingesetzten Methoden.

Der Kernbereich der Forschungsarbeiten setzt sich aus den schriftlichen Quellen zusammen, die nur durch umfassende und aufwendige Archivrecherchen akquiriert werden können. Besonderes Augenmerk betrifft deren Verläßlichkeit. Aus diesem Grunde wurde in den eigenen Arbeiten stets besonderer Wert auf eine umfassende und originäre Quellenrecherche und die entsprechende quellenkritische Bearbeitung gelegt, in die hermeneutische Prinzipien einfließen und die u.a. die Motivation, den schulischen und beruflichen Werdegang des Chronisten, den jeweils herrschenden Zeitgeist und die Erkenntniswege umfassen. Eine zeitgemäße Verwaltung, Vorhaltung und Bearbeitung der Daten in Datenbanksystemen ist inzwischen eine unabdingbare Voraussetzung für ergebnisreiches Arbeiten. Durch den Aufbau der eigenen Datenbank „HISKLID" (Historische Klimadatenbank Deutschland) wurde ein Arbeitswerkzeug zur Verfügung gestellt, das diesen modernen Anforderungen genügt. Zwischenzeitlich wurden über 180.000 Datenrecords erhoben, d.h. Einzelaussagen zu den Wetter-, Witterungs- und Klimabedingungen zusammengetragen. Die originären Textzitate aus Chroniken, Annalen sowie Wettertagebüchern wurden alphanumerisch kodiert, wobei die Datierung, der räumliche Bezug, die Quelle und die klimatische Aussage in den Kodezeilen umgesetzt wurden. Damit sind zeitliche und inhaltliche Selektionen sowie schnelle Umsetzungen spezifischer Inhalte möglich.

3. Auf dem Weg zum Klima - die methodischen Möglichkeiten

Das angewandte Methodenspektrum ist sehr breit, hängt aber letzten Endes von der Struktur und der zeitlichen Auflösung der Daten selbst ab. Schriftliche Quellenangaben können beispielsweise in Indexwerte, d.h. Wertstufen, die den textlichen Differenzierungen und Wertungen entsprechen, umgesetzt werden. Auf diese Weise erhält man semiquantitative Zeitreihen. Metrische Angaben wie Ertragsangaben, Dendrodaten oder andere Proxydaten lassen sich mit numerischen Verfahren bearbeiten. Zeitreihenanalysen (z.B. Filterungen und spektrale Varianzanalysen), Clusterverfahren, etc.- werden angewandt, um Glättungen durchzuführen, Periodizitäten aufzudecken oder um zu regionalisieren. Als methodisch besonders ergiebig hat sich die zusammenschauende Analyse von schriftlichen Quellen und zeitgleichen Befunden aus Naturarchiven herausgestellt, was als integrative Arbeitsweise bezeichnet wird (GLASER 1991). Des weiteren werden auch einzelne Daten zu Flußvereisungen, Dendrodaten oder phänologische Angaben bearbeitet. Mit Hilfe dieser Naturarchive lassen sich unabhängig voneinander erhobene Zeitreihen sehr gut miteinander vergleichen und überprüfen.

Wettertagebücher, die systematisch geführt wurden und oftmals mehrere Eintragungen pro Tag enthalten, lassen Rückschlüsse auf das Wettergeschehen zu (vgl. LENKE 1960, KLEMM 1964). Ab Ende des 17. Jahrhunderts waren einige von ihnen mit Instrumentenmeßwerten versehen. Aus ihnen können noch genauere Rekonstruktionen durchgeführt werden (LENKE 1961, 1962, 1964, BRUMME 1981, GLASER & GUDD 1996; DEMAREE, VAN ENGELEN & GEURTS 1994).

Für weiter zurückreichende Phasen, die durch eine schlechtere Datenlage gekennzeichnet sind, wird in der Regel auf stärker abstrahierte Darstellungen zurückgegriffen. So verwendete LAMB (1977) einen Dezennienindexwert, den gleichen Ansatz verfolgt auch ALEXANDRE (1987) zur Darstellung der mittelalterlichen Klimaverhältnisse in Westeuropa. Daß, wie oben erwähnt, auch weiterführende Auflösungsebenen erreicht werden können, zeigen die Arbeiten von KINGTON (1988). Er entwarf anhand der Daten der „Societas Meteorologica Palatina" tägliche Karten des Bodenluftdruckfeldes. Zu den langen europäischen Temperaturreihen hat bereits RUDLOFF (1967) einen lesenswerten Überblick gegeben. Mittlerweile wird in Projekten wie ADVICE (Annual to decadal variability in climate in Europe) die zusammenschauende Analyse von frühen Instrumentenmeßdaten, Proxydaten sowie deskriptiven Angaben erfolgreich angewendet, um zu quantifizierten Synopaussagen zu gelangen. Herausragendes Ergebnis solcher Untersuchungen sind, unter Verwendung statistischer Methoden (z.B. Hauptkomponentenanalyse und multiple Regression, kanonische Korrelation), rekonstruierte monatliche und teilweise tägliche Bodenluftdruckkarten für historische Zeiträume (z.B. JONES et al. 1998 für 1780-1995; LUTERBACHER et al. 1998 für 1675-1715). Auf der Grundlage solcher Karten können zirkulationsdynamische Untersuchungen durchgeführt werden, die Aufschluß über die Zirkulations- und Klimavariabilität vergangener Zeitabschnitte geben und den diesbezüglichen Vergleich mit rezenten Entwicklungen ermöglichen (JACOBEIT et al. 1998).

Aus dem breiten Methodenspektrum wurde im vorliegenden Beitrag auf die Ableitung von Indizes zurückgegriffen, wobei zunächst ungewichtete Dezennienwerte für den Zeitraum bis 1500, dann aber gewichtete monatliche Indizes gebildet wurden. Für beide Ansätze konnten Quantifizierungen vorgenommen werden.

3.1. Die Ableitung von Dezennienindizes

Aufgrund der unterschiedlichen Datendichte und der Auflösung der Daten wurde in einem ersten Arbeitsansatz der Klimagang ab dem Jahr 1000 auf der Grundlage ungewichteter saisonaler Dezennienindizes erarbeitet. Die einzelnen Jahreszeiten wurden hierzu in einem Wertebereich von -3 bis +3 umgesetzt. Anschließend wurden pro Jahrzehnt die Anzahl der positiven und die Anzahl der negativen Jahreszeiten aufgetragen und die Differenz hervorgehoben (Abb.1). Diese Darstellung vermittelt die thermische Grundprägung des jeweiligen Jahrzehnts.

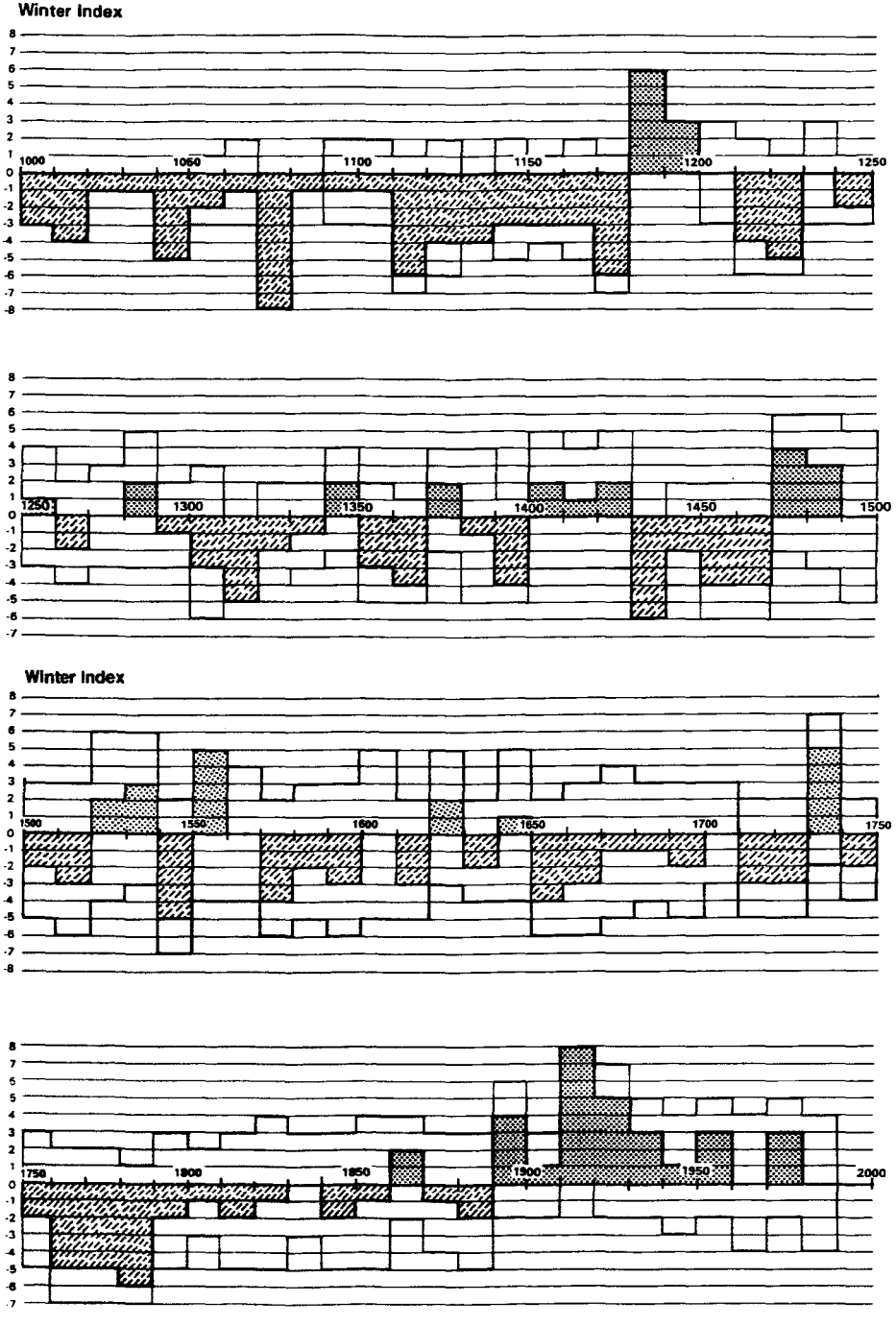

Abb. 1: Die thermische Entwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000

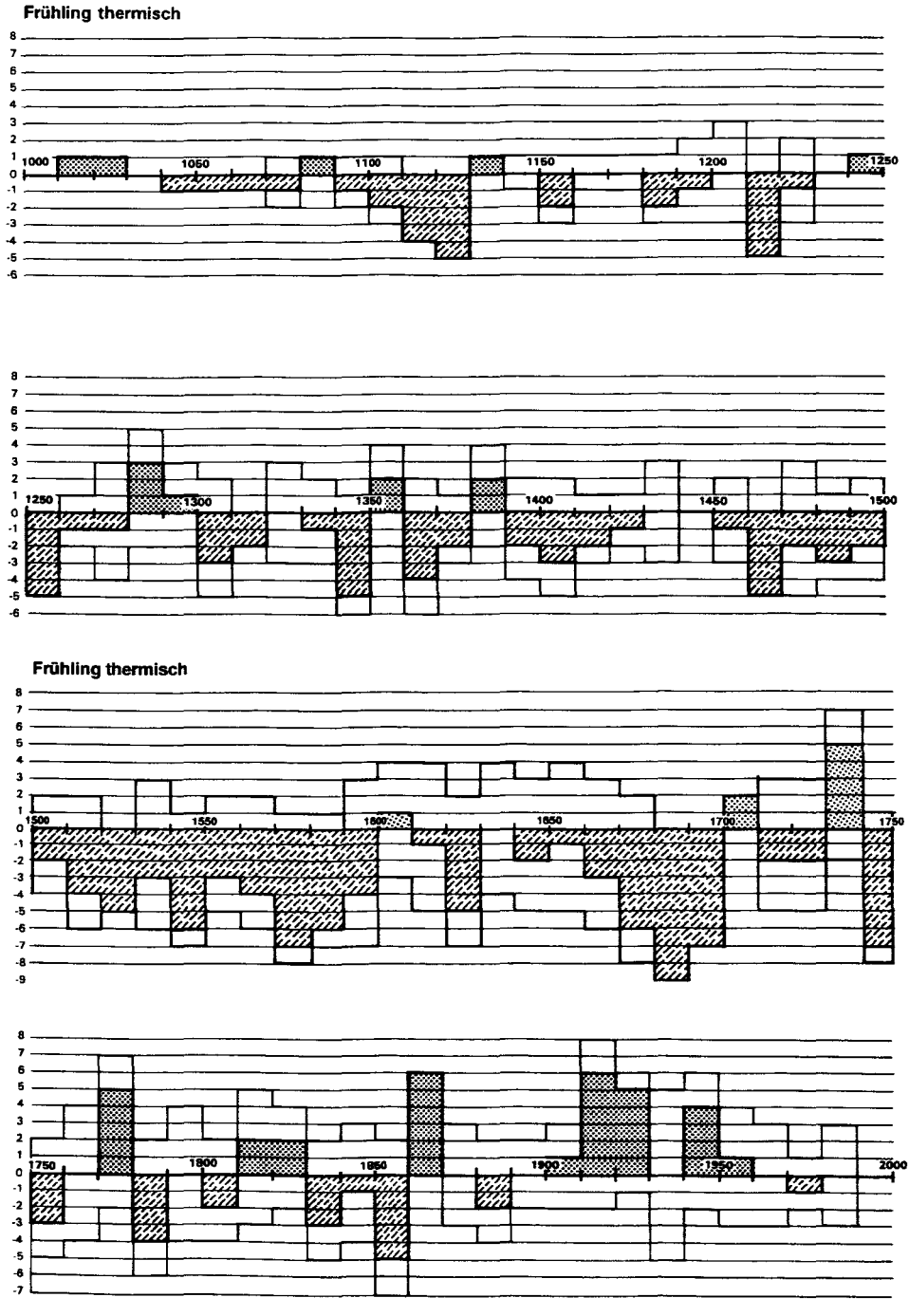

Abb. 1: Die thermische Entwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000 (Fortsetzung)

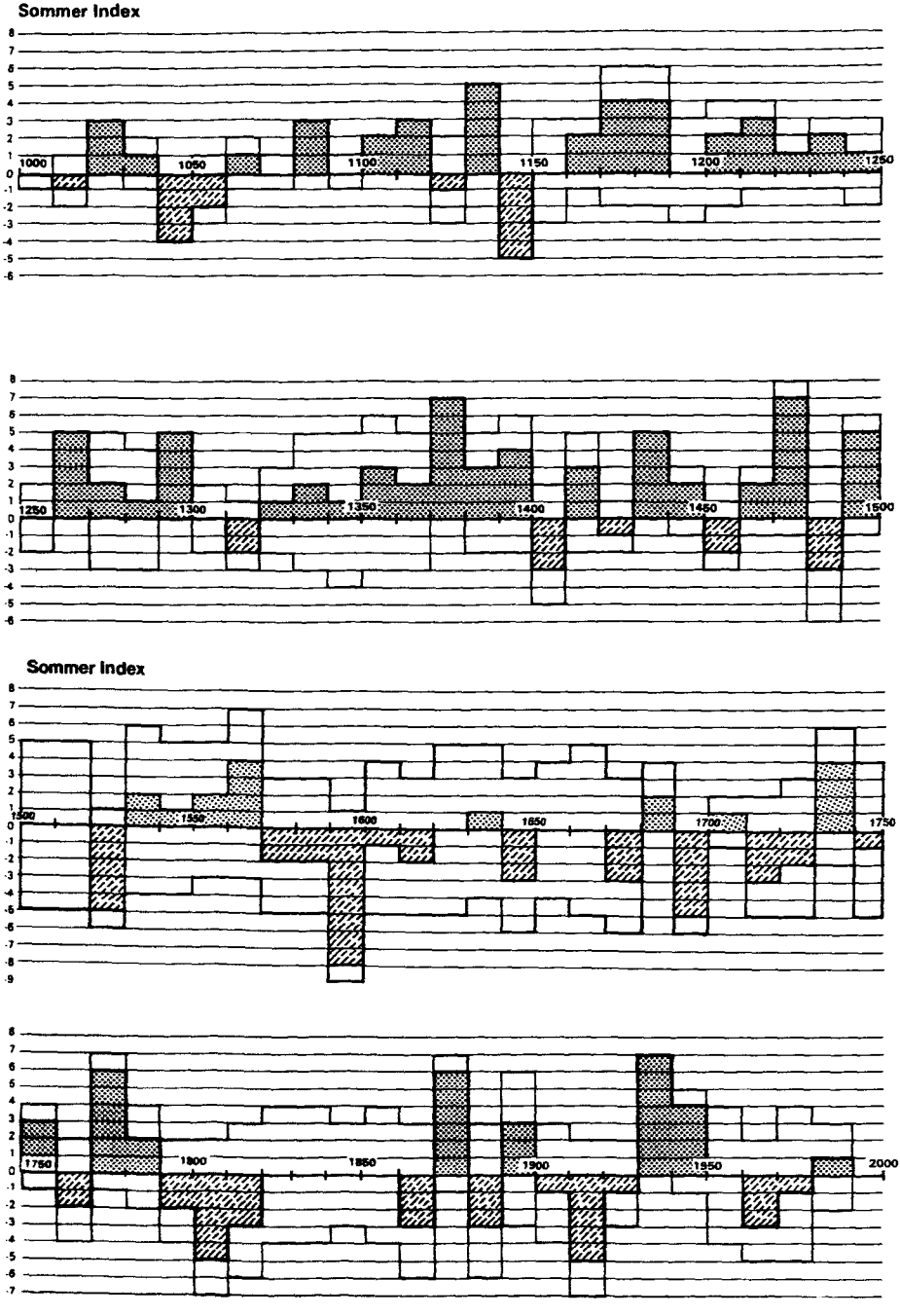

Abb. 1: Die thermische Entwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000 (Fortsetzung)

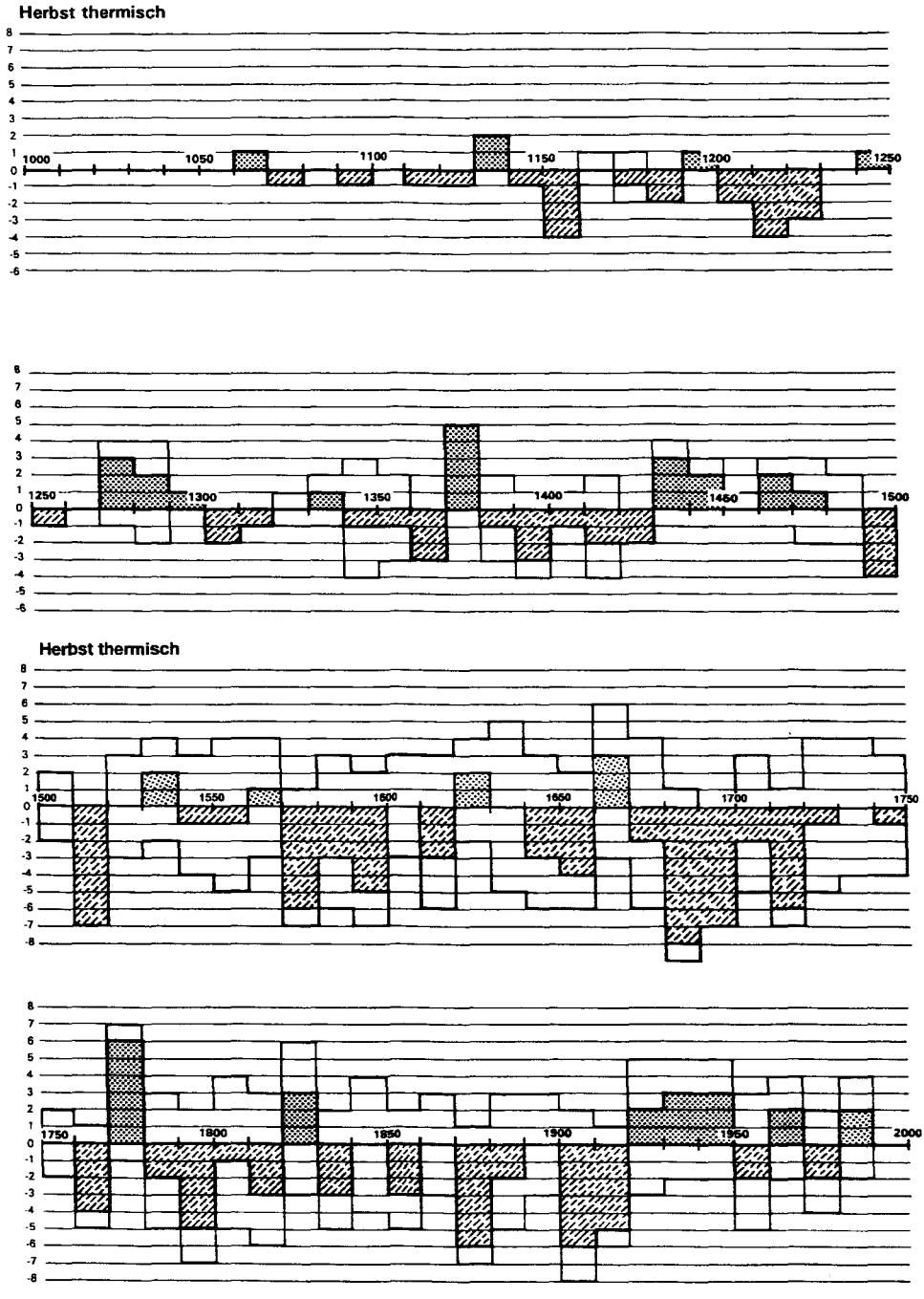

Abb. 1: Die thermische Entwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000 (Fortsetzung)

3.1.1. Kalibrierung der Dezennienindexwerte im Zeitraum 1000 bis 1500

Es gehört zu den immer wieder formulierten Forderungen an die Historische Klimatologie, nicht nur relative Datenbezüge, sondern auch absolute Quantifizierungen durchzuführen. Diesem Anspruch wird im vorliegenden Fall Rechnung getragen. Obwohl die Dezennienindizes keine metrisch skalierten Daten im eigentlichen Sinn darstellen, wurde eine Kalibrierung über die Regressionsmethode durchgeführt. Zum einen basieren die Indizes auf gleichabständigen Werteintervallen, die als Temperaturstufen angesehen werden können, zum anderen wurde der in dieser Auflösung potentiell mögliche Wertebereich von -10 bis +10 für hinreichend differenziert erachtet, um dieses Verfahren anzuwenden. Zudem entspricht die Verteilungsfunktion dieser Werte weitgehend einer Normalverteilung und erfüllt damit eine weitere wichtige Grundvorraussetzung der Regressionsanalyse.

Grundlage der Berechnungen bildeten die Dezennientemperaturmittel der Station Würzburg und die entsprechenden Dezennienwerte der Indexreihen im Zeitraum 1804-1980. Alle Berechnungen ergaben einen hochsignifikanten Zusammenhang ($p<0.01$), wobei folgende Gleichungen für die Temperaturindizes abgeleitet werden konnten:

Wintertemp. [°C]= 0.22 + 0.19 * (Dezennienwinterindex), Standardfehler 0.09 bzw 0.03; $r=0.84$, ($p<0.01$)

Sommertemp. [°C]= 17.51 + 0.08 * (Dezenniensommerindex), Standardfehler 0.05 bzw 0.01; $r=0.83$, ($p<0.01$)

Die Temperaturwerte bzw. ihre Abweichungen für die Indexklassen auf Dezennienbasis sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tab. 1: Dezennienindexwerte und Temperaturabweichungen in °C bezogen auf die Station Würzburg

Index	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Winter	1.90	1.71	1.52	1.33	1.14	0.95	0.76	0.57	0.38	0.19	0
Sommer	0.80	0.72	0.64	0.56	0.48	0.40	0.32	0.24	0.16	0.08	0

Index	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
Winter	-0.19	0.38	-0.57	-0.76	-0.95	-1.14	-1.33	-1.52	-1.71	-1.90
Sommer	0.08	-0.16	-0.24	-0.32	-0.40	-0.48	-0.56	-0.64	-0.72	-0.80

Temperaturabweichung in °C. Die einfache Standardabweichung liegt bei Index +/-6.

3.2. Die Ableitung von gewichteten monatlichen Indizes

Die sehr gute Datendichte und Differenzierung der schriftlichen Quellen ab 1500 ermöglicht es, gewichtete Indizes auf monatlicher Basis abzuleiten, wobei der Wertebereich zwischen -3 und +3 liegt. Die monatlichen Indizes wurden anschließend in saisonale Werte umgerechnet. Diese waren Gegenstand der weiteren Bearbeitung.

3.2.1. Kalibrierung der Zeitreihe ab 1500

Die Kalibrierung dieser Zeitreihen erfolgte nach dem Prinzip des Aktualismus durch die Umsetzung von kalibrierten Instrumentenmeßdaten verschiedener europäischer Temperaturzeitreihen (Tab.2). Dabei wurden nach Möglichkeit die Stationen (Augsburg, Erfurt, Frankfurt/M., Nürnberg, Würzburg) verwendet, deren räumliche Verteilung in etwa dem Raummuster der historischen Quellen entsprach. Um auch die Jahre 1716-1780 zu erfassen, mußten ergänzend außerhalb dieser Region liegende Stationen herangezogen werden, die aber mit den genannten Stationen hoch korreliert sind, so daß die Ableitung der Indexreihe auch für diesen Zeitraum vertretbar ist.

Zunächst wurden die stationsweise monatlich standardisierten Temperaturdaten in monatliche Indexreihen umgesetzt, dabei wurde die halbe Standardabweichung als Schrittweite für die Abgrenzung der Indexklassen verwendet. Wie frühere Arbeiten zeigen (GLASER 1996) kommt diese Einteilung dem historischen Klimaempfinden, das sich in den Klimaquellen widerspiegelt, am nächsten. Die saisonalen und jährlichen Indexreihen wurden durch Mittelung der entsprechenden monatlichen Indizes berechnet. In einem weiteren Schritt wurden aus den Stations-Indexreihen regionale Indexreihen für die Jahre 1716-1995 berechnet.

Tab. 2: Temperaturreihen für die Verlängerung der Indexreihe von 1716-1995.

Nr.	Stationsname	Zeitraum
1	De Bilt	1706 - 1993
2	Berlin - Tempelhof	1728 - 1995
3	Genf	1753 - 1990
4	Basel	1755 - 1994
5	Frankfurt/Main	1757 - 1995
6	Erfurt	1781 - 1995
7	München	1781 - 1995
8	Würzburg	1781 - 1995
9	Augsburg	1813 - 1995
10	Nürnberg	1830 - 1995

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte die absolute Kalibrierung mit Hilfe linearer Regressionen. Dabei stellt die jeweilige Indexreihe die unabhängige Variable (Prädiktor) und die entsprechende Zeitreihe der absoluten Temperaturwerte, in diesem Fall die aus den Stationsreihen Augsburg, Erfurt, Frankfurt/M., Nürnberg und Würzburg gemittelte regionale Temperaturreihe, die abhängige Variable (Prädiktand) dar.

Die Erstellung der Regressionsmodelle wurde für den Zeitraum 1951-1980 (Kalibrierungsperiode) durchgeführt, die resultierenden Parameter der linearen Regressionsmodelle sind in Tabelle 3 aufgelistet. Anschließend erfolgte die Überprüfung der Modellgüte in der sogenannten Verifikationsperiode (1921-1950). Aus Abbildung 2 und Tabelle 4 wird deutlich, daß die Regressionsmodelle die beobachteten Temperaturen in sehr guter Näherung reproduzieren, dabei ist gegenüber dem Kalibrierungszeitraum teilweise sogar eine Erhöhung des Anteils der erklärten Varianz (r^2) festzustellen. Die beste Übereinstimmung zwischen beobachteten und rekonstruierten Daten wird im Herbst erreicht, nur unwesentlich schlechter sind die Ergebnisse in den anderen Jahreszeiten. Aber auch für die Reihe der Jahresmitteltemperaturen, mit dem niedrigsten Bestimmtheitsmaß, zeigt der visuelle Vergleich von Original und Modell ein hohes Maß an Ähnlichkeit der beiden Zeitreihen. Dieses Ergebnis bestätigt die Eignung des gewählten Modellansatzes der linearen Regression für die absolute Kalibrierung indizierter Klimadaten.

Aus der Übertragung der Regressionsmodelle auf die saisonalen und die jährliche Indexreihe des Zeitraums 1500-1995 resultieren schließlich die in Abbildung 3 dargestellten Temperaturreihen, die für den gesamten Zeitraum seit 1500 einen Überblick über die thermische Variabilität in Mitteleuropa geben.

Tab. 3: Statistische Parameter der linearen Regressionsmodelle (y=a+bx) im Kalibrierungszeitraum 1951-1980.

Parameter	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr
R	0.96	0.98	0.98	0.98	0.95
r^2	0.92	0.95	0.97	0.96	0.90
A	-0.047	8.528	17.710	8.760	8.730
B	1.956	1.247	1.080	1.146	1.475

Tab. 4: Bestimmtheitsmaße der linearen Regressionsmodelle im Verifikationszeitraum 1921-1950.

Parameter	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr
r^2	0.95	0.95	0.93	0.97	0.85

Die Übertragbarkeit der in diesem Jahrhundert erstellten und getesteten Regressionsmodelle auf die Indexdaten von 1500-1715 hängt im wesentlichen davon ab, inwieweit der Informationsgehalt nachträglich indizierter instrumenteller Meßdaten mit dem historischer Indexreihen vergleichbar ist. Für die Jahre 1706-1715 ist ein direkter Vergleich der Indexreihe 1500-1715 mit der indizierten Temperaturreihe von De Bilt möglich. Bei einer generellen Übereinstimmung der Vorzeichen der Indizes fallen Unterschiede bezüglich des Ausmaßes negativer und positiver thermischer Anomalien auf. Diese sind zum einen auf die unterschiedliche Datengrundlage zurückzuführen - deskriptive Klimadaten, Proxydaten für die Indexreihe von 1500-1715 bzw. Instrumentendaten für die Indexreihe ab 1706 - zum anderen repräsentiert die Station De Bilt eine thermische Region, die mit dem durch die Indexdaten repräsentierten Gebiet nur bedingt vergleichbar ist, mit der Ausweitung des Stationsnetzes in den Folgejahren (ab 1781 8 Stationen) dürfte dieser Effekt allerdings weitestgehend ausgeschaltet sein.

Von Bedeutung ist auch die Frage nach der Homogenität der, auf Instrumentendaten beruhenden, Indexreihe für die Jahre 1716-1995. Für den Zeitraum ab 1780 erfolgte im Rahmen des EU-Projektes ADVICE eine Homogenitätsprüfung sowie eine Homogenisierung der in dieser Arbeit verwendeten Temperaturzeitreihen (JACOBEIT et al. 1998), so daß für diese Periode das Vorhandensein nichtklimatischer Variabilität in den Temperaturreihen nahezu ausgeschlossen werden kann. Für die Jahre vor 1780 ist aufgrund des räumlich sehr lückenhaften Stationsnetzes eine zuverlässige Homogenitätsprüfung nicht möglich, zwischen 1715 und 1779 ist also möglicherweise ein Teil der Zeitreihenvarianz auf nichtklimatische Einflüsse zurückzuführen (Meßfehler, Stationsverlegungen o.ä.). Schließlich müssen die Jahre, in denen eine Veränderung der Datengrundlage eintritt (1715/16, 1779/80), als potentielle Sprungstellen beachtet werden. Diese möglichen Inhomogenitäten sind bei der Interpretation der hier vorgestellten Temperaturzeitreihen für den Zeitraum 1500-1995 zu berücksichtigen.

4. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt aufgrund der methodischen Bearbeitung in zwei Hauptteilen. Zunächst wird der weniger gut belegte Bereich zwischen 1000 und 1500 vorgestellt. Anschließend erfolgt die Interpretation der Zeitreihen ab 1500.

4.1. Die Temperaturverhältnisse seit dem Jahr 1000 im Spiegel der Dezennienindexwerte

Saisonale Angaben stellen für den Zeitraum zwischen 1000 und 1500 das Gros der Quellen dar. In den Abschnitten 1000 bis 1099 sind rund 35% der Jahre belegt, zwischen 1100 und 1299 ca. 85%, 1300-1499 90%. In den abgebildeten Zeitreihen (Abb.2) wurden - bezogen auf das jeweilige Dezennium - die als eindeutig warm oder heiß ausgewiesenen Jahreszeiten den als kühl oder kalt beschriebenen gegenübergestellt. Im folgenden soll die Klimaentwicklung nach dem mittleren Gang, dem mittelfristigen Verlauf vorgestellt werden.

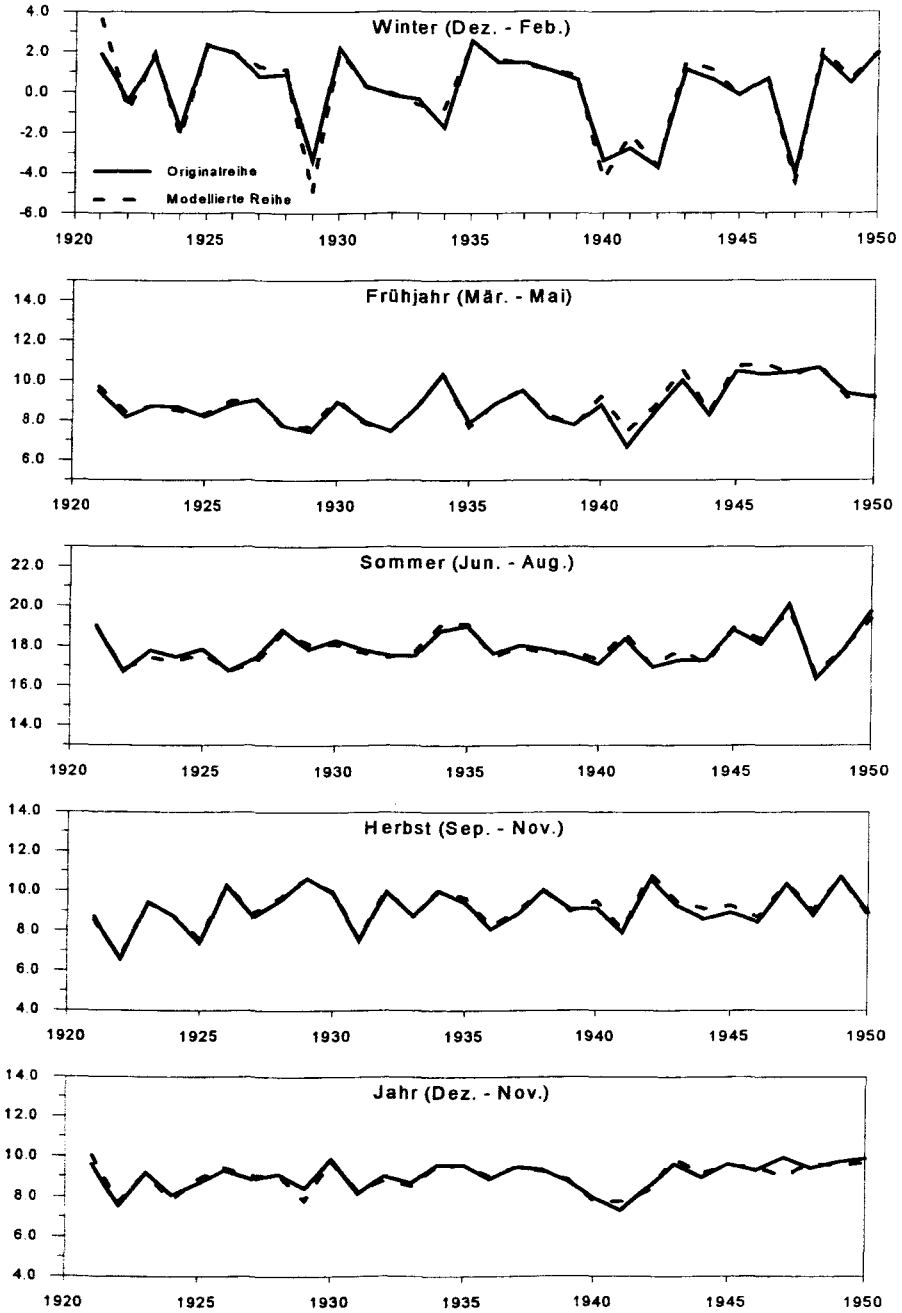

Abb. 2: Vergleich zwischen gemessenen und rekonstruierten Temperaturen 1920 bis 1950

4.1.1. Zum Verlauf der Wintertemperaturen

In der Zusammenschau aller Winterindizes ergibt sich ein Übergewicht negativer Dekadenbelegungen der Wintertemperaturen. Dieser Befund, der auch in einem Mittelwert über den gesamten Beobachtungszeitraum von -1.4°C zum Ausdruck kommt, kann dahingehend interpretiert werden, daß auch durchschnittliche Winter ihrer Grundprägung nach als kalt empfunden wurden, woraus in den Dekadenwerten ein Übergewicht kalter Winter resultiert. Diese Tendenz entspricht der Entwicklung zwischen dem 8. und 11. Jahrhundert.

Die Witterungsverhältnisse im Winter können für das 11. Jahrhundert, ähnlich dem Gang der Sommerwitterung, nur recht unvollständig rekonstruiert werden. Interessanterweise zeigen die wenigen vorhandenen Aufzeichnungen zu den Wintern in diesem Abschnitt nur negative, d.h. deutlich kalte Winterverhältnisse an. Da im gleichen Zeitabschnitt fast nur warme und heiße Sommer überliefert sind, könnte man daraus eine stärkere kontinentale Prägung ableiten. Insgesamt betrachtet verliefen die Winterbilanzen im gesamten 11. Jahrhundert leicht unterdurchschnittlich bis durchschnittlich. Als auffälligstes Ereignis auf dieser Maßstabsebene kann der Wintereinbruch zwischen 1071 und 1080 hervorgehoben werden. Auffällig ist zunächst die als übergeordneter negativer Trend auszumachende längere Abkühlung mit einem ersten absoluten Minimum in den 1120ern, während die beiden vorausgegangenen Jahrzehnte auf einem eher durchschnittlichen Temperaturniveau lagen, wenn man den Mittelwert der Indexwerte selbst zugrunde legt. In den folgenden Jahrzehnten besserten sich die Winterverhältnisse wieder. Nach einem zweiten säkularen Minimum im Dezennium 1171-80 erfolgte ein eklatanter Umschwung zu einem deutlichen Übergewicht milder Winter. Die milde Phase dauerte zwei Jahrzehnte über an, so daß neben dem starken Kontrast zur vorangegangenen Zeit und der absoluten Höhe auch die Dauer als besondere Kennzeichen in diesem Abschnitt gelten können. Dem Absolutbetrag nach handelt es sich 1181-1190 um eine der wärmsten Winterdekaden überhaupt. Aus der Analyse von Einzeljahren ist ersichtlich, daß mildere Winter oft mit kühleren Sommern wie 1141 oder 1157 korrespondieren. Diese Jahre und entsprechend geprägte mittelfristige Abschnitte können als Phasen stärkerer zonaler Prägung interpretiert werden, während das gleichzeitige Auftreten heißer Sommer und kalter Winter für eine meridionale Steuerung sprechen.

Noch im Winteroptimum deutete sich ein negativer Trend an, der ab 1200 zunächst noch eine ausgeglichene Bilanz aufweist, in den folgenden Jahrzehnten dann aber unterdurchschnittlich verlief. Erst in den 1230ern wurde dieser Negativtrend von einem Dezennium mit ausgeglichener Winterbilanz abgelöst. In den folgenden Jahrzehnten pendelten die Indexwerte vergleichsweise schwach um die Nullinie, was für eher ausgeglichene und stabile Winterverhältnisse spricht, wobei immer wieder Jahrzehnte mit positiven Abweichungen auftraten. Das Jahrzehnt 1281 bis 1290 war dann wieder für über 50 Jahre das letzte mit einem leichten Übergewicht milder Winter! Die Winterbilanzen der nächsten Jahrzehnte verschlechterten sich von Dezennium zu Dezennium über den Jahrhundertwechsel hinweg, um zwischen 1311 und 1320 ein relatives Minimum zu erreichen. Da-

nach blieben die Indexwerte weit unter dem Durchschnitt; diese Kaltphase hielt längere Zeit an und sollte nur zwischen 1341 und 1350 von einer kurzen Milderung unterbrochen werden, um anschließend erneut über längere Zeit auf einem negativen Niveau zu verharren. Gleichwohl schalteten sich ab 1350 aber wieder vermehrt milde Winter ein, so daß die negativen Abweichungen in den 1370ern und 1380ern wieder geringer ausfallen und in der Temperaturprägung - ähnlich den als ausgeglichen ausgewiesenen Abschnitten in den vorausgegangenen Jahrhunderten - als durchschnittlich eingestuft werden können. In der jährlichen Auflösung ergaben sich in diesem Abschnitt auch Folgen milder Winter, beispielsweise in der ersten Hälfte des Dezenniums von 1380. Es ist interessant, daß in dieser Phase, die in manchen Literaturstellen als eine der markanten Erwärmungsphasen des Mittelalterlichen Wärmeoptimums angesprochen wird, aus den Wintertemperaturen Verhältnisse gefolgert werden können, wie wir sie später in der Kleinen Eiszeit wieder sehen werden. In der zweiten Hälfte der 1380er und in den 1390er Jahren setzte dann allerdings eine Periode überwiegend kalter Winter ein, die zusammen mit der Sommerwitterungsverschlechterung als kleiner Vorbote der Kleinen Eiszeit gesehen werden kann. Andere Autoren sehen in diesem Abschnitt bereits den Auftakt der Kleinen Eiszeit. Da die Rekonstruktionen für diesen Abschnitt aus Dendrodaten abgeleitet wurden und Eichen grundsätzlich auf Winterkälte reagieren, ist dieser Befund gerechtfertigt. Aus Sicht der Winterverhältnisse kann wahrlich nicht von einem Mittelalterlichen Wärmeoptimum gesprochen werden, denn die absoluten Winterpessima in der zweiten Hälfte des 14. Jahrhunderts lagen zwischen 1361 und 1370 sowie 1391 und 1400. Nach dem Jahrhundertwechsel setzte sich erstmalig nach langer Zeit wieder eine Phase milder Winter durch, besonders in den 1400ern und 1420ern. Danach fällt die Bilanz wieder deutlich negativ aus und erreicht in den 1430ern ein absolutes Minimum, wie es zuvor selten erreicht wurde. Mit diesem Einbruch bleibt die Winterbilanz wieder für lange Zeit negativ. Diese lange und deutlich winterkalte Phase wird erst in den 1470ern von einem einzigen Jahrzehnt positiver Abweichung abgelöst, um anschließend, erneut einem negativen Trend folgend, unterdurchschnittliche Werte aufzuweisen. Die leicht unterdurchschnittliche Belegung hält über die Jahrhundertwende hinweg bis in die 1520er Jahre an, ein Jahrzehnt, in dem erneut ein Einbruch der Winterverhältnisse erfolgt.

4.1.2. Zum Verlauf der Frühlingstemperaturen

Ein erster Überblick über die Dezennienwerte der Frühlingsverhältnisse läßt zunächst ähnliche Grundtendenzen erkennen, wie sie für die anderen Jahreszeiten zu konstatieren sind. Neben den längerfristigen Trends gab es mittel- und kurzfristige Schwankungen mit regelrechten Umschlägen sowie extreme Abweichungen zur positiven wie auch zur negativen Seite. Die stärkere Belegung kühler und kalter Jahre äußerst sich in einem Mittelwert, der mit -1.2°C ähnlich stark abweicht wie der Winterwert. Kühle und kalte Frühjahre waren häufiger oder wurden zumindest öfter von den Chronisten erwähnt. Die Quellenhinweise machen deutlich, daß der Grundcharakter eines Frühlings in nicht wenigen Fällen vom Witterungsverlauf des März bestimmt wurde. War er zu kühl oder hatte dieser - was recht oft geschah - noch den Charakter eines Wintermonats, dann wurde dieser Umstand als „spätes Jahr“ beschrieben, auch wenn sich die beiden folgenden Frühlingsmonate

durchschnittlich verhielten. Ähnlich haben die häufigen Kaltlufteinbrüche im April, vor allem aber auch im Mai zur negativen Belegung von Frühjahren beigetragen.

Die ersten Jahrzehnte sollten aufgrund der zu geringen Belegung nicht weiter interpretiert werden. Mit dem Übergang zum 12. Jahrhundert zeichnete sich ein negativer Trend ab, der auch bei Berücksichtigung einer unvollständigen Quellenlage zumindest als auffällig beschrieben werden muß. Dieser Negativtrend hielt bis 1130 an und wurde durch einen raschen Umschlag abgelöst, der wiederum zu einem Abschnitt durchschnittlicher Verhältnisse überleitete. Ab 1180 setzte, von einem unterdurchschnittlichen Niveau ausgehend, ein längerer Positivtrend ein, der im Dezennium 1211-1220 von einer markanten Verschlechterung der Frühlingstemperaturen abgelöst wurde. Nach diesem Einbruch stabilisierten sich die Frühlingstemperaturen wieder; sie verliefen fortan mehr oder weniger durchschnittlich, um zwischen 1251 und 1260 erneut ein Pessimum aufzuweisen. Die beiden folgenden Jahrzehnte waren unauffällig. Danach änderte sich das Temperaturgefüge aber grundsätzlich, so wichen 1281-1290 die Frühlingsverhältnisse deutlich vom sonst üblichen Wertebereich ab. Die warmen Verhältnisse dauerten schließlich, wenn auch auf einem verhalteneren Niveau, noch das nächste Jahrzehnt über an. Mit dem Übergang zum neuen Jahrhundert sanken die Frühlingsbilanzen wieder ab, blieben die darauffolgenden drei Jahrzehnte aber alles in allem durchschnittlich. Eine deutliche negative Abweichung zeigte sich erst wieder zwischen 1341 und 1350, die aber schon im nächsten Dezennium von einer warmen Frühlingsphase abgelöst wurde. Nicht zuletzt wegen des bereits im nächsten Jahrzehnt erfolgten erneuten Einbruchs kann man von einer stärkeren Akzentuierung in den Frühlingsverhältnissen ausgehen. In abgeschwächter Form gilt dies auch noch für die nächsten Jahrzehnte. Insgesamt verschlechterten sich die Verhältnisse ab 1400 dahingehend, daß bis 1500 keine positiven Frühlingsbilanzen mehr auftraten. Bis auf wenige Ausnahmen waren die Verhältnisse durchschnittlich und unauffällig. Nur wenige Jahrzehnte, wie das Dezennium 1441-1450 und 1461-70, waren deutlich negativ geprägt.

4.1.3. Zum Verlauf der Sommertemperaturen

Aussagen zum allgemeinen Gang der Sommerwitterung basieren im gesamten 11. Jahrhundert nur auf vergleichsweise wenigen Daten. Interessanterweise zeigen die wenigen überlieferten Angaben bereits die wesentlichen Gründzüge aller nachfolgenden Perioden auf: Das Klima war mittelfristigen Schwankungen nach beiden Seiten unterworfen, zudem traten größere und abrupte Umschichtungen beziehungsweise Sprünge auf, die auf die Zeitgenossen und ihre Lebensumstände nicht ohne Auswirkungen geblieben sein können. Es wäre vermessen, aus diesen spärlichen Angaben weitreichende Schlüsse zu ziehen. Die Dominanz positiver Abweichung legt aber die Vermutung nahe, daß es sich um eine, eher von überdurchschnittlichen Sommerverhältnissen geprägte Phase handelte, wobei zwischen 1020 und 1040 sowie 1080-1090 positive und zwischen 1010 und 1020 sowie 1040-1060 negative Abweichungen auftraten. Günstiger gestaltet sich die Quellenlage bereits für das nächste Jahrhundert: Die Belegung hat deutlich zugenommen und das Muster der positiven wie auch negativen Abweichungen läßt einen akzentuierteren Gang erkennen; insbeson-

dere nahm die Schwankungsbreite zu. Auffällig sind in diesem Jahrhundert, neben einem jährlichen Auf und Ab die bis zum Ende des Jahrhunderts kontinuierlich zunehmende Häufung warmer und heißer Sommer, die in den Dezennienwerten als positiver Trend in Erscheinung tritt. Unterbrochen wird dieser Anstieg nur in den 1120ern und 1140ern von einer deutlichen Temperaturdepression, wobei auch in den 1150ern und zu Ende dieses Jahrhunderts nur der Indexwert „0" erreicht wird. Hervorgehoben werden muß auch der markante Sommerumschlag zwischen dem Dezennium 1131-40 und 1141-50, der völlig gegensätzlich verlief und einen Indexsprung von 10 Wertstufen aufweist. In der jährlichen Auflösung erscheint der positive Temperaturtrend dieses Jahrhunderts besonders deutlich ab 1160. Vor allem mit dem positiven Trend des Zeitraums ab 1160 mit einem ersten absoluten Maximum 1181-1190 kann eine Temperaturentwicklung nachgezeichnet werden, die man als eine Phase des mittelalterlichen Wärmeoptimums kennzeichnen kann. In diesen beiden Jahrzehnten kulminierten die positiven Sommertemperaturabweichungen. Das Übergewicht positiver Abweichungen setzte sich nach diesem ersten länger anhaltenden Maximum mit mehr oder weniger großen Schwankungen über die Jahrhundertwende hinweg fort und hielt auch bis Mitte des 13.Jahrhunderts an, zeigte dabei aber einen leicht negativen Trend, der schließlich in dem durchschnittlichen Indexwert für das Jahrzehnt von 1251-1260 mündet. Danach „erholte" sich die Sommerwitterung wieder und blieb bis 1300 durchweg positiv belegt. Anschließend nimmt die Zahl extremer Dezennienbelegungen für rund drei Jahrzehnte ab, was auf eine stabilere und ausgeglichenere Klimaphase hindeutet. Während in der Gesamtbilanz für 1301 bis 1310 zunächst noch eine ausgewogene Bilanz herrschte, ist für das folgende Jahrzehnt bereits ein Übergewicht kühl-kalter Sommer festzustellen. So folgte eine Phase, in der sich, bei deutlich verbesserter Quellenlage, die Sommerwitterung zunächst auf einem verhaltenen positiven Niveau zeigt, um in den 1350ern und vor allem in den 1370ern ein deutliches Übergewicht zu erreichen. In der jährlichen Auflösung weisen die Positivabweichungen regelrechte Cluster gleichartiger warm-heißer Sommer auf. Ohne Zweifel können wir in dieser Phase eine weitere (zweite) Hauptphase des (spät-) Mittelalterlichen Wärmeoptimums erkennen, die nach den vorliegenden Daten bis 1400 anhielt. Auffällig ist neben der Höhe des Maximums von 1371 bis 1380 auch die Dauer der Positivabweichung. Mit 80 Jahren stellt sie die längste zusammenhängende Positivabweichung der Sommertemperaturen dar. Mit dem Jahrhundertwechsel erfolgte dann aber ein regelrechter Einbruch in der Sommerwitterung, der allerdings nicht so stark war wie der zwischen 1140 und 1150. Etwas pointiert könnte man sagen, daß in diesen beiden Jahrzehnten eine erste markante Sommerdepression eintrat, wie sie uns später in der Kleinen Eiszeit wieder begegnen wird. Die einzelnen Phasen werden von nun an kürzer, langanhaltende und markante Erwärmungen, wie sie für den Zeitraum zuvor so typisch waren, fehlen mit Ausnahme des Zeitraumes 1551-1560 und des modernen Wärmeoptimums völlig. Der Temperaturgang verlief akzentuierter und dynamischer, mit schnelleren Umschlägen als bisher, wobei die Positivabweichungen nach dem Maximum der Wärmephase 1371 bis 1380 wieder von einem negativen Trend geprägt sind, insgesamt den Abläufen zwischen 1100 und 1300 nicht unähnlich. Erst ab 1430 folgen wieder zwei Jahrzehnte mit einer positiven Bilanz, zuvor waren sie von Gegensätzlichkeiten geprägt. Das Jahrzehnt 1451 bis 1460 ist erneut ein Abschnitt mit negativer Prägung. Nach dieser

wechselhaften Abfolge, die sich auf einem deutlich reduzierten Sommerniveau vollzog, stellt sich erst für das Jahrzehnt 1471-1480 wieder eine deutlich positive Entwicklung ein, die in ihrer Intensität an das Niveau von 1371 bis 1380 heranreichte. Aber bereits im nächsten Jahrzehnt erfolgt ein deutlicher Umschlag mit einer Folge unterdurchschnittlich warmer Sommer, ehe sie im nächsten Jahrzehnt wieder von einer Dekade positiver Abweichungen abgelöst wurde. Dieser nachhaltige negative Umschlag kann aus Sicht der Sommertemperaturen als Übergang zur Kleinen Eiszeit interpretiert werden, denn in den folgenden Jahrzehnten bzw. Jahrhunderten stellen sich weit seltener Warmphasen ein als zuvor, das Niveau bleibt phasenweise unterdurchschnittlich, das Gefüge der thermischen Sommerwitterung erscheint in der Zusammenschau geradezu invers. Offenbar hatte in diesem Zeitabschnitt eine grundlegende Umstellung des sommerlichen Temperaturganges stattgefunden.

4.1.4. Zum Verlauf der Herbsttemperaturen

Die Kurvenverläufe machen deutlich, daß die Belegung der Herbstverhältnisse in den ersten beiden Jahrhunderten noch schlechter war als die zu den Frühlingsverhältnissen. Es muß wohl angenommen werden, daß die Jahreszeit, die aus agrarwirtschaftlicher Sicht geringeren Einfluß hatte, auch nur geringes Interesse bei den Chronisten fand. Der Mangel an schriftlichen Zeugnissen zu dieser Jahreszeit konnte auch nur zum Teil durch Proxydaten entsprechender Provenienz ausgeglichen werden. Der Mittelwert der Herbstwerte liegt bei -0.9°C. Ähnlich den Frühjahrsverhältnissen gab es ein verstärktes Interesse an rebschädigenden Kaltlufteinbrüchen, während warme Herbstverhältnisse offensichtlich nicht die gleiche Aufmerksamkeit fanden. Nach einem ersten Abschnitt, der durch „Schweigen" der Chronisten gekennzeichnet war, folgte nach und nach eine Verdichtung von Quelleninformationen, die für weiterreichende Schlüsse aber noch nicht zu gebrauchen sind.

Interpretationsfähige Angaben liegen faktisch erst ab 1150 vor, also später als für die anderen Jahreszeiten. Bei vorsichtiger Einschätzung der vorliegenden Befunde war dieser erste Abschnitt vermutlich von eher kühleren Herbstverhältnissen geprägt, mit einem ersten Minimum 1151-60 und einer längeren Negativabweichung zwischen 1201 und 1230. Die darauffolgenden Jahrzehnte waren unauffällig. Erst nach 1271 verdichtete sich die Quellenlage wieder, wobei die Befunde diesmal auf eine länger anhaltende und drei Jahrzehnte andauernde Warmphase hindeuten. Wenige Quellenbefunde liegen hingegen über die nächsten beiden Jahrzehnte vor. Dies könnte als Ausdruck einer normal empfundenen Witterung interpretiert werden oder aber als Reflex auf die üblichen und zum Teil oben bereits angesprochenen Quellenaspekte. Ab 1340 verbesserten sich die Quellenangaben wieder, wobei sich in den Bilanzen ein leicht negativer Trend abzeichnet, der dem Absolutbetrag nach aber auf einem verhaltenen Niveau angesiedelt ist. Erst im Dezennium 1371-80 kommt es zu einem Umschlag auf ein auffällig hohes Temperaturniveau, das aber bereits in den nächsten beiden Jahrzehnten negative Werte annimmt. Die Folgezeit ist von eher unaufälligen, meist leicht negativen Bilanzen und, folgt man einer engen Interpretation, auch eher stabilen Klimaphase geprägt. Erst ab 1430 änderte sich diese Grundtendenz wieder. Die folgenden Jahrzehnte weisen entweder posi-

tive oder durchschnittliche Werte auf, so daß man insgesamt von einer relativen Gunstphase sprechen kann. Erst im letzten Jahrzehnt des 15. Jahrhunderts fielen die Temperaturwerte wieder deutlicher ins Negative.

4.2. Zur klimatischen Entwicklung seit der Frühen Neuzeit

Auch wenn im vorliegenden Beitrag die Klimaentwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1500 durch die weit besser aufgelösten monatlichen gewichteten Indizes dargestellt werden kann, wurden die Zeitreihen auf der Basis von Dezennienindexwerten bis in die Moderne weitergeführt, um so eine Bezugnahme zu den heutigen Klimazuständen zu ermöglichen. Folgende Entwicklungen können herausgestellt werden:

Die Wintertemperaturen verliefen im 16. Jahrhundert ähnlich denen im 15. Jahrhundert: Bei insgesamt unterdurchschnittlichen Verhältnissen waren die Winter etwas milder als beispielsweise im 12.Jahrhundert, aber deutlich kühler als im 20. Jahrhundert. Einzelne kühlere Phasen wie 1561 bis 1620 oder 1651 bis 1730 sowie 1741 bis 1850 prägen die Hauptphasen der Kleinen Eiszeit, die nach den vorliegenden Befunden auf den Zeitraum 1560 bis 1770 und 1830 bis 1920 festgelegt werden kann und im Alpenraum zu Gletschervorstößen führte. Die winterliche Erwärmung in diesem Jahrhundert ist das bemerkenswerteste Ereignis der letzten 1000 Jahre. Die Prägung der Frühlingstemperaturen war im 16. und 17. Jahrhundert ebenfalls deutlich unterdurchschnittlich und trug ganz wesentlich zur kalten Prägung der Kleinen Eiszeit bei. Erst Mitte des 18. Jahrhunderts besserten sich die Verhältnisse wieder. Die hohen Temperaturen zu Anfang des 20. Jahrhunderts, die sich zu Mitte unseres Jahrhunderts aber bereits wieder deutlich abschwächten, können ebenfalls als bemerkenswert eingestuft werden. Die Sommerverhältnisse verliefen ab 1500 deutlich kühler als in dem Zeitraum zuvor. In der Grundprägung sind sie den heutigen Verhältnissen sehr ähnlich. Markante und längere Warmphasen traten 1531 bis 1570 oder um 1640 herum und zwischen 1771-1790 auf. Einzelne markante Abkühlungsphasen wie die von 1571 bis 1591, oder 1690 bis 1700 und 1711 bis 1730 unterstreichen den Charakter der Kleinen Eiszeit. Auch die Herbsttemperaturen lagen seit 1500 weitgehend unter dem Durchschnitt. Nach einer wärmeren Phase, die bis ca. 1570 andauerte, fielen die Herbsttemperaturen und erreichten zwischen 1571 bis 1600, vor allem aber zwischen 1671 und 1720 ausgeprägte Minima. In nur wenigen Abschnitten wurden überdurchschnittliche Werte erreicht, so etwa 1621-30 und 1661-1670. Die längste wärmere Phase erlebten wir im 20. Jahrhundert. Die typische, von antizyklonalen Wetterlagen geprägte Herbstwitterung ist aus der Sicht der letzten 500 Jahre ebenfalls eine neue und einzigartige Erscheinung.

Insgesamt gesehen waren die letzten 500 Jahre bis auf die Klimaentwicklung des 20. Jahrhunderts stark von kühlen Phasen geprägt. Dies betraf vor allem die Übergangsjahreszeiten. Der Temperaturkontrast der Winter- zu den Sommertemperaturen war weniger stark ausgebildet als zwischen 1000 und 1450. Dies war v.a. durch eine Abkühlung im Sommer und in einem nur geringeren Maße durch die moderatere Ausprägung der Winter gegeben. Offensichtlich gab es - soweit es sich nicht

um Quellenartefakte handelt - eine zirkulationsdynamische Änderung dergestalt, daß sich eine atlantischere bzw. zonalere Prägung durchsetzte.

4.3. Die Klimaverhältnisse ab 1500

In einer weiteren Bearbeitung wurden saisonale Zeitreihen (Abb.3) ab 1500 auf der Grundlage gewichteter monatlicher Indizes gebildet.

In dieser Darstellung kann vor allem aus dem durch den Gauß'schen Tiefpaßfilter hervorgehobenen mittelfristigen Verlauf auf nachhaltige Klimaveränderungen seit 1500 geschlossen werden. Als Bewertungsebene dient die Mitteltemperatur 1951-80. Danach waren die Winterverhältnisse, die sich insgesamt durch eine hohe Variabilität auszeichneten, überwiegend kühler als in diesem Jahrhundert, aber nicht ganz so kalt, wie in der Phase 1000 bis 1450. In ihrer Gesamtheit lassen die Wintertemperaturen sehr deutlich die Phasen der „Kleinen Eiszeit" erkennen, die zwischen 1560 und 1860 anzusetzen ist. Längere Erwärmungsphasen sind - von wenigen Ausnahmen abgesehen - erst in diesem Jahrhundert zu konstatieren.

Die Frühlingsverhältnisse waren ebenfalls deutlich kühler ausgefallen als in diesem Jahrhundert. Eine Ausnahme bildet hierbei die vergleichsweise starke und lang andauernde Erwärmung zwischen 1760 und 1830. Die Analyse der Sommerverhältnisse macht deutlich, daß für den Zeitraum ab 1500 mit wenigen Ausnahmen keine wesentlichen Unterschiede zu dem heutigen Geschehen im 20. Jahrhundert vorhanden waren. Sie waren allerdings deutlich kühler als im Zeitraum vor 1450. Ganz anders sind die Herbstverhältnisse zu werten: Sie fallen bis auf den Zeitraum zwischen 1770 und 1820 deutlich kühler aus als im Vergleichszeitraum 1951-80. Offenbar ist die stark von Hochdrucklagen bestimmte „typische" Herbstwitterung eine Erscheinung, die sich erst in diesem Jahrhundert verstärkt herausbildete. In der Gesamtheit waren es die Winterverhältnisse und die Entwicklungen der Übergangsjahreszeiten, die das Klimageschehen ab 1500 so anders prägten. Dies kommt auch in der Jahreskurve zum Ausdruck. Bestimmend ist die wärmere Phase von 1500 bis 1540, gefolgt von einer kühleren Periode der „Kleinen Eiszeit", die bis 1780 andauerte, dann von einer wärmeren Phase abgelöst wurde, um nochmals zwischen 1830 und 1860 und dann wieder zwischen 1870 und 1920 eine deutliche Abkühlung zu erfahren.

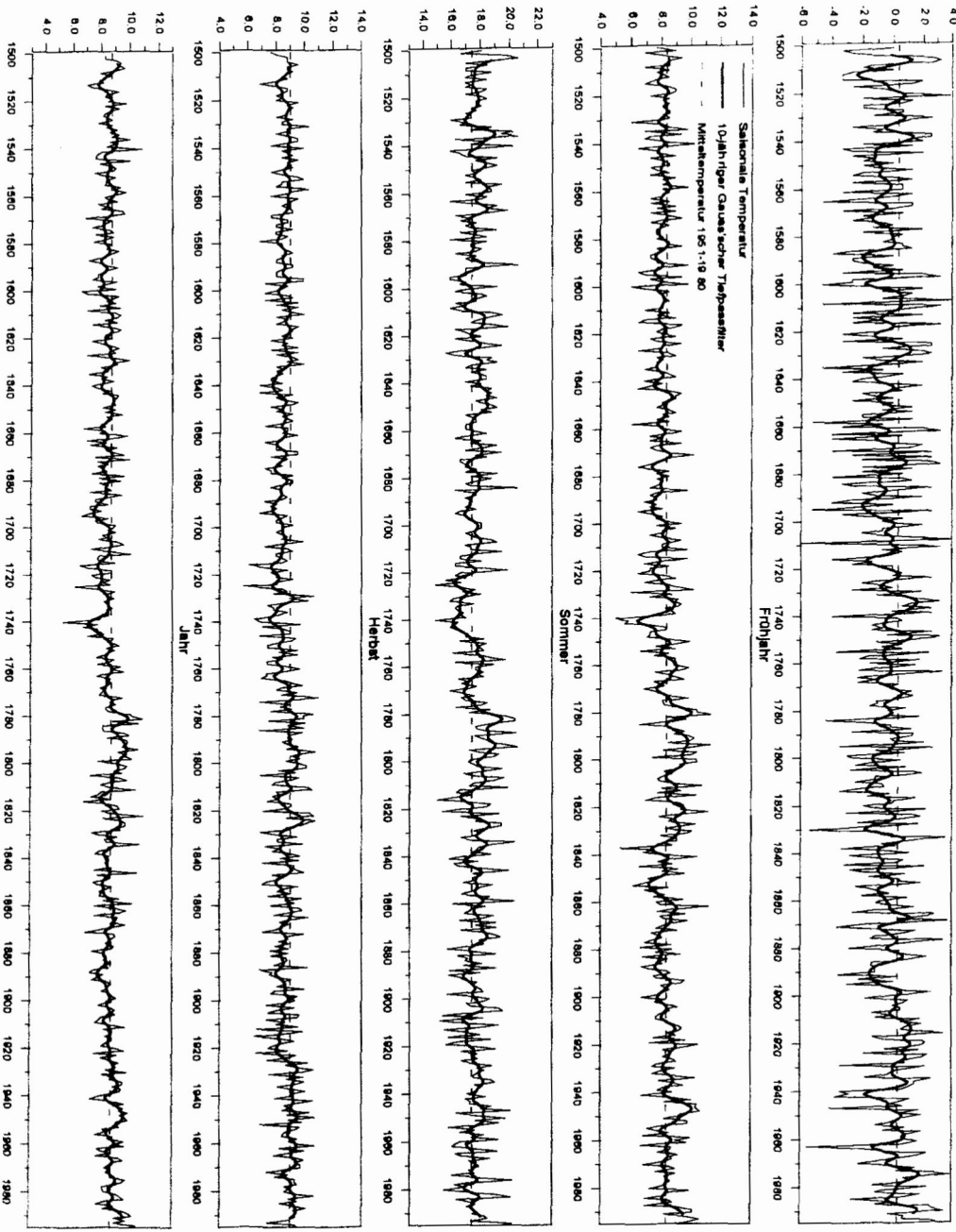

Abb. 3: Saisonale Temperaturentwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1500

4.4. Zusammenschau der Indexinterpretation

Die Auswertung der Indexreihen macht deutlich, daß sich neben dem ständigen Auf und Ab des Witterungsgeschehens mit Phasen deutlich positiver und negativer Abweichungen, die sich zum Teil aus Häufungen, zum Teil aber auch erst aus der Bilanz von Einzeljahren ausgewählter Abschnitte ergeben, durchaus Muster des sogenannten Mittelalterlichen Wärmeoptimums und der Kleinen Eiszeit für Mitteleuropa finden lassen. Diese genannten Abschnitte setzen sich aber in den untersuchten Jahreszeiten oftmals phasenverschoben durch. Hieraus erklärt sich auch, daß viele Autoren, deren Ergebnisse sich nur auf ausgewählte Jahreszeiten beziehen, zu unterschiedlichen Abgrenzungen hinsichtlich dieser Phasen kommen. Das Mittelalterliche Wärmeoptimum ergibt sich beispielsweise primär aus der Sommerwitterung, einige Phasen der Kleinen Eiszeit sind als solche nur aus der Zusammenschau der Sommer- und der Winterverhältnisse zu deuten. Erkennbar sind auch Abschnitte, die von meridionalen bzw. von kontinentaleren Phasen geprägt waren, während andere von zonalen Zirkulationsverhältnissen bestimmt wurden, die zu atlantisch geprägten Klimaverhältnissen führten. Als meridional geprägt werden diejenigen ausgewiesen, die durch einen starken Kontrast zwischen warm-heißen Sommern und kalt-strengen Wintern geprägt sind. Atlantisch geprägte Dezennien weisen sich hingegen durch moderate und milde Winterverhältnisse und eher kühle Sommertemperaturen aus. Es handelt sich dabei um die besonders auffälligen Abschnitte. Bei den anderen Phasen lassen sich keine derart eindeutigen Verhältnisse erkennen, sie werden als Mischtypen angesehen, die ihrerseits ebenfalls interessante Muster ausbilden. Auffällig sind gleich mehrfach auftretende Perioden einer dynamischeren und akzentuierteren Klimaentwicklung mit schnelleren Umschlägen bei insgesamt kürzeren Phasen, deutlich unterscheidbar von den längeranhaltenden und thermisch homogeneren Zeitabschnitten. Als Ursache dieser differierenden, periodenspezifischen thermischen Klimavariabilität sind unterschiedliche Ausprägungen der nordhemisphärischen Zirkulation zu vermuten. Dabei sind sowohl Häufigkeits- und Persistenzunterschiede maßgeblicher Zirkulationstypen als auch zirkulationstypinterne Modifikationen (z.B. veränderte Luftmasseneigenschaften) in Betracht zu ziehen.

Die Ausarbeitungen und Ergebnisse machen deutlich, welch vergleichsweise starken Veränderungen das mitteleuropäische Klimageschehen in den letzten 1000 Jahren unterworfen war. Diese Veränderlichkeit muß in alle Prognosen mit einbezogen werden, stellt sie doch den natürlichen Hintergrund für die diskutierten anthropogenen Veränderungen dar. Dies geschieht in einem noch viel zu geringen Umfang.

Nach den vorgelegten Ausarbeitungen liegen die Wintertemperaturen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auffallend hoch. Eine vergleichbare Phase hat es in den letzten 1000 Jahren nicht gegeben. Andererseits traten in historischer Zeit klimatische und witterungsklimatische Entwicklungen auf, die wir seit Beginn der amtlichen Klimabeobachtung nicht kennen. Diese könnten in genau der gleichen Art und Weise auch heute wieder auftreten.

5. Literatur

ALEXANDRE, P. (1987): Le climat en Europe au Moyen Age. - Paris.

BARON, W.R. (1982): The reconstruction of eighteenth century temperature records through the use of content analysis. - In: Climatic Change 4: 385-398.

BECKER, B. & GLASER, R. (1991): Baumringsignaturen und Wetteranomalien (Eichenbestand Guttenberger Forst, Klimastation Würzburg). - In: Forstwiss. Centralblatt 110: 66-83.

BRADLEY, R.S. & JONES, P.D. [eds.] (1992): Climate since A.D. 1500. - Routledge.

BRAZDIL, R. & KOTYZA, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I. - Zürcher Geographische Schriften 62; Zürich.

BRUMME, B. (1981): Methoden zur Bearbeitung historischer Meß- und Beobachtungsdaten Berlin und Mitteldeutschland 1683-1770. - In: Arch. Met. B 29: 191-210.

CHERNAVSKAYA, M. (1994): The climate of the Russian plain according to the diary of Peter the Great, and the weather records of Czar Aleksey's court. - In: FRENZEL, B. [ed.]: Climatic trends and anomalies in Europe 1675-1715. - Paläoklimaforschung 13; Stuttgart: 73-81.

DEMARRE, G. R.; VAN ENGELEN, A. F. V. & GEURTS, H. A. M. (1994): Les observations météorologiques de Théodore-Augustin Mann effectuées à Nieuport en 1775, 1776 et 1777. - In: Ciel et Terre 110: 41-48.

DEUTSCH, M.; GLASER, R. & GUDD, M. (1996): Der Winter 1739/40 in Halle/Saale - Szenario zu einem Extremwinter aus lokaler Perspektive. - In: Terra & Praehistoria 9: 125-135.

FLOHN, H. (1949): Klima und Witterungsablauf in Zürich im 16. Jahrhundert. - In: Vierteljahresschrift der Naturf. Gesellsch. in Zürich 94: 28-41.

GLASER, R. & HAGEDORN, H. (1990): Die Überschwemmungskatastrophe von 1784 im Maintal. Eine Chronologie ihrer witterungsklimatischen Voraussetzungen und Auswirkungen. - In: Die Erde 121: 1-14.

GLASER, R. (1991): Klimarekonstruktion für Mainfranken, Bauland und Odenwald anhand direkter und indirekter Witterungsdaten seit 1500. - Paläoklimaforschung 5; Stuttgart, New York.

GLASER, R. (1996): Data and Methods of Climatological Evaluation in Historical Climatology. - In: HSR (Historical Social Research) 21, 4: 56-88.

GLASER, R. (1997): On the Course of Temperatur in Central Europe since the Year 1000 A.D. - In: HSR (Historical Social Research) 22, 1: 59-87.

GLASER, R. & GUDD, M. (1996): Die Aufzeichnungen von Friedrich Hoffmann im Raum Halle/Leipzig im Jahre 1700. - In: Erdkunde 50, 4: 328-340.

GLASER, R.; VINCELLI, E. & MILITZER, S. (1993): Klima-, Witterungs- und Wettervorstellungen als Ideen- und Naturwissenschaftshistorie - Ein Beitrag zum Problem der historischen Klimawahrnehmung. - In: GLASER, R. & SPONHOLZ, B. [Hrsg.]: Geowissenschaftliche Beiträge zu Forschung, Lehre und Praxis. Festschrift für Horst Hagedorn. - Würzburger Geographische Arbeiten 87; Würzburg: 465-490.

GLASER, R. & MILITZER, S. [Hrsg.] (1993): Daten zu Wetter, Witterung und Umwelt in Franken, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen 1500-1700. - Materialien zur Erforschung früher Umwelten 2; Würzburg.

GREBE, H. (1936): Die Temperaturverhältnisse in Jena von 1770 bis 1935, ein Beitrag zur Witterungsgeschichte von Mitteldeutschland. - Wissenschaftliche Abhandlungen Band I, Deutsches Reichsamt für Wetterdienst; Berlin

HELLMANN, G. (1893): Das älteste Berliner Wetterbuch 1700-1701 von Gottfried Kirch und seiner Frau Maria Margaretha, geb. Winkelmann. - Berlin.

INGRAM, M.J.; UNDERHILL, D.J. & FARMER, G. (1981): The use of documentary sources for the study of past climates. - In: WIGLEY, T.M.L; INGRAM, M.J. & FARMER, G. [eds.]: Climate and history. Studies in past climates and their impact on man. – Cambridge: 180-213.

JACOBEIT, J.; BECK, C. & PHILIPP, A. (1998): Annual to decadal variability in climate in Europe - objectives and results of the German contribution to the European climate research project ADVICE. – Würzburger Geographische Manuskripte 43; Würzburg.

JONES, P. D. et al. (1998): Monthly mean pressure reconstructions for Europe for the 1780-1995 period. - eingereicht zur Veröffentlichung in International Journal of Climatology.

KINGTON, J. (1988): The weather of the 1780s over Europe. - Cambridge.

KLEMM, F. (1964): Über die meteorologischen Beobachtungen des Abtes Leonhard III. Treuttwein im Zisterzienserkloster Fürstenfeld von 1587-1593. - In: Meteorologische Rundschau 17, 5: 139-143.

KLEMM, F. (1973): Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Franken und Bayern bis 1700. - Annalen der Meteorologie (Neue Folge) 8; Offenbach am Main.

KLEMM, F. (1976): Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Nord- und Mitteldeutschland bis 1700. - Annalen der Meteorologie (Neue Folge) 10; Offenbach am Main.

KLEMM, F. (1979): Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Südwestdeutschland bis 1700. - Annalen der Meteorologie (Neue Folge) 13; Offenbach am Main.

KLEMM, F. (1983): Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Österreich einschließlich Böhmen und Mähren bis zum Jahr 1700. - Annalen der Meteorologie (Neue Folge) 21; Offenbach am Main.

KOSLOWSKI, G. & GLASER, R. (1995): Reconstruction of the Ice Winter Severity since 1701 in the Western Baltic. - In: Climatic Change 31: 79-98.

LAMB, H.H. (1977): Climate: Present, past and future, Vol.2. - London.

LAUER, W. & FRANKENBERG, P. (1986): Zur Rekonstruktion des Klimas im Bereich der Rheinpfalz seit Mitte des 16.Jahrhunderts mit Hilfe von Zeitreihen der Weinquantität und Weinqualität. - Stuttgart, New York.

LENKE, W. (1960): Klimadaten von 1621-1650 nach Beobachtungen des Landgrafen Hermann IV. von Hessen. - In: Ber. dt. Wetterd. Nr.63 (Bd.9): 3-51.

LENKE, W. (1961): Bestimmung der alten Temperaturwerte von Tübingen und Ulm mit Hilfe von Häufigkeitsverteilungen. - In: Ber. dt. Wetterd. Nr.75 (Bd.10).

LENKE, W. (1962): Die Skalenwerte des Reyerschen Thermometers. - In: Met. Rdsch. 15: 89-92.

LENKE, W. (1964): Untersuchungen der ältesten Temperaturmessungen mit Hilfe des strengen Winters 1708-1709. - In: Ber. dt. Wetterd. Nr.92 (Bd. 13): 3-45.

LE ROY LADURIE, E. (1983a): Histoire du climat depuis l'an mil. tome 1. - Paris.

LE ROY LADURIE, E. (1983b): Histoire du climat depuis l'an mil. tome 2. - Paris.

LUTERBACHER, J. et al. (1998): Monthly mean pressure reconstructions for Europe 1675-1715. - in Vorbereitung.

MANLEY, G. (1974): Central England temperatures: Monthly means 1659 to 1973. - In: Quart. J. R. Met. Soc. 100: 389-405.

MUNZAR, J. (1995): Early 17th century weather in Prague after J. Kepler's observations. - In: Regional workshop on Climate variability and climatic change vulnerability and adaptation. - Prague: 69-72.

PFISTER, C. (1985): Klimageschichte der Schweiz 1525-1860. Bd. 1. 2. Aufl. - Bern, Stuttgart.

PFISTER, C.; SCHWARZ-ZANETTI, G. & WEGMANN, M. (1996): Winter Severity in Europe: The Fourteenth Centuary. - In: Climatic Change 34: 91-108.

RODRIGO, F. S., ESTEBAN-PARRA, M. J. & CASTRO-DIEZ, Y. (1994): An attempt to reconstruct the rainfall regime of Andalusia (southern Spain) from 1601 A.D. to 1650 A.D. using historical documents. - In: Climatic Change 27: 397-418.

RUDLOFF, H. v. (1967): Die Schwankungen und Pendlungen des Klimas in Europa seit Beginn der regelmäßigen Instrumentenbeobachtungen (1670). - Die Wissenschaft, Bd.122; Braunschweig.

WIGLEY, T.M.L.; INGRAM, M.J. & FARMER, G. [eds.] (1981): Climate and history. Studies in past climates and their impact on man. - Cambridge.

PD Dr. Rüdiger Glaser,
Dipl. Geogr. Ulrike Beyer,
Dipl. Geogr. Christoph Beck
Geographisches Institut der Universität Würzburg
Am Hubland
97074 Würzburg