

Methoden zur Klimarekonstruktion aus historischen Quellen am Beispiel Mitteleuropas

Inaugural-Dissertation zur
Erlangung der Doktorwürde
der Fakultät für Forst- und
Umweltwissenschaften der
Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Brsg.

vorgelegt von

Dirk Riemann

Freiburg im Breisgau
2010

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker
Referent: Prof. Dr. Rüdiger Glaser
Koreferent: Prof. Dr. Helmut Mayer

Tag der Disputation: 3.12.2010

für Holger

Vorwort

Die Debatte um den möglichen Einfluss des Menschen auf das Klima ist schon längst keine rein akademische Expertendiskussion mehr, sondern hat das öffentliche Leben in fast allen Bereichen durchdrungen. Politik, Interessenverbände, Wissenschaft und auch die Wirtschaft wetten um die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit und um Unterstützung durch Gelder. Der letzte Bericht des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) von 2007 bezeichnet den Einfluss des Menschen auf das Klima der Erde durch erhöhten Ausstoß von Treibhausgasen als „sehr wahrscheinlich“ (*very likely*, Solomon u. a., 2007). Jedoch bedingt die Komplexität der Prozesse auf der Erde einen Rest an Unsicherheit im Verständnis, so dass die Diskussion, nicht zuletzt durch die mediale Verstärkung, eine ungleiche Polarisierung erfährt, in welcher sich, überzogen gesprochen, „Klima-Apokalyptiker“ und „Klimawandel-Leugner“ gegenüber stehen (Rahmstorf, 2005; Senn, 2003). Aufmerksam verfolgt die Öffentlichkeit jede Kapirole des Wetters und versucht diese im Rahmen der genannten Diskussion für ihren Standpunkt einzuordnen. Die Frage nach historischen Vergleichen wird in diesem Zusammenhang immer häufiger gestellt, bzw. wird implizit vorausgesetzt bei Aussagen wie „der wärmste Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen“ oder „die Zunahme von Flutkatastrophen“. Gerade für Europa steht mit der Verfügbarkeit historischer Quellen hierfür eine wertvolle Informationsquelle bereit.

Neben den unmittelbar an die menschliche Erfahrungswelt gekoppelten Aspekten gibt es einen weiteren Grund, einen möglichst genauen und weit zurückreichenden Blick in die Klimageschichte zu werfen: Die Klimamodelle, welche heute Prognosen für mögliche Klimaentwicklungen erstellen, sind für die Bestätigung ihrer Ergebnisse auf den Vergleich mit räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Informationen über möglichst lange Zeiträume angewiesen. Auch die aktuellen Klimamodelle können nur mögliche Prognosen einer Klimaentwicklung im Rahmen einer unvermeidbaren Unsicherheit simulieren, aus welchen dann diejenigen Varianten mit der höchsten Übereinstimmung zur Realität gewählt werden (von Storch u. a., 1999).

Verschiedene Disziplinen haben inzwischen Verfahren entwickelt, um aus natürlichen Klimaarchiven wie Baumringen und Eisbohrkernen Informationen zu gewinnen, die helfen können, ein zunehmend genaueres Bild der Klimageschichte zu zeichnen.

Für Europa und viele andere Regionen stehen klimabezogene Informationen aus historischen Quellen zur Verfügung, jedoch mit unterschiedlicher Dichte und Verfügbarkeit (Bradley, 1999). Verwendung finden dabei alle Arten von menschengemachten Informationen wie z.B. Stadtchroniken, Tagebücher, Abrechnungen, Hochwassermarken, Berichte u.v.a.m. Das Vorhandensein dieser Daten führte zur Begründung der *Historischen Klimatologie*. Auf Grund ihrer Erfolge ist sie inzwischen international anerkannt, ihre breite Anwendung aber aufgrund der Verfügbarkeit solcher Daten momentan auf wenige Regionen der Erde beschränkt. Über die Jahre hinweg sind riesige Datensammlungen entstanden, welche häufig auch über das Internet öffentlich verfügbar sind. Die technischen Entwicklungen erweitern auch in diesem Forschungsbereich die Möglichkeiten der Analyse, so dass inzwischen über die Sammlung und Interpretation der historischen Quellen hinaus die Notwendigkeit für eine statistisch-mathematische Auswertung der räumlich aufgelösten Daten entstanden ist.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Entwicklung von Methoden zur statistischen Analyse und Auswertung von Klima bezogenen Daten aus historischen Quellen. Hierfür wird in einem ersten Schritt der mathematische Rahmen definiert, welcher die Umrechnung der vorliegenden Text-Informationen in Klimavariablen wie beispielsweise in Temperatur erlaubt. Auf dieser Grundlage wird ein Modell entwickelt, um zusätzlich aus der räumlichen Struktur der Daten Informationen zu gewinnen und durch ein geeignetes (Regionalisierungs-)Verfahren realistische Witterungsmuster abzuleiten. Dadurch kann die mitunter fehlende Verbindung zu anderen paläoklimatischen Disziplinen hergestellt werden, welche häufig für Regionen Daten liefern, die nicht besiedelt sind oder waren. In diesem Zusammenhang wurde auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend ein einfaches Modell für eine Multi-Proxy-Rekonstruktion entwickelt, mit welchem für indexbasierte Daten durch Majoritätsprinzip ein gemeinsames Signal bestimmt werden kann.

Entwickelt und getestet wurden diese Methoden anhand von Informationen zur Temperatur, da dieser Parameter großräumige Aussagen liefert, gut interpretierbar ist und den Energiegehalt und damit einen wesentlichen Teil des Zustandes unserer Atmosphäre charakterisiert. Außerdem liegen zur Temperatur sehr viele Hinweise vor, da sie von vielen Beobachtern gleichermaßen erlebt wurde und auf das Leben der Menschen einen wichtigen Einfluss hatte.

Die in dieser Arbeit verwendeten Jahresangaben beziehen sich, wenn nicht anders ausgewiesen, auf die in Deutschland gebräuchlichen Kalenderjahre, also *nach Chr.* Dieser Zusatz wird zu Gunsten der besseren Lesbarkeit weggelassen. Ebenso wurde, wo möglich, eine geschlechtsneutrale Formulierung gewählt. Wo ein geschlechtsspe-

zifischer Artikel nötig war, wurde ebenfalls Zugunsten der Lesbarkeit nur eine Form verwendet.

Die Arbeiten entstanden im Rahmen des EU-geförderten Projekts *Millennium* (Vertragsnummer 017008-2), welches die Frage zu beantworten sucht, ob Stärke und Art der Klimaveränderung im 20. Jahrhundert die natürliche Klimavariabilität des letzten Jahrtausends überschreiten (siehe auch www.millenniumproject.net). Dieses Projekt führt nahezu 50 Gruppen verschiedener Disziplinen aus ganz Europa zusammen, um Daten und Informationen zur Klimageschichte Europas zu vereinen. Der Vergleich der gewonnenen Zeitreihen verschiedener Klimaparameter mit Modelldaten wird die Prognosegüte erhöhen und helfen, auf Klimafolgen frühzeitig reagieren zu können. Durch die Mitarbeit in diesem Projekt hatte ich Zugang zu einer großen Gruppe engagierter Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen und unterschiedlichen Nationen, welche mir viel freundliche Unterstützung und Inspiration gaben. Deshalb möchte ich auch der gesamten Millennium Project Gruppe für die gute Zeit danken und dabei Danny McCarrol besonders erwähnen.

Die Datenbasis der vorliegenden Analyse ist das Ergebnis langjähriger Forschungsarbeiten durch und unter Prof. Dr. Rüdiger Glaser. Für die Bereitstellung dieser Daten, sein stets offenes Ohr und die vielen interessanten Diskussionen sowie die Unterstützung, welche ich durch ihn in allen Bereichen erfahren habe, möchte ich ihm an dieser Stelle herzlich danken. Das Institut für Physische Geographie der Universität Freiburg war mir in den Jahren immer ein angenehmer Ort zum Arbeiten und die freundliche Hilfe, welche ich von vielen Seiten erfuhr machte, diese Zeit zu einer extrem wertvollen Phase in meinem Leben.

Die Freiheit, welche mir meine Eltern immer gewährt haben, war Voraussetzung, mich diese Arbeit beginnen zu lassen, wofür ich ihnen besonders dankbar bin. Auf meinem Weg begleitet haben mich viele Menschen, ohne deren Unterstützung diese Zeit sicherlich nicht so angenehm und wertvoll für mich gewesen wäre. Allen voran Hannah, welche mir am nächsten war, somit alle Turbulenzen miterlebte und mir immer eine große Stütze war. Holger, Lena, Olaf, Philipp, Steffen, Stephen und Wiebke haben mich alle auf ihre Weise unterstützt, weshalb ich sie hier ebenfalls besonders erwähnen will.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	17
1. Historische Klimatologie	21
1.1. Entwicklung der Historischen Klimatologie	24
1.1.1. Entwicklung der Historischen Klimatologie	24
1.1.2. Subjektivität der Beschreibungen	27
1.2. Möglichkeiten und Grenzen	28
1.3. Von der Klima geprägten Kultur zur Klima prägenden Kultur?	30
1.4. Einen Blick in die Zukunft wagen	33
1.4.1. Unvorhersagbarkeit als Prinzip	34
1.5. Zusammenfassung Historische Klimatologie	36
2. Datenlage in Mitteleuropa	39
2.1. Am Anfang war das Wort	40
2.2. Texte in Zahlen fassen	43
2.3. Zeitreihen und Karten	45
2.3.1. Die hermeneutisch gewonnene Indexreihe	47
2.3.2. Die räumliche Datenbankabfrage	52
2.3.3. Ablage und Bereitstellung der Überlieferungen	54
2.4. Der Untersuchungsraum	57
2.4.1. Die klimatische Prägung	57
2.4.2. Die räumlichen Verteilungsmuster der Temperatur	58
2.5. Zusammenfassung Daten und Untersuchungsraum	63
3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung	65
3.1. Instationarität in der Historischen Klimatologie?	67
3.2. Umrechnung der Indizes in Klimaparameter	69
3.2.1. Kalibrierung der siebenstufigen thermischen Indizes	71
3.2.2. Die Kalibrierung saisonaler Indizes	76

Inhaltsverzeichnis

3.3.	Unsicherheiten dieser Kalibrierungstechnik	78
3.3.1.	Fehlerabschätzung	79
3.3.2.	Validierung der rekonstruierten Reihen	80
3.4.	Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas	82
3.5.	Potential und Limitationen von Indizes	85
3.5.1.	Berechnung künstlicher Indizes	85
3.5.2.	Können Indizes langfristige Signale beschreiben?	86
3.5.3.	Können menschengemachte Informationen langfristige Klimaschwankungen beschreiben?	87
3.5.4.	Welches Gewicht hat ein einzelner Index?	91
3.6.	Zusammenfassung Kalibrierung	93
4.	Regionalisierung der Witterungsinformationen	95
4.1.	Umgang mit großen Datenmengen	95
4.1.1.	Hauptkomponentenanalyse	96
4.2.	Das Regionalisierungsmodell (RegMod)	99
4.2.1.	Entwicklung von RegMod in einer <i>idealen Welt</i>	100
4.2.2.	Repräsentanz von Hinweisen zur Temperatur	102
4.2.3.	Großräumige Indexfelder konstruieren	103
4.2.4.	Rekonstruktion realistischer Temperaturverteilungen	104
4.3.	Test des Modells	107
4.3.1.	Rekonstruktion langfristiger Veränderungen	107
4.3.2.	Rekonstruktion räumlicher Muster	108
4.4.	Anwendung auf historische Indizes	109
4.4.1.	Ableitung langer saisonaler Reihen	111
4.5.	Das Regionalisierungsmodell im Überblick	114
5.	Synthese und Diskussion der Ergebnisse	117
5.1.	Vergleich mit anderen Rekonstruktionen	117
5.2.	Multi-Proxy-Analyse	119
5.2.1.	Ein demokratischer Ansatz	120
5.2.2.	Ein Multi-Proxy-Temperatursignal für Mitteleuropa	125
6.	Zusammenfassung	127
6.1.	Ausblick	131
6.2.	Summary	132
	Literaturverzeichnis	137

Anhang	149
A. Statistische Gütemaße	149
B. HK aller Monate	152
C. Mathematische Umsetzung der HKA	153
D. HisKliD 2.0	155
D.1. Felder in HisKliD 2.0	155
E. Verwendete historische Indizes	164
F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung	172

Abbildungsverzeichnis

1.1. Gliederung der Datentypen der Paläoklimatologie	25
1.2. Temperaturveränderungen im Laufe der Erdgeschichte	31
1.3. Das deterministische Chaos	34
1.4. Vergleich von natürlichen und gesellschaftlichen Archiven	37
2.1. Informationsdichte und Veränderung der Datenqualität in verschiedenen Epochen	40
2.2. Schematische Darstellung der Quantifizierung historischer Quellen . .	46
2.3. Schematische Darstellung der Auswertung und Analyse von klimabezogenen Informationen	47
2.4. Zeitliche Abdeckung durch historische Quellen	48
2.5. Vergleich der Verteilung der normierten Monatsmitteltemperaturen mit der Verteilung der Indizes des entsprechenden Monats	50
2.6. Vergleich der Verteilungen der Jahresmitteltemperaturen aus Instrumentenmessungen mit den Jahressummen der Indizes	51
2.7. Vergleich der Verteilung der normierten Saisonmitteltemperaturen mit der Verteilung der Indizes der entsprechenden Saison	52
2.8. Räumliche Abdeckung der historischen Quellen	53
2.9. Schematische Darstellung von HisKliD 2.0	56
2.10. Temperaturverteilung in absoluten und normierten Temperaturen . .	59
2.11. Die ersten vier Hauptkomponenten der normierten Wintertemperaturen für Mitteleuropa	60
2.12. Korrelation zwischen CRU Reanalyse Daten und dem Flächenmittel der Temperatur für Deutschland	61
2.13. Räumliche Verteilung der STD sowie der STD des Temperaturunterschieds zwischen zwei Jahren als Maß für die interannuale Variabilität	62
3.1. STD der Zeitreihen der gleitenden STD ausgewählter Monate und des Jahres	68
3.2. Schematische Darstellung der Kalibrierung von thermischen Indizes .	69

Abbildungsverzeichnis

3.3. Abhängigkeit des variance scaling - Faktors a von der Länge der Indexreihe und der Länge des Referenzzeitraumes (Monate)	76
3.4. Abhängigkeit des scaling factor a von der Länge der Indexreihe und der Länge des Referenzzeitraumes (Jahreszeiten)	77
3.5. Vergleich von der aus Indizes berechneten Temperaturreihe mit Instrumentendaten	81
3.6. Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas aus historischen Quellen	83
3.7. Vergleich von Instrumentendaten mit rekonstruierten Temperaturen aus Indizes	87
3.8. Vergleich von ECHO-Erik2 Daten mit kalibrierten Indexwerten für Mitteleuropa	88
3.9. Einfluss unterschiedlicher Längen des Bezugszeitraumes bei der Indexerstellung	89
3.10. Verlauf des 51jährigen Mittels von Januar- und Julitemperaturen . .	90
3.11. Darstellung der monatlichen normierten Temperaturanomalien	92
4.1. Schematische Darstellung der HKA	97
4.2. Vergleich der Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet eines ausgewählten Monats mit den daraus abgeleiteten Indexwerten	101
4.3. Verteilung der maximalen Differenz berechneter Indizes eines Kartenausschnitts für Mitteleuropa (ME) bzw. Deutschland	101
4.4. Korrelation zwischen der Zeitreihe eines Rasterpunktes mit den Zeitreihen der übrigen Rasterpunkte.	103
4.5. Rekonstruiertes Indexfeld	104
4.6. Rekonstruierte Temperaturverteilung aus zufällig gewählten Punkten	106
4.7. Rekonstruierte Mitteltemperatur für Deutschland (künstliche Indizes, GMD)	107
4.8. Vergleich der rekonstruierten monatlichen Temperaturfelder	108
4.9. Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur für Mitteleuropa aus den rekonstruierten Feldern	109
4.10. Beispiel regionalisierter Temperaturinformationen aus historischen Quellen	109
4.11. Vergleich der rekonstruierten Temperatur mit dem GMD	110
4.12. Abdeckung regionalisierbarer saisonaler Angaben aus HisKliD 2.0 . .	111
4.13. Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas aus historischen Quellen mittels Regionalisierungsmodell	112

4.14. Schematische Darstellung des hier vorgestellten Regionalisierungsmodells	115
5.1. Vergleich der 101-jährig geglätteten Reihe mit anderen Rekonstruktionen	118
5.2. Multi-Proxy-Reihe für Winter	121
5.3. Multi-Proxy-Reihe für Sommer	122
5.4. Vergleich der theoretischen Wahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung des Signals mehrerer Reihen	124
5.5. Multi-Proxy-Reihe für Mitteleuropa	125
B.1. Die jeweils erste Hauptkomponente jeden Monats unter Verwendung normierter Temperaturen für Mitteleuropa	152

Tabellenverzeichnis

1.1. Verfügbarkeit schriftlicher Zeugnisse für verschiedene Regionen	28
2.1. Beschreibung und Erläuterung der siebenstufigen Indizes	45
2.2. Beispiel der thermischen Indexwerte für Deutschland, gewonnen durch hermeneutische Analyse	48
2.3. Vergleich der Anteile der sieben Klassen als Mittel aus allen Monaten	50
2.4. Monatliche und jährliche Durchschnittstemperaturen und jeweilige STD für Deutschland	58
5.1. Korrelation zwischen verschiedenen Rekonstruktionen	118
5.2. Aufstellung der verwendeten Daten für die Multi-Proxy-Analyse . . .	120
E.1. Verwendete historische Indizes zur Temperatur	164
F.2. Rekonstruierte Temperaturentwicklung	172

Abkürzungsverzeichnis

CDS	Chroniken deutscher Städte
CE	coefficient of efficiency
CLINO	engl. <i>climate-normal</i> Klimanormal(-periode)
CRU	Climate Research Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
GHCN	Global Historical Climatology Network
GIS	Geographisches Informationssystem
GMD	Gebietsmittel für die Lufttemperatur in Deutschland
HisKliD	Historische Klimadatenbank Deutschland
HK	Hauptkomponente, engl. <i>principal component (PC)</i>
HKA	Hauptkomponentenanalyse, engl. <i>principal component analysis (PCA)</i>
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MC	Monte Carlo (-Simulation)
ME	Mitteleuropa
MGH	Monumenta Germaniae Historica
MLR	multiple lineare Regression
MSE	engl. <i>mean squared error</i> mittlerer quadratischer Fehler
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RE	engl. <i>reduction of error</i>
RegMod	Regionalisierungmodell
RMSE	engl. <i>root mean squared error</i> Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers
SMP	Societas Meteorologica Palatina
STD	Standardabweichung, engl. <i>standard deviation</i>
TempBdB	Temperaturmittel der Stationen Berlin-Tempelhof und de Bilt

1. Historische Klimatologie

Leben lässt sich nur rückwärts verstehen, muss aber vorwärts gelebt werden. *Sören Kierkegaard (1813-1855)*

Was sich sowohl auf das eigene Leben als auch auf die Gesellschaft anwenden lässt, kann ebenfalls auf andere *Systeme*, wie beispielsweise unsere Erde, übertragen werden. Erst die retrospektive Betrachtung des Verhaltens von komplexen Systemen ermöglicht ein (modellhaftes) Verständnis der Vorgänge zu entwickeln. Für das Klimasystem der Erde wurden auf Grundlage von Naturgesetzmäßigkeiten und Beobachtungen Computermodelle entwickelt, welche inzwischen in der Lage sind, realistische Prognosen zu entwerfen. Sie bilden dabei jedoch nicht die Realität ab, sondern nur eine *realistische* Welt, die so genannte *ideale Welt*. Diese Modelle können durch die Kopplung an verschiedene Klima beeinflussende Faktoren wie die Atmosphärenchemie¹ und extraterrestrische Antriebe (Sonnenfleckenaktivität, Milanković-Zyklen²) an unsere Wirklichkeit angepasst werden. Die Modellgüte nimmt allerdings ab, was die Beschreibung kurz- und mittelfristiger Veränderungen betrifft (von Storch u. a., 1999). Da das Klimasystem durch die Vielzahl unterschiedlicher, beteiligter Prozesse hochgradig komplex und häufig nicht linear ist, können geringe Abweichungen vom Gleichgewichtszustand längerfristige, schwer zu prognostizierende Veränderungen zur Folge haben. Da außerdem viele Prozesse auf der Erde durch die Größe und Masse des Systems träge verlaufen, ermöglicht erst der Vergleich der simulierten Daten mit hoch aufgelösten Klimadaten über einen möglichst langen Zeitraum eine realitätsnahe Anpassung der Modelle. Damit wird eine deutliche Verbesserung des Verständnisses der Prozesse im Klimasystem, aber auch der Prognosegüte der Modelle selbst erreicht.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Paläoklimatologie heute an Bedeutung für die Vorhersage möglicher Klimaänderungen, da sie den Modellen Klimadaten für

¹Z.B. die Partialdrücke von CO_2 und CH_4 , deren zeitliche Veränderung mit Hilfe von in Eisbohrkernen eingeschlossenem Gas rekonstruiert werden kann.

²Nach dem serbischen Astrophysiker Milutin Milanković (1879-1958), welcher aus der zeitabhängigen Variationen der Präzision der Erdschiefe, der Erdschiefe und der Exzentrizität langfristige Veränderungen der Solarkonstante berechnete.

1. Historische Klimatologie

längere Zeiträume zur Verfügung stellen kann. Dieser Teilbereich der Klimatologie hat inzwischen eine Vielzahl anerkannter Methoden etabliert, um aus natürlichen Archiven (wie z.B. Baumringen, Eisbohrkernen, Seesedimenten und Pollenanalyse) klimabezogene Informationen zu gewinnen (Bradley, 1999).

Der Vorteil dieser Techniken ist ihre Verfügbarkeit für sehr viele Regionen der Erde. Außerdem bieten sie häufig Informationen für deutlich längere zeitliche Perspektiven als dies menschengemachte Quellen vermögen, welche für Zeiten bis maximal 3000 v.Chr. verfügbar sind (siehe auch Kap. 1.2, Tab. 1.1). Für Mitteleuropa stehen historische Quellen für die letzten 1200 Jahre zur Verfügung, welche in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung den meisten natürlichen Archiven überlegen sind (Glaser, 2008; Brázdil u. a., 2005). Die darin wiedergegebenen Beobachtungen beziehen sich häufig auf einen klar definierten Zeitraum einer abgegrenzten Region. Sie stellen somit eine Art räumliche und zeitliche Integration direkter Beobachtungen dar, wohingegen natürliche Klimazeiger meist das multifaktoriell geprägte Signal eines Standorts repräsentieren.

Die Historische Klimatologie beschäftigt sich mit der Erfassung und Aufbereitung sowohl historischer Quellen als auch früher Instrumentenmessungen bis hin zu den ersten systematischen Messwerken (Glaser, 2008; Brázdil u. a., 2005; Pfister, 1999). Damit ist die Abgrenzung, bzw. der Übergang zur modernen Datenerfassung (inkl. Satellitenfernerkundung) meteorologischer Parameter fließend. Durch technische Entwicklungen wird und wurde die menschliche Wahrnehmung seit jeher geprägt. Momentan bringen wir dem naturwissenschaftlich-technischen Weltbild ein sehr hohes Vertrauen entgegen und missachten oder misstrauen bisweilen Informationen, die nicht diesem *Standard* entsprechen. Zwar sind Informationen aus historischen Quellen subjektive Einschätzungen, aber auch ein Instrumentenmesswert ist durch den Ort und die Art der Aufnahme beeinflusst und dadurch u.U. systematisch verzerrt, so dass auch diese Werte nicht einfach als repräsentativ für eine Region verwendet werden können (Schönwiese, 2005). Das Gleiche gilt ebenso für Klimarekonstruktionen aus natürlichen Archiven, in welchen prinzipiell nur Standortbedingungen reflektiert werden. Im Folgenden wird gezeigt, dass die bisweilen unterstellte fehlende Präzision und Aussagekraft historischer Quellen keineswegs zutrifft und auch der subjektive Faktor dieser Methode mathematisch erfasst werden kann. menschengemachte Informationen unterliegen immer dem Zeitgeist, sowohl ihre Schaffung, als auch die Wahrnehmung dieser Informationen. Als eine Konsequenz dieses Umstandes müssen wir erkennen, dass das Klimasystem der Erde sich für uns nicht nur durch natürliche Prozesse verändert, sondern auch durch die Veränderung unserer Wahrnehmung. Zunehmend setzt sich in der Umweltwissenschaft eine integrative

Betrachtung durch, welche besonderes auch regionale Disparitäten beachtet. Die Regionalisierung von Klimarekonstruktionen und -prognosen ist eine notwendige Konsequenz zur Analyse der beobachteten Veränderungen, aber auch zur Abschätzung möglicher Klimafolgen.

In dieser Arbeit wird die Struktur und die Eigenschaft von Informationen aus historischen Quellen analysiert. Die Subjektivität der Informationen und die resultierende Relativität der Aussagen bezüglich des Autors, zur Zeit und zur Region stellen eine Besonderheit dieses Klimazeigers dar. Die Tatsache, dass historische Quellen Informationen zu allen Jahreszeiten liefern, die Beschreibungen räumliche Einheiten und Zeitabschnitte integrieren und dabei meist direkte Beobachtungen überliefern, erfordert eine besondere Wahrnehmung, für welche ein methodischer Rahmen entwickelt wurde.

Die wichtigste Besonderheit, welche bei der Verwendung der Daten beachtet werden muss, resultiert aus der hohen zeitlichen Auflösung und Abdeckung des gesamten Jahres, wodurch sie sich von allen anderen Klimazeigern unterscheiden. Die wiedergegebenen Beschreibungen ermöglichen eine Klassifizierung der beschriebenen Witterung und damit eine Beschreibung der Klimavariabilität. Es wird gezeigt, dass allein durch Veränderungen in der Frequenz des Auftretens gewisser Witterungsmuster mittel- und langfristige Klimaänderungen³ beschrieben werden können. Die Subjektivität und die Ungenauigkeit, welche die Klassifizierung bewirkt, wird durch die schiere Menge an Informationen ausgeglichen. Für die Umrechnung in Klimavariablen wird gezeigt, dass deren Variabilität für längere Zeiträume näherungsweise konstant bleibt. Auf dieser Grundlage wird in dieser Arbeit ein anderer Weg beschritten, als in der Paläoklimatologie sonst üblich ist: Die in den Daten beschriebene Variabilität für längere Zeiträume wird an die natürliche Variabilität angepasst (kalibriert), anstatt für einen (kurzen) Zeitraum einen Zusammenhang zwischen Proxy und Klimavariablen zu suchen. Weiterhin wird eine Methode entwickelt, um die Unsicherheit der Rekonstruktion beschreiben zu können. Auch hier ist

³Als kurz- und mittelfristige Änderungen werden in dieser Arbeit annuale bis dekadische Schwankungen bezeichnet. Um für Dekaden ein repräsentatives mittleres Jahr definieren zu können, werden im Folgenden meist Perioden der Länge 11 Jahre verwendet. Perioden von 31 Jahren markieren den Übergang zwischen mittel- zu langfristige Änderungen. Langfristige Änderungen werden hier für Schwankungen im Bereich von beispielsweise Jahrhunderten verwendet. Auch hier wird für die Mittelwertbildung ein symmetrischer Wert (101 Jahre) verwendet. Die 31 Jahre Periode geht auf eine internationale Vereinbarung der *World Meteorological Organization* (WMO) zurück, welche diesen Zeitraum als „relativ lange Zeit“ für die Beschreibung von Klimaeigenschaften festgelegt hat (Endlicher u. Gerstengarbe, 2007, S.60). An diesen 31 Jahren orientiert sich deshalb auch die Klimanormalperiode (CLINO), welche als Referenzzeitraum für Klimaanomalien den Zeitraum 1961-1990 bezeichnet.

1. Historische Klimatologie

ein neuer Weg notwendig, da die einzelnen Aussagen individuellen Charakter haben und sich deshalb die Unsicherheit über die Zeit verändern kann.

1.1. Entwicklung der Historischen Klimatologie

Schon seit jeher beschäftigt das Wetter die Menschen und dies sicherlich nicht nur in Ermangelung anderer Themen. Hingen doch gerade in der Vergangenheit Wohlergehen und Zukunft des Einzelnen und auch der Gesellschaft sehr vom Geschehen in der Atmosphäre ab. Sowohl die unmittelbaren Belastungen und Gefahren durch Extremereignisse wie Stürme, Dürren und Hochwasser als auch die Abhängigkeit der Ernährungssicherung agrarischer Gesellschaften von günstigen Bedingungen rückten das Wetter zwangsläufig immer wieder in das Zentrum der Aufmerksamkeit. Auch die Verbesserungen der landwirtschaftlichen Methoden und des Transportwesens konnten und können in vielen Teilen der Welt zwar kurzfristige Engpässe und Belastungen vermeiden helfen, jedoch beeinflussen Katastrophen und Missernten immer wieder unser Leben und greifen auch heute noch in unser komplexes Wirtschaftssystem ein (Glaser, 2008; Pfister, 1999; Stern, 2007). So wundert es nicht, dass das Interesse schon seit jeher über das tägliche Wettergeschehen hinaus auch auf längerfristige Veränderungen gerichtet war (Glaser, 2008; Pfister, 1999).

1.1.1. Entwicklung der Historischen Klimatologie

Die Paläoklimatologie ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, welches versucht, aus Klimazeigern, engl. *Proxies*, die klimatischen Verhältnisse der Vergangenheit zu rekonstruieren. Nach Pfister (1999) lassen sich diese Proxies in natürliche und gesellschaftliche Archive unterscheiden, wobei die natürlichen Archive meist nur indirekt Hinweise auf die klimatischen Bedingungen bieten, da nur die Wirkungen der Umweltbedingungen auf den Proxy gemessen werden können. In Abb. 1.1 sind die Datentypen der Paläoklimatologie nach Pfister geordnet und Beispiele für Archive aufgeführt.

Die Historische Klimatologie beschäftigt sich mit den gesellschaftlichen Archiven, in welchen sich häufig auch direkte Hinweise auf Witterung und Klima finden. Zwar stehen diese Daten nur für wenige Regionen der Erde zur Verfügung und decken maximal den Zeitraum der letzten 5000 Jahre ab, bieten jedoch in ihrer zeitlichen Auflösung und häufig auch nach ihrem Informationsgehalt eine unschätzbare Quelle.

Der Beginn der Historischen Klimatologie als Forschungsrichtung lässt sich weder zeitlich genau einordnen, noch an gewisse Personen binden. Schon in der Antike

1.1. Entwicklung der Historischen Klimatologie

natürliche Archive		gesellschaftliche Archive	
direkte Daten -Wetterbeobachtungen -Messungen		Historische Dokumente	- Wettererscheinungen - Naturkatastrophen, Anomalien - Messungen (Temperatur, Luftdruck, Niederschlag, ...)
indirekte Daten Spuren klimatisch beeinflusster Prozesse	- Baumringe (Breite, Dichte) - Tier- und Pflanzenreste - Fossiles Holz, Pollen und Sporen - Eisbohrkerne - terrestrische und marine Sedimente - Gletscherablagerungen		- Blüte und Reifezeit von (Kultur-)Pflanzen - Erntetermin, -dauer und Erträge - Qualität und Zuckergehalt von Weinmost - Dauer, Häufigkeit und Intensität von Regen/Schneefällen - Vereisung von Flüssen und Seen - Wasserstände - Hoch- und Niedrigwassermarken - archäologische Reste

Abb. 1.1.: Gliederung der Datentypen der Paläoklimatologie (nach Pfister, 1999).

wurden Zusammenstellungen beobachteter Witterungserscheinungen mit möglichen Erklärungen verfasst. Das bekannteste Werk ist sicherlich *Meteorologica* von Aristoteles (Aristoteles, 2004), welches der Meteorologie ihren Namen gab und lange Zeit das europäische Denken und die Wahrnehmung des Wetters prägte (pers. Komm. mit R. Glaser, Glaser, 2008). In Europa kommt es in der Zeit der Aufklärung mit ihrer Wiederentdeckung der Wissenschaften zu einer Zunahme ähnlicher Kompilationen. Vor allem nach größeren klimatisch bedingten Katastrophen, wie beispielsweise dem Hochwasser von 1784, versuchten Autoren wie Pötzsch (1786) durch historische Nachforschungen Erklärungen zu finden. In dieser Zeit entstand auch das Werk *Über das Wahrscheinliche in der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen* (Pilgram, 1788). Mitte des 19. Jahrhunderts kam es in Europa zur Begründung verschiedener meteorologischer Gesellschaften und der Einrichtung systematischer Netzwerke. Die gewonnenen Daten wurden bereits zu dieser Zeit um historische Informationen ergänzt (Glaser u. a., 2008). Erwähnt sei Hellmann (1883), welcher mit seinem *Repertorium zur Meteorologie* ein Standardwerk seiner Zeit schuf und dessen Sammlung noch heute als bedeutende Suchhilfe für den deutschsprachigen Raum gilt (Glaser, 2008). Zu Beginn des letzten Jahrhunderts begannen Norlind (1914) und Easton (1928) über die Beschreibungen hinaus aus den historischen Quellen durchgängige Zeitreihen abzuleiten. Hierzu führten sie Indizes ein, also Klassifikationen der beschriebenen thermischen und hygrischen Verhältnisse und ermöglichten die quantitative Erfassung der deskriptiven Informationen. Le Roy Ladurie (1966) und später Lamb (1977) brachten der Forschung neue Impulse, indem sie über die

1. Historische Klimatologie

Weiterführung der Indexbildung hinaus mit der synoptischen⁴ Interpretation eine wichtige Synthese- und Validierungshilfe für Klimadaten aus historischen Quellen schufen. Dieser Ansatz wird bis heute weiter verfolgt (siehe beispielsweise Jacobeit u. a., 1999; Luterbacher u. a., 2001; Küttel u. a., 2009), indem aus historischen Quellen Druck-, Niederschlags- und Druckverteilungskarten abgeleitet werden. Ein klassisches Werk der Paläoklimatologie stellt *Climate: Present, Past and Future* von Lamb (1977) dar, in welchem u. a. die Erstellung 10-jähriger Indizes (Dezennienindizes) der Winterstrenge und Sommerfeuchte beschrieben wird. Wichtige Impulse lieferten auch Le Roy Ladurie (1983) und Pfister (1999), welche ebenfalls zusammenschauend die Folge- und Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Gesellschaft in die Analyse integriert haben. Pfister (1999) lieferte mit Indexreihen für die Schweiz einen wichtigen Beitrag zur Etablierung dieser Methode und deren Anerkennung in der Paläoklimatologie, welche van Engelen u. a. (2000) mit Kollegen für die Niederlande ebenfalls erstellte. Alle diese Autoren wiesen und weisen immer wieder auf die Notwendigkeit der Quellenkritik bei der Verwendung von historischen Quellen hin (Alexandre, 1987; Pfister, 1999; Glaser, 2001). Neuere umfassende Beiträge zur Auswertung und Interpretation europäischer Witterungsgeschichte stellen die Arbeiten von Glaser (2008) dar, welcher in seinem Buch *Klimageschichte Mitteleuropas* einen guten Methodenüberblick gibt und zu einer detaillierten Reise durch die letzten 1200 Jahre Klimageschichte einlädt. Ergebnis seiner jahrelangen Archivarbeiten sind unter anderem zusammenfassende Indexreihen über die thermischen und hygrischen Bedingungen in Mitteleuropa. Große Teile der zugrundeliegenden Daten wurden bereits publiziert (Militzer u. Glaser, 1994). Heute stehen die Daten zu großen Teilen über die Website www.hisklid.de (Glaser, 2008, 2010) zur Verfügung.

In den letzten Jahren wurden die, in mühevoller, langer Arbeit zusammengetragenen Informationen in Datenbanken aufgenommen und begonnen, diese statistisch zu analysieren. Auf diesen Daten, frühen Instrumentenmessungen und natürlichen Klimazeigern basieren viele rekonstruierte Temperatur -, Druck- und Niederschlagsfelder (siehe u. a. Luterbacher u. a., 2001; Pauling u. a., 2006; Küttel u. a., 2009), sowie zusammenfassende Reihen. Auf diesen Karten und Reihen aufbauend wurden außerdem inzwischen einige Analysen zur atmosphärischen Zirkulation sowie Multi-Proxy-Analysen durchgeführt (Jacobreit u. Dünkeloh, 2003; Luterbacher u. a., 2002, 2010; Zorita u. a., 2010).

Einen ambitionierten Ansatz zur Erstellung einer durchgängigen Reihe aus historischen Quellen stellt die Arbeit von Dobrovolný u. a. (2009) dar, in welcher mittels

⁴von altgriechisch *ś́nopsis* (aus *śyn-* ‚zusammen‘ und *opsis* ‚das Sehen‘), eine Gesamtschau der meteorologisch relevanten Faktoren.

statistischer Verfahren aus verschiedenen regionalen Daten eine Gesamtreihe für Mitteleuropa abgeleitet wird. Dieser Ansatz missachtet jedoch regionale Unterschiede der Witterung, einen Faktor, welchem die hermeneutisch⁵ erstellten Reihen prinzipiell Rechnung tragen können, indem während der Kompilation regionalklimatische Aspekte in die Bewertung mit einbezogen werden.

1.1.2. Subjektivität der Beschreibungen

Die besondere Herausforderung der Historischen Klimatologie liegt in der Übersetzung von deskriptiven Informationen in quantitative Angaben. Dies geschieht durch die Klassifizierung der Aussagen mit Hilfe semantischer Profile: Die in einer Quelle zum Ausdruck gebrachten Abweichungen vom Normalzustand und die hierfür verwendete Wortwahl wird in Klassen geordnet. Diese Vorgehensweise wird in späteren Kapiteln noch ausgeführt. Im folgenden Kap. 2 werden die Quellen und die Quantifizierung der darin enthaltenen Informationen ausführlich dargestellt.

Doch auch über die schiere Quantität der Informationen ergibt sich ein weiteres Gütekriterium: Wenn beispielsweise sehr viele Quellen aus verschiedenen Teilen Europas berichten, dass es eine Dürre im Sommer eines bestimmten Jahres gab, dann stellt diese Information die höchste Qualität in zeitlicher Präzision und Aussagekraft (gegenüber allen anderen Proxies) dar. Die Aussage lautet dann, dass es deutlich wärmer und trockener war als im Durchschnitt. Die präzise Quantifizierung dieser Aussage ist von untergeordneter Bedeutung, da bei Klimaanalysen (d.h. der längerfristigen Entwicklung) einzelne Monate oder Jahre nicht von Bedeutung sind, wie in Kap. 3.3 noch gezeigt wird.

Witterungstagebücher, wie sie ab dem 15. Jahrhundert immer häufiger zur Verfügung stehen, stellen ein weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Überprüfung der Wahrnehmung und Objektivität verschiedener Zeiten dar. Sie ermöglichen die Erstellung von Wettertableaus, welche durch den Vergleich mit modernen Messungen helfen können, die Aussagekraft der Angaben einzuschätzen. So kann beispielsweise durch das Auszählen von Tagen mit Niederschlag und der Vergleich mit den zugehörigen Angaben über die thermischen Verhältnisse aus modernen Analogien die Glaubwürdigkeit überprüft werden (Glaser, 2008).

⁵Der Begriff der *Hermeneutik* wird im Zusammenhang mit der Interpretation historischer Quellen zur Klimarekonstruktion so verstanden, dass neben der quellenkritischen Betrachtung einzelner Quellen, die Aussagen im Vergleich mit anderen Quellen überprüft werden. Der Forschungsgegenstand ermöglicht dabei zusätzlich zu den geschichtswissenschaftlichen Kriterien, die Inhalte auf ihre klimatologische Plausibilität zu überprüfen (Glaser, 2008; Glaser u. a., 2008). Dieses Vorgehen wird in Kap. 2.2 vorgestellt.

1.2. Möglichkeiten und Grenzen

Die Erhebung von klimabezogenen Informationen aus historischen Quellen ist sehr zeitaufwändig und erfordert interdisziplinäres Arbeiten, da die Quellen sowohl nach geschichtswissenschaftlichen Kriterien bearbeitet werden müssen, aber auch einer klimatologischen Prüfung unterzogen werden. Die anschließende Verwendung für Klimarekonstruktionen erfordert zudem die Anwendung mathematischer Methoden. Aus diesem Grund wächst der Datenbestand, welcher für die Ableitung längerer durchgängiger Zeitreihen für unterschiedliche Regionen nötig wäre, nur sehr langsam an. Zudem ist die Verfügbarkeit dieser Daten auf die Zeit von schriftlichen Zeugnissen begrenzt, welche nur für einige Regionen der Erde zur Verfügung stehen, bzw. ist ihre Erhebung sehr zeitaufwändig und nicht für alle Regionen aufgrund politischer und finanzieller Hürden in absehbarer Zeit möglich. In Tab. 1.1 sind die Daten für den Beginn der Verfügbarkeit schriftlicher Zeugnisse für verschiedenen Regionen aufgeführt (Bradley, 1999).

Tab. 1.1.: *Verfügbarkeit schriftlicher Zeugnisse für verschiedene Regionen (Bradley, 1999).*

Region	erste schriftliche Zeugnisse
Ägypten	3000 v. Chr.
China	1750 v. Chr.
Südeuropa	500 v. Chr.
Nordeuropa	0
Japan	500
Island	1000
Nordamerika	1500
Südamerika	1550
Australien	1800

Diese räumliche und zeitliche Einschränkung stellt mit die größte Schwäche dieser Proxies im Vergleich mit anderen Klimazeigern dar. Für Mitteleuropa liegen inzwischen Quellen für max. 1200 Jahre vor. Für Spanien und Italien gibt es regionale Arbeiten zu ausgewählten Zeitabschnitten (Barriendos u. Llasat, 2003; Camuffo, 2004, 1993; Camuffo u. Enzi, 1995, 1994, 1996). Für andere Teile der Welt gibt es ebenfalls Arbeiten zu ausgewählten Abschnitten (siehe u.a. Grotzfeld, 1991; Wang u. Zhang, 1988; Ge u. a., 2002, 2003). Im Kapitel *Paleoclimatology* in Bradley (1999) findet sich eine gute Darstellung der Potentiale zur Klimarekonstruktion aus historischen Quellen für die verschiedenen Regionen.

Das Alleinstellungsmerkmal historischer Quellen stellt die hohe zeitliche Auflösung und Abdeckung dar. Kein anderer Proxy liefert Informationen zu allen Jahreszeiten. Da die Amplitude der Variabilität der Wintermonate deutlich höher ist als

1.2. Möglichkeiten und Grenzen

die der Sommermonate, unterschätzen viele natürliche Proxies, welche nur für das Sommerhalbjahr Daten liefern, die natürliche Variabilität des Klimas.

Die aus der Abdeckung für das gesamte Jahr resultierende Datenmenge relativiert die Unsicherheit, welche die Subjektivität der Bewertungen und deren klassifizierte Quantifizierung bedingt. Diese Klassifizierung der in den Quellen wiedergegebenen Beschreibungen der Witterung wird in Kap. 2.2 vorgestellt und diskutiert. Diese sogenannten Indizes reflektieren damit die Variabilität des Klimas der diesem Ort vorherrschenden Bedingungen. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung und häufig vorhandenen Fülle an Informationen, gleichen sich die Unschärfen, welche sich aus der Reduktion auf Klassen ergeben, im Mittel aus. Die Analyse zeigt, dass alleine Veränderungen in der Frequenz des Auftretens unterschiedlicher beschriebener Witterungen ausreichen, mittel- und langfristige Klimaänderungen zu beschreiben (siehe Kap. 3.5).

Weiterhin liefern historische Quellen direkte Beobachtungen der Witterung. Sie unterscheiden sich damit deutlich von den natürlichen Proxies, welche nur die Auswirkung der Witterungsbedingungen auf den Klimazeiger an dem jeweiligen Standort reflektieren. Damit zeigt sich zudem eine weitere spezielle Eigenschaft historischer Quellen: Die direkten Beobachtungen liefern räumlich und zeitlich integrierte Informationen in regionaler Auflösung, d.h. Angaben zu einem klar definierten Zeitraum einer Region und nicht eines Standortes mit zeitlich vager Zuordnung.

Als eine weitere Besonderheit stellen historische Quellen auch Informationen zu Extremereignissen und den entsprechenden Reaktionsmechanismen der Gesellschaft zur Verfügung (Pfister u. a., 1999). Dies bezieht sich sowohl auf Angaben zur Temperatur als auch zum Niederschlag. So werden beispielsweise Dürren bzw. Ernteaussfälle durch zu viel Niederschlag regelmäßig erwähnt. Aber auch zu schadbringenden Ereignissen wie Hochwassern lassen sich Zeitreihen und Fallstudien entwickeln (Glaser u. a., 2010; Sturm u. a., 2001; Deutsch u. a., 2010; Dostal u. a., 2007; Glaser u. Stangl, 2003; Jacobeit u. a., 2002).

Dem Zweifel, dass längerfristige Veränderungen durch historische Indizes nicht beschreibbar seien (siehe u.a. Esper u. a., 2005; Bradley, 1999) wird in den folgenden Kapiteln begegnet. Durch veränderte Wahrnehmung der Eigenschaften von mittel- und langfristigen Klimaänderungen kann gezeigt werden, dass ordinal skalierte Daten, welche aus historischen Quellen abgeleitet wurden (siehe Kap. 2.2), kein Hindernis für die Beschreibung solcher Änderungen darstellen.

1.3. Von der Klima geprägten Kultur zur Klima prägenden Kultur?

Der Begriff *Klimawandel* bezieht sich keineswegs nur auf die aktuellen Veränderungen, sondern ist ein grundlegender Wesenszug des Klimas. Über die gesamte Erdgeschichte hin hat sich das Klima immer den unterschiedlichen Einflüssen, wie z.B. extraterrestrischen Parametern oder Veränderungen der Atmosphärenchemie angepasst. Perioden mit eisfreien Polkappen wechselten mit Phasen von Eisbedeckung ab. Auf Phasen günstiger Klimabedingungen für den Menschen folgten Klimapessimismen. Und auch innerhalb dieser Grenzen wies das Klima schon immer eine hohe Variabilität auf. Keine dieser Phasen war frei von extremen Ausschlägen (siehe Abb. 1.2).

Das Klima hat somit seine eigene Geschichte, an welche die Geschichte der Menschheit eng gekoppelt ist (Diamond, 2005; Behringer, 2007). Die klimatischen Bedingungen und Phasen der Veränderung dieser Bedingungen haben unsere Lebensweise und Kultur geprägt: Landwirtschaft, Architektur, Ernährung, Kleidung und womöglich in einem sehr hohen Maße auch die kulturellen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen lassen sich direkt oder indirekt an klimatische Einflüsse koppeln. Dabei stellen die Veränderungen der regional vorherrschenden klimatischen Bedingungen die angepassten menschlichen Gesellschaften vor Herausforderungen, welchen manche Kulturen in ihrer etablierten Form nicht gewachsen schienen und damit vom Untergang oder zumindest von einem Niedergang bedroht waren.

Nach Behringer (2007) führte beispielsweise die zunehmende Trockenheit in der Sahara im warmen Atlantikum⁶ zu einer Konzentration der Bevölkerung in Niltal. Die Ressourcenverknappung bzw. räumliche Konzentration begünstigte die Bildung komplexerer Gesellschaftsformen mit einem hohen Maß an Arbeitsteilung und spezifischen Wirtschaftsformen, was eine wichtige Voraussetzung für die Entstehung der ägyptischen Hochkultur war. Die Römer profitierten u.a. von einer klimatischen Gunstphase, in welcher die eroberten Gebiete in Nordafrika als landwirtschaftlich ertragreiche Kolonien ein wichtiges Rückgrat des Reiches darstellten. Die Nordausdehnung des Reiches wurde durch das Abschmelzen der Gletscher in dieser Zeit begünstigt, welches die Alpenübergänge ganzjährig passierbar machte. Wie stark der anschließende Zerfall des Reiches an die zeitgleiche Klimadepression ab 400 gekoppelt ist, wird diskutiert (siehe beispielsweise Sirocko (2009, S. 150ff) und Behringer u. a. (2005, S. 89ff)).

⁶Als Atlantikum wird die wärmste Zeit des Holozän zwischen ca. 8000 bis 5000 v.Chr. bezeichnet (Gebhardt u. a., 2006).

1.3. Von der Klima geprägten Kultur zur Klima prägenden Kultur?

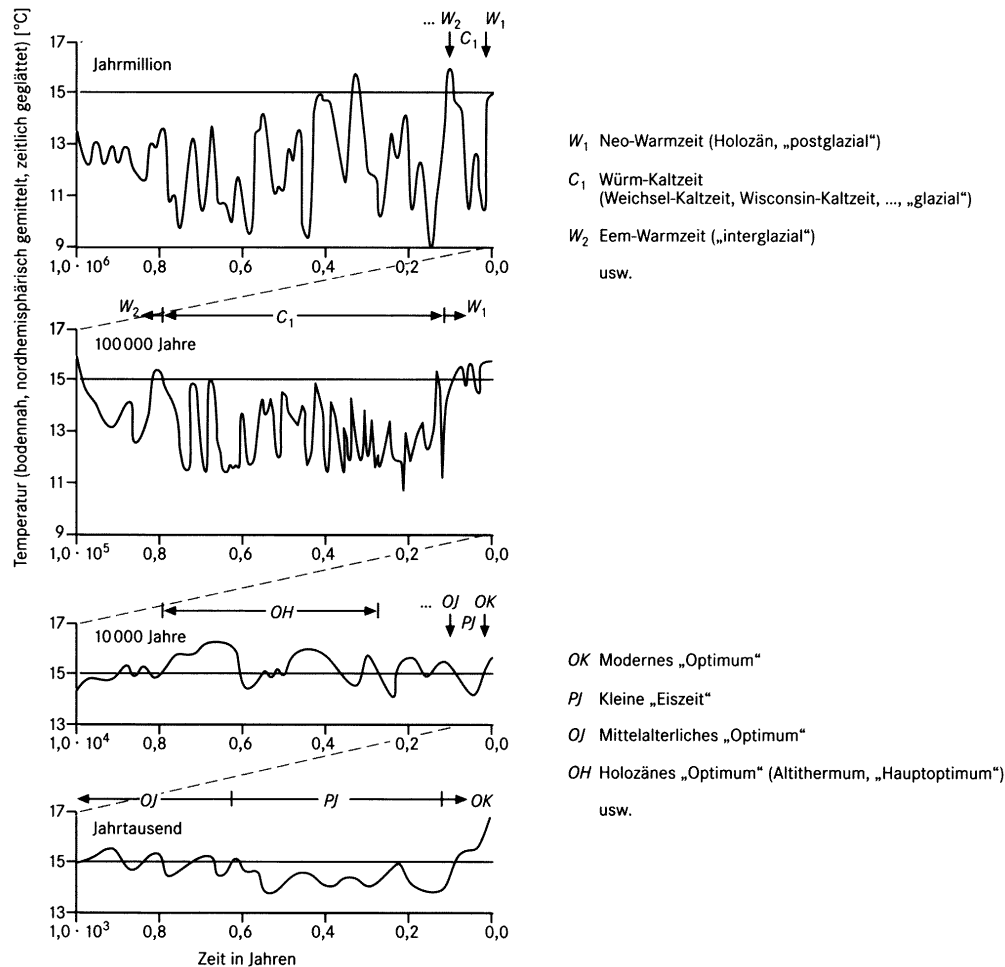


Abb. 1.2.: Klimaschwankungen der Erdgeschichte (verändert, nach Gebhardt u. a., 2006).

Für Mitteleuropa lassen sich ähnliche, ebenfalls klimabedingte Entwicklungen und damit verbundene Veränderungen nachzeichnen. Das Wärmeoptimum des Hochmittelalters (11.-13. Jhdt.) ging einher mit einer Zeit kultureller Blüte. Ein Höhepunkt der Schaffenskraft von Kunst und Architektur fällt in diese Zeit, welche als Gotik bekannt ist (siehe Sirocko (2009, S. 160ff), Behringer u. a. (2005, S. 109ff) und Glaser (2008)). In diesen Zeitraum fallen auch die Expansionsbewegungen der Wikinger, welche in dieser Zeit Grönland (Grünland) für sich entdeckten und dort Ackerbau betrieben (Behringer u. a., 2005, S.113ff). Die Erdbestattungen aus jener Zeit liegen heute im Permafrostboden und können kaum ausgegraben werden, so dass für diesen Raum zur Zeit des Wärmeoptimums die Temperaturen sicherlich über den heutigen lagen. Die anschließende Verschlechterung der Umweltbedingungen mit härteren

1. Historische Klimatologie

Wintern und verregneten Sommern in der *kleinen Eiszeit*⁷ in Mitteleuropa ab dem 14. Jahrhundert ist begleitet von Missernten, Hungersnöten und Sekundäreffekten wie religiösen Verfolgungen, Kriegen und Krankheiten, welche womöglich deutlich gravierender waren, als die eigentliche Klimaverschlechterung. Auch über Verlagerungen von Weinbaugebieten lassen sich die Klimaschwankungen ablesen: So wurde im Hochmittelalter bis nach Norwegen Wein angebaut und auch schon die Römer betrieben Weinbau bis nach Schottland und in den Norden Deutschlands (Lamb, 1989). Seit dem 15. Jahrhundert wich der Weinbau mehr und mehr nach Süden zurück (Behringer, 2007). Ähnliche Entwicklungen lassen sich auch für das Siedlungsverhalten der Menschen beobachten: In Skandinavien, Schottland und Nordengland wurden im 14. und 15. Jahrhundert in großem Ausmaß ganze Dörfer aufgegeben. Laut Behringer (2007) geschah dies nicht nur, weil ihre Bewohner starben; in diesem Fall wären andere gekommen, welche die Höfe bewirtschaftet hätten, sondern weil die Landwirtschaft wegen des veränderten Klimas nicht mehr rentabel war. In Norwegen sei die Hälfte der Dörfer betroffen gewesen, also jeder Hof, der höher als 200 Meter über dem Meeresspiegel lag.

Diese Beobachtungen weisen auf einen zusätzlichen Aspekt von Klimaveränderungen hin: ihre unterschiedliche regionale Ausprägung. Wenn inzwischen für einige Regionen vermutet wird, dass die heutigen Temperaturen über denen des mittelalterlichen Wärmeoptimums liegen, so deuten die Erdbestattungen auf Grönland und die Weinbaugrenzen darauf hin, dass in den nördlichen Breiten diese Umweltbedingungen heute womöglich noch nicht erreicht sind (Behringer, 2007).

Nach Behringer (2007) brachte der religiöse Fanatismus im 17. Jahrhundert in den gebildeten Kreisen eine Gegenbewegung hervor: die Aufklärung, ein Wiedererstarken der Wissenschaften und technische Neuerungen, welche letztlich zur industriellen Revolution führten. Ob diese Phase mit ihrer massiven Verbrennung fossiler Brennstoffe und weitgreifenderen Landnutzungsänderungen als in der Vergangenheit nun umgekehrt zu einer Einflussnahme auf das Klima geführt hat, ist Gegenstand der aktuellen Klimawandel-Debatte.

Fauna und Flora haben sich den klimatischen Bedingungen angepasst, und daran wiederum auch der Mensch. Nur in den Extremlagen, wie den Hochgebirgen oder den hohen Breiten wirken sich kleinere globale klimatische Veränderungen spürbar aus, welche in vielen anderen Regionen vom Biosystem gepuffert werden können. Aus diesem Grund stammen viele der natürlichen Proxies, wie z.B. Baumringe, auch aus diesen Regionen. Und nur in diesen Räumen gab der Mensch in den letzten 1000 Jah-

⁷Diese Bezeichnung wurde bereits 1929 durch den amerikanischen Glaziologen François Matthes geprägt (Behringer, 2007).

1.4. Einen Blick in die Zukunft wagen

ren tatsächlich Siedlungen auf. Die Menschen haben für die unterschiedlichen Klima- und Vegetationszonen der Erde angepasste Wirtschaftsformen entwickelt. Die mittelfristigen klimatischen Veränderungen der letzten 1000 Jahre sind im Vergleich zu den Fauna und Flora prägenden Klimaschwankungen wie Eiszeiten jedoch gering. Viel stärker waren die Menschen wahrscheinlich von witterungsbedingten und damit kurzfristigen Extremfällen beeinflusst. Womöglich haben erst die Häufungen solcher Katastrophen den wirtschaftenden Menschen beeinflusst. Solche Häufungen können retrospektiv als mittelfristige Klimaänderung identifiziert werden, wurden aber von den betroffenen Menschen zuerst als Einzelereignisse oder Serie von Einzelereignissen wahrgenommen.

Die mittel- und langfristigen Klimaschwankungen der letzten 1000 Jahre werden deshalb als Häufungen gleichgerichteter Klimaanomalien eines relativ stabilen Klimas mit gleichbleibenden Witterungsmustern gesehen werden (Corti u. a., 1999). Vor dem Hintergrund einer hohen interannualen und monatlichen/saisonalen Variabilität mit großen Amplituden wird für die vorliegende Arbeit angenommen, dass ein Mensch schon innerhalb von fünf bis zehn Jahren einen Großteil der möglichen Witterungszustände kennenlernt. Diese Unterschiede in der Ausprägung verschiedener Witterungen fallen für Mitteleuropa sehr deutlich aus, so dass beispielsweise die Einschätzung eines *kalten Winters* für die letzten 1000 Jahre eine eindeutig Klasse umfasst. Zwar mögen sich die tatsächlichen Temperaturen unterschieden haben, für die Analyse der Klimaentwicklung ist dies jedoch nicht relevant, wie in den folgenden Kapiteln noch gezeigt wird: Der Umstand, dass historische Quellen Angaben zu allen Jahreszeiten machen, lässt solche Unsicherheiten zudem in der Menge der Informationen im Mittel verschwinden und auch einzelne Perioden mit abweichender Klassifizierung irrelevant erscheinen.

1.4. Einen Blick in die Zukunft wagen

Neben der Suche nach historischen Analogien zu modernen Witterungsereignissen, um diese klimatisch einordnen zu können, bietet der Vergleich langer Reihen mit Prognosen aus Klimamodellen die Möglichkeit, durch Eingrenzung der möglichen Klimaentwicklung eine höhere Prognosegüte zu erreichen. Diese Modelle entwerfen nur mögliche Klimaentwicklungen in einer *idealen Welt*, aus welchen dann diejenigen gewählt werden, welche mit gemessenen Werten die höchste Übereinstimmung aufweisen. Durch die Veränderung der Klima steuernden Faktoren wie der Atmosphärenchemie lassen sich darüber hinaus die Prozesse besser verstehen und der mögliche Einfluss des Menschen auf dieses System abschätzen. Die räumliche und

1. Historische Klimatologie

zeitliche Integration, welche durch die Aussagen in den historischen Quellen vorgenommen wird, ermöglicht eine besonders gute Vergleichbarkeit mit Modelldaten, da auch diese größere Raumeinheiten in klar definierten Zeitabschnitten simulieren. Grundsätzlich müssen jedoch Einschränkungen bei der Interpretation von Klimaszenarien beachtet werden, welche sich aus den Eigenschaften komplexer Systeme ergeben und welche im Folgenden diskutiert werden.

1.4.1. Unvorhersagbarkeit als Prinzip

Jedes größere System, selbst wenn es uns vermeintlich als konstant erscheinen mag, stellt im Grunde nur die Mittlung der Effekte aus allen, dieses System aufbauenden Komponenten dar, welche ihrerseits eine (nicht immer erfassbare) Variabilität aufweisen (Hense, 2002).

Das deterministische Chaos

Am Beispiel der einfachen Iteration einer beliebigen Variable Y (siehe von Storch u. Zwiers, 1999)

$$Y_{i+1} = Y_i \cdot r(1 - Y_i) \quad (1.1)$$

lassen sich viele Überlegungen zur Möglichkeit der Vorhersagbarkeit der Entwicklung von Systemen zeigen. Dies bezieht sich sowohl auf die Rekonstruktion solcher Systeme als auch auf Vorhersagen über deren Entwicklung. Der Faktor r ist dabei eine zufällige Skalierungsgröße. In Abb. 1.3 sind die möglichen Entwicklungen der Iteration bei leicht veränderten Startwerten, bzw. bei leicht veränderten Werten des Faktors r dargestellt.

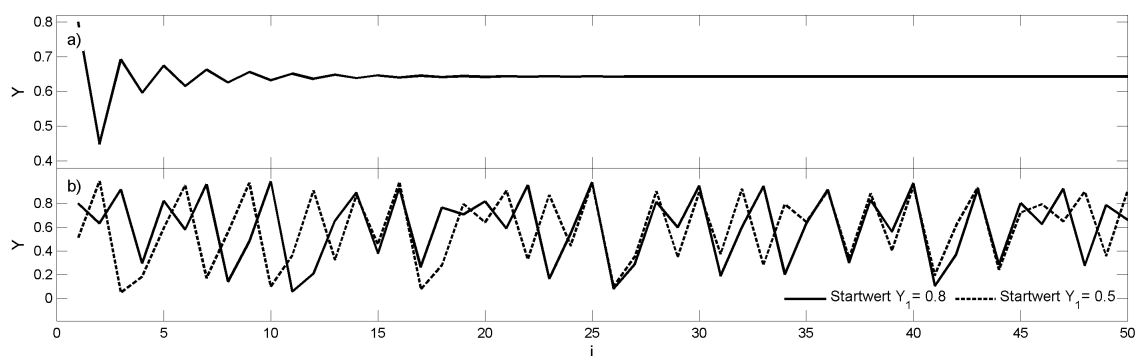


Abb. 1.3.: a) Darstellung der Iteration $Y_{i+1} = Y_i \cdot r(1 - Y_i)$ mit dem Startwert $Y_1 = 0,8$ und $r=2,8$. b) Dieselbe Iteration mit $Y_1 = 0,8$ und $r=3,95$ und einem veränderten Startwert $Y_1 = 0,5$.

1.4. Einen Blick in die Zukunft wagen

Es ist deutlich zu sehen, dass bei Veränderung des Faktors r oder des Startwertes Y_1 die Kurve ein jeweils völlig anderes Verhalten zeigt: vom Konvergieren zu einem Grenzwert (a) bis hin zu chaotischem Verhalten (b). Dabei soll hier der Begriff *deterministisches Chaos* (von Storch u. a., 1999) verwendet werden, um zu unterstreichen, dass zwar die zugrunde liegende Regel bekannt und präzise sein kann, das System aber doch chaotisches Verhalten zeigen kann. Der chaotische Charakter wird deutlich bei Wiederholung derselben Rechnung mit jedoch leicht veränderten Startwerten (beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Genauigkeit) oder minimal veränderten Parametern. Die Kurven (in Abb. 1.3, b) zeigen jeweils völlig unterschiedliches Verhalten. Folglich ist es auch umgekehrt nicht möglich, aus dem Wissen über den Kurvenverlauf und unter Kenntnis der zugrunde liegenden Regel auf die Parameter zurückzuschließen, wenn von verschiedenen Genauigkeiten bzw. Fehlern ausgegangen werden muss, wie dies in jedem realen System, so auch dem Klimasystem, der Fall ist (von Storch u. a., 1999).

Rauschen als Konsequenz thermodynamischer Gesetze

Thermodynamische Systeme wie das Klimasystem unterliegen Fluktuationen, welche sich in erster Näherung mit den bekannten linearen Zusammenhängen zwischen thermodynamischen Zustandsgrößen beschreiben lassen. Da sich die Atmosphäre nicht im starren Gleichgewicht befindet (es existieren veränderliche Energieeinträge und -abgaben sowie -ströme), sind solche Fluktuationen ein charakteristisches Merkmal der Prozesse in der Atmosphäre. Sie begleiten die Ausgleichsbewegungen eines thermodynamischen Systems, welches dem Gleichgewicht zustrebt und werden als interne Variabilität bezeichnet. Symmetriebrüche in den Randbedingung (Land-See-Verteilung, Orographie) führen dazu, dass die Intensität dieser Schwankungen regional sehr verschieden ist (Adrian, 2002). Die bestimmenden Faktoren für diese Veränderlichkeiten sind bei globaler Betrachtung (Raum > 200 km, Zeit > 1 Tag) die baroklinen und u.U. barotropen⁸ Instabilitäten der atmosphärischen Strömungen. Diese liegen in der global unterschiedlich verteilten Einstrahlung und den daraus resultierenden meridionalen Temperaturgradienten begründet. Jene Asymmetrien in den unteren Schichten der Atmosphäre stellen kleine Strömungen dar, welche sich durch Instabilitäten der mittleren Strömung exponentiell verstärken können (Hense, 2002). Durch Advektion und Reibung sind die Auswirkungen dieser Störungen nicht von unbegrenzter zeitlicher Dauer. Durch die Advektion kommt es zur Aufnahme der durch die Störung in das System eingebrachten Energie in die Wellenbewegung.

⁸Barotropie: Parallelität der Flächen gleichen Drucks und gleicher Temperatur. Gegenteil zur Baroklinität.

1. Historische Klimatologie

gen der atmosphärischen Strömungen. Bei mindestens drei beteiligten Wellen, mit leicht unterschiedlicher Amplitude kommt es zu dem bekannten *Schmetterlingseffekt* (Lorenz, 1964): Erst nach einer Zeit, welche deutlich über der Wachstumszeit der Störung liegt, kann es an anderer Stelle zu (unerwarteten) Auswirkungen kommen.

Diese Fortpflanzung kleiner Störungen über längere Verläufe, wie sie für mittelfristige Änderungen durch Lorenz (1964) beschrieben wurde, aber auch die grundsätzlichen Überlegungen zum *deterministischen Chaos* führen zu zwei Fragen, aus welchen sich mögliche Beschränkungen für das mögliche Verständnis des Klimasystems ableiten lassen:

1. Lassen sich Informationen aus einer Region zur Rekonstruktion der globalen/hemisphärischen Temperaturentwicklung verwenden und wenn ja, in welchem Maße?
2. Ist es möglich, aus der Kenntnis nur kurzer Zeitabschnitte längerfristige Prognosen abzuleiten?

Die Beschränkung, welche sich aus der zweiten Frage ergibt, ist bekannt und hat bereits zu einer verstärkten Wahrnehmung der Paläoklimatologie geführt, deren Erkenntnisse für die Validierung der Computermodelle Verwendung finden.

Die Regionalisierung der Klimainformationen ist eine weitere Notwendigkeit, welche sich aus der ersten Frage ergibt. Sie hat sich inzwischen bei der Klimafolgenforschung durchgesetzt, welche die regionalen Unterschiede der erwarteten Veränderungen zu berücksichtigen sucht. In der Paläoklimatologie wird jedoch häufig noch durch eine Zusammenführung mehrerer Reihen zu einer globalen oder jeder Hemisphäre zugeordneten Reihe das Signal geglättet und die relevanten Informationen ausgelöscht.

1.5. Zusammenfassung Historische Klimatologie

Für Europa liegt mit der Verfügbarkeit historischer Quellen weltweit einzigartiges Datenmaterial zur Rekonstruktion historischer Klimabedingungen vor. Über viele Jahre wurden Hinweise aus historischen Quellen in mühevoller Archivarbeit zusammengetragen und Methoden entwickelt, um die enthaltenen Informationen systematisch erfassen und auswerten zu können.

Historische Quellen stehen nur für wenige Regionen der Erde in ausreichender Menge zur Verfügung, um detaillierte Rekonstruktionen der Klimageschichte zu ermöglichen. Auch wenn andere Proxies meist ebenfalls nur für spezielle Regionen

1.5. Zusammenfassung Historische Klimatologie

brauchbare Ergebnisse liefern, so wiegt bei den historischen Quellen deren räumliche Einschränkung besonders schwer, da sie momentan v.a. nur für die nördliche Hemisphäre verfügbar sind und damit nicht ausreichen, um weltweite Rekonstruktionen des Klimas vorzunehmen. Weiterhin ist ihre maximale zeitliche Abdeckung beschränkt und damit nicht für alle Fragestellungen der Paläoklimatologie ausreichend.

	natürliche Archive	gesellschaftliche Archive
Klima-Information	indirekte Hinweise	direkte Beobachtungen, indirekte Hinweise
Daten-Typ	kontinuierliche Werte	Klassen, kontinuierliche Werte
räumliche Zuordnung	meist Standort	Region, Standort
Zeitintervall und Datierung im Jahr	variabel	eindeutig
Datierung	häufig nur Näherung	meist möglich
max. zeitliche Auflösung	saisonal	stündlich
zeitl. Abdeckung im Jahr	ein Zeitraum	alle Jahreszeiten

Abb. 1.4.: Vergleich von natürlichen und gesellschaftlichen Archiven.

Diesen Einschränkungen stehen eine Vielzahl an Vorteilen und Besonderheiten gegenüber, welche in Abb. 1.4 stichpunktartig zusammengefasst sind. Historische Quellen liefern als einziger Proxy direkte Informationen zu Witterung und Klima. Bei allen anderen Klimazeigern kann nur indirekt auf die seinerzeit vorherrschenden Witterungsbedingungen geschlossen werden. Zusätzlich liefern historische Quellen indirekte Hinweise durch Angaben über Erntedaten, beobachtete Vegetationsphasen sowie physikalisch begründeten Indikatoren, wie den Zeitpunkt des Zufrierens oder Auftauens bestimmter Gewässer. Aus diesen Datierungen kann ebenfalls auf die Witterungsbedingungen geschlossen werden.

Die hohe zeitliche Auflösung und die präzise Zuordnung im Jahresgang ist ein wichtiger Unterschied zu den natürlichen Archiven. Deshalb werden historische Quellen häufig von diesen Disziplinen zur Datierung ihrer Proben verwendet (z.B. Vulkanascheschichten in Eisbohrkernen). Die niedergeschriebenen Beobachtungen können neben der präzisen Datierung (und damit einer Art zeitlichen Integration) auch als räumliche Integration verstanden werden: Natürliche Proxies reflektieren prinzipiell in erster Linie die Standortbedingungen, wohingegen der historische Beobachter Aussagen über eine von ihm definierte Region macht. Die räumliche Disparität der Informationen aus historischen Quellen kann zusätzliche Informationen über die großräumige Wettersituation geben, bzw. es lässt sich aus dieser Struktur auch die Glaubwürdigkeit der Daten überprüfen.

1. Historische Klimatologie

Inhaltlich wie in der Anforderung an die Methoden zur Verwendung als Klimazeiger weisen historische Quellen eine Besonderheit auf, welche ihnen einen besonderen Stellenwert in der Paläoklimatologie einräumt: Sie liefern Informationen zu allen Jahreszeiten. Bereits bei saisonal aufgelösten Angaben mit jeweils drei möglichen Zuständen pro Jahreszeit ergeben sich neun mögliche Abstufungen für ein Jahr. Aufgrund dieser Differenzierung sind sie trotz der Reduktion auf eine klassifizierte Bewertung in der Lage, die natürliche Klimavariabilität zu beschreiben. Welchen Einfluss die Subjektivität dieser Klassifizierung auf die Rekonstruktionsgüte hat, wird in dieser Arbeit untersucht werden.

Durch die räumliche und zeitliche Integration, d.h. die eindeutige Zuweisung der Informationen zu einem Gebiet und einem eindeutigen Zeitabschnitt, bieten sich historische Quellen wie kein anderer Proxy zum Vergleich mit Klimamodellen an. Auch wenn diese nur Szenarien entwerfen, so liefern sie doch einen ähnlichen Datentyp und können für die Analyse langfristiger Entwicklungen verwendet werden.

Durch die Analyse der Frequenz des Auftretens bestimmte Witterungsmuster aus historischen Quellen und von Simulationsläufen von Klimamodellen kann wechselseitig die Rekonstruktionsgüte überprüft werden. Vielleicht wird es aus diesem Vergleich möglich, die Unsicherheiten der Klimamodellierungen zu reduzieren. Die für historische Quellen gewonnen methodischen Erkenntnisse können auch helfen, weltweit vorliegende Klimadaten aus natürlichen Archiven zu kombinieren und damit die Aussagekraft der Modellierungen deutlich zu erhöhen.

2. Datenlage in Mitteleuropa

Die Historische Klimatologie ist in besonderem Maße bemüht, eine ganzheitliche Sichtweise bei der Bewertung der Informationen aus historischen Quellen zu berücksichtigen, indem sie neben der Quellenkritik nach geschichtswissenschaftlichen Maßstäben auch naturwissenschaftliche Erkenntnisse bei der Beurteilung der Quellen einbezieht. Neben der kritischen Betrachtung der Lebensumstände des Autors müssen die wiedergegebenen Aussagen auch klimatologisch und physikalisch sinnvolle Muster beschreiben.

Die in den historischen Quellen beschriebenen Witterungsformen und -folgen stellen eine räumliche und zeitliche Mittlung dar, da sich die Beschreibungen meist auf definierte Regionen und Zeiträume beziehen. Sehr viele natürliche Klimaarchive, wie zum Beispiel Bäume, repräsentieren hingegen die Bedingungen an einem speziellen Standort und dies für einen zeitlich nicht eindeutig definierten Zeitraum hinweg. Das Gleiche gilt ebenfalls für Instrumentenmesswerte, welche durch den Ort und die Art der Aufnahme beeinflusst und dadurch u.U. systematisch verzerrt sind, so dass auch diese Werte nicht immer als Repräsentation einer Region verwendet werden können (Schönwiese, 2005). Dem gegenüber steht der subjektive Charakter der in den historischen Quellen zum Ausdruck gebrachten Beobachtungen und Beschreibungen. Um unseren an Standards gewöhnten Erkenntnishorizont zu erweitern, ist es nötig, über belastbare Verfahren zu verfügen, um zwischen den Informationen aus verschiedenen Zeiten und mit entsprechend anderen Standards Beziehungen zu unserer aktuellen Informationswahrnehmung und -verarbeitung herzustellen. In Abb. 2.1 ist diese Veränderung der Prägung durch Zeitgeist und Kultur schematisch dargestellt.

Vielleicht wird es somit auch möglich, umgekehrt die heutige, naturwissenschaftlich geprägte Betrachtungsweise kritisch zu sehen und unsere Wahrnehmung zu erweitern. Dies bedeutet in unserem Wissenschaftsbild eine interdisziplinäre Erfassung der Informationen und die Schaffung einer Schnittstelle zwischen verschiedenen Disziplinen.

Die Betrachtung von Zeitreihen verschiedener Klimaparameter wie Temperatur, Niederschlag, aber auch über das Auftreten von Hochwasserereignissen, ermöglicht, ein möglichst genaues Bild der klimatischen Bedingungen in der Vergangenheit zu

2. Datenlage in Mitteleuropa

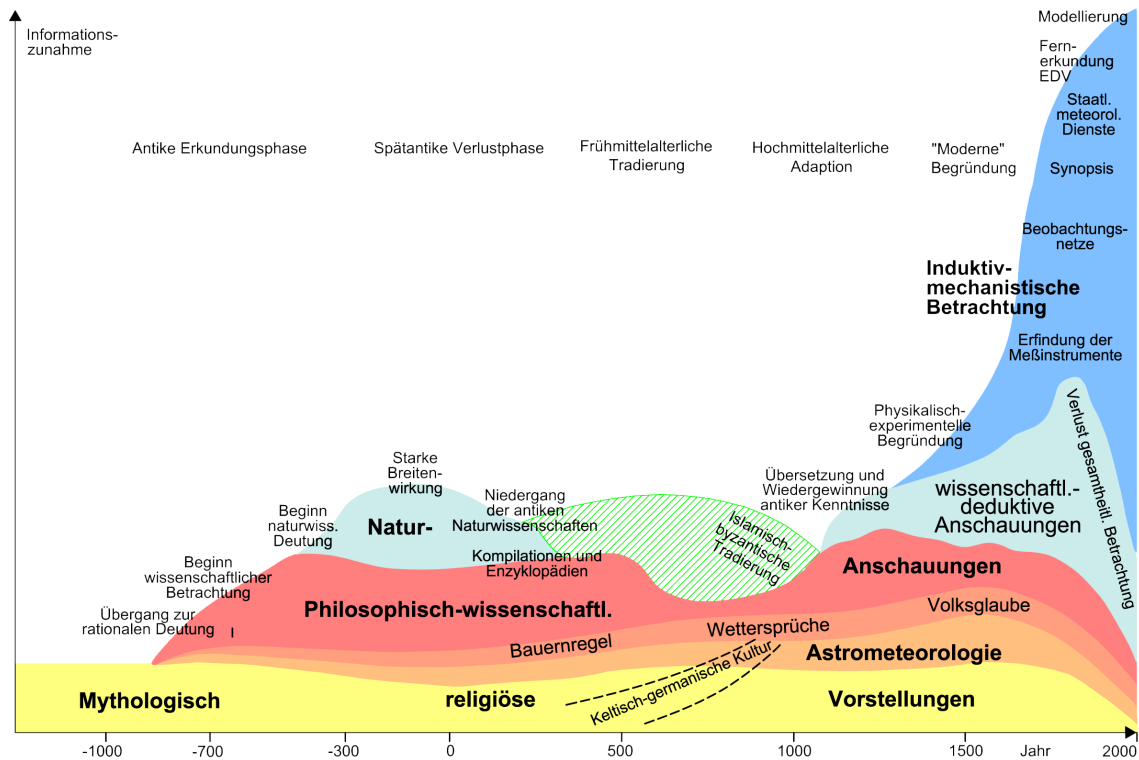


Abb. 2.1.: Veränderung der Informationsdichte der Datenqualität in verschiedenen kulturhistorischen Epochen (aus Glaser, 2008).

zeichnen und zeitlich, räumlich und phänologisch¹ zueinander in Beziehung zu setzen. Darüber hinaus lassen sich die Reaktionsmechanismen der Gesellschaften ebenfalls analysieren. Durch diese ganzheitliche (hermeneutische) Betrachtung ist es möglich, die Qualität der Informationen zu überprüfen sowie eine systematische Quantifizierung durchzuführen.

2.1. Am Anfang war das Wort

Die vielen uns heute verfügbaren schriftlichen Hinterlassenschaften unserer Vorfahren sind in Art und der ursprünglichen Motivation ihrer Entstehung äußerst unterschiedlich: Stadtchroniken, Tagebücher, Abrechnungen, Ernteberichte, Katastrophenmeldungen u.v.a.m. Einige Quellen, wie beispielsweise die Stadtchroniken, sind explizit zur chronologischen und längerfristigen Dokumentation angelegt worden.

¹„Wissenszweig der Klimatologie, der sich mit der jährlichen Wachstumsentwicklung der wildwachsenden und kultivierten Pflanzen in Abhängigkeit von Witterung und Klima befasst.“ (Leser, 1997)

2.1. Am Anfang war das Wort

Die meisten Quellen hingegen sind für die Verwendung in ihrer Zeit geschrieben worden und haben oft nur zufällig ihren Weg durch die Wirren der Geschichte bis zu uns gefunden. Gemein ist den meisten dieser schriftlichen Zeugnisse, dass sie nicht mit der Absicht verfasst wurden, direkte Auskünfte über das Wettergeschehen zu liefern. Vielmehr erscheinen diese Informationen häufig als Hintergrundinformationen bzw. lässt sich aus den Angaben nur indirekt auf die Witterungssituation schließen. Aufzeichnungen über Ernteerträge, den Beginn der Ernte und deren Dauer wurden häufig aufgrund administrativer und ökonomischer Verpflichtungen niedergeschrieben. Der deutliche Zusammenhang zwischen dem Erntedatum und den Temperaturen im Frühsommer ermöglicht jedoch, auch diese Daten zur Klimarekonstruktion zu verwenden (siehe u.a. Meier u. a., 2007). Ein weiteres gutes Beispiel hierfür ist der Zusammenhang zwischen den Januar- und Februar-Temperaturen und der Dauer der Eisbedeckung im Hafen von Stockholm. Das Aufbrechen der Eisdecke und die damit verbundene Möglichkeit den Warentransport wieder aufzunehmen, wurde von den administrativen Stellen in Stockholm genau registriert und eröffnet uns heute die Möglichkeit, daraus die Temperaturen für Januar und Februar zu rekonstruieren (Leijonhufvud u. a., 2008).

Betrachtet man die Art der Quellen, ihre Aussagekraft und v.a. die Dichte der Abdeckung, so lassen sich für Mitteleuropa für die letzten 1200 Jahre fünf Phasen unterscheiden (Glaser, 2008; Glaser u. Riemann, 2009b):

1. Die ältesten Quellen stammen aus dem 8. Jahrhundert und liefern eher sporadisch Beschreibungen zu Einzelereignissen und Naturkatastrophen, nur selten mit klimatologisch verwertbaren Angaben (Nordlichter, Erdbeben, ...). Die Zeit nach 1000, geprägt vom Aufstieg des Ottonenreichs (um 936), brachte mit der kulturellen Entwicklung auch eine Zunahme des Interesses am geschriebenen Wort und an Dokumentationen mit sich. Für diese Zeit ist die räumliche Zuordnung nicht immer exakt möglich, da sich den historischen Namen öfters keine moderne Ortsbezeichnung zuordnen lässt. Für diese Zeit gibt es auch in der Dichte und Abdeckung der Quellen größere Fluktuationen. Ab dem 11. Jahrhundert nimmt die Dichte der Quellen und die Genauigkeit der wiedergegebenen Informationen zu.
2. Seit dem späten Mittelalter (um 1300) liegen sowohl nahezu lückenlose Beschreibungen von Sommer und Winter, als auch zunehmend Informationen zu den Übergangsjahreszeiten vor. Von besonderer Bedeutung für das Mittelalter sind die Quellen der *Monumenta Germaniae Historica* (MGH - Pertz, 1826) sowie die *Chroniken deutscher Städte* (CDS). Die MGH ist inzwischen zu Teilen

2. Datenlage in Mitteleuropa

digitalisiert und über eine virtuelle Bibliothek² verfügbar. Viele dieser Quellen, welche in Latein und regionalen mittelhochdeutschen Dialekten verfasst wurden, enthalten differenzierte Angaben zu Jahreszeiten, Einzelereignissen, Extremen sowie phänologische Angaben.

3. Die Entwicklung des Buchdrucks im 15. Jahrhundert veränderte die Quellenlage grundlegend: Immer mehr Menschen konnten lesen und schreiben, so dass es nahezu kontinuierliche Beschreibungen der monatlichen Witterungsverhältnisse gibt. Priore von Klöstern und ebenfalls Bürger beschreiben in Tagebüchern die (agrarwirtschaftlichen) Bedingungen in Abhängigkeit von der Witterung und die Ernteergebnisse. In den Stadtchroniken finden sich ausführliche Schadensbeschreibungen zu Naturkatastrophen und deren Kosten für die Städte.
4. Seit 1680 tauchen sporadische Instrumentenmessungen auf, die jedoch noch nicht systematisch durchgeführt und erfasst wurden. Für kurze Zeiten gab es bereits erste funktionierende Messnetzwerke, wie die *Societas Meteorologica Palatina* (SMP), welche den Beispielen der *Royal Society* in England, der *Royale Société de Médecine de Paris* und der *Accademia dei Lincei* in Italien folgten (Glaser, 2008). Die SMP etablierte für den Zeitraum 1781-1793 ein Netzwerk aus Messstationen von Nordamerika bis nach Russland, welches als erstes standardisierte Messinstrumente einsetzte und darüber hinaus Wetterbeschreibungen lieferte.
5. Im 19. Jahrhundert wurden auf der Basis von geeichten Instrumenten amtliche Messnetze eingerichtet. Der erste internationale meteorologische Kongress fand 1873 in Wien statt und führte zur Einführung von nationalen meteorologischen Diensten. Der Übergang bzw. die Abgrenzung der quellenbasierten Angaben zu den Instrumentenmessungen ist meist fließend. Je nach Definition werden beide Daten begrifflich sogar zusammengefasst (Glaser, 2008).

Mit den Veränderungen in der Datengrundlage muß sich auch die quellenkritische Beurteilung wandeln. Art, Dichte der Quellen und der Zeitgeist haben sich durch die Jahrhunderte ständig gewandelt (siehe Abb. 2.1). Herausforderungen bei der quellenkritischen Interpretation liegen bei den Annalen und zum Teil auch bei den Chroniken in ihrer geographischen Zuordnung, in der Klärung der zeitlichen Stellung sowie in den von den Chronisten benutzten Vorlagen und Abhängigkeiten, was insbesondere für die Zeit vor dem 11. Jahrhundert gilt. Zur Quellenkritik im Speziellen ist

²www.mgh.de (1.7.2010)

neben den Einleitungen zu den Quellen in der MGH nach wie vor auf „Deutschlands Geschichtsquellen im Mittelalter“ (Wattenbach u. a., 1991) zu verweisen. Daneben bieten auch die einleitenden Kommentare zu einzelnen edierten Quellen aus der Reihe der *Freiherr von Stein-Gedächtnisausgaben* eine gute Einführung (Glaser, 2008).

Einen wichtigen Wendepunkt in der Quellenlage stellt das 15. Jahrhundert dar, ab welchem die Schriftlichkeit sprunghaft zugenommen hat, da nun auch weitere Teile der Bevölkerung in die Herstellung von Schriftgut eingebunden waren. Ab dieser Zeit liefern uns die Quellen ein zunehmend differenzierteres Bild, welches sich auf eine breite Datengrundlage stützen kann. Neben sporadischen Aufzeichnungen in Jahrbüchern oder Stadtchroniken finden sich seit dieser Zeit auch regelmäßige, klimatologische und witterungsklimatische Aufzeichnungen in Form von Witterungstagebüchern. Diese sind mitunter derart differenziert, dass ein klimatologisch versierter Leser aus den oft mehrmals täglich vermerkten Beobachtungsangaben auf bestimmte Wetterlagen und Witterungsverläufe schließen kann. Neben der Einschätzung der Temperatur sind in der Regel die Niederschlagsverhältnisse in verschiedenen Abstufungen wiedergegeben. Ebenso finden sich Hinweise auf Himmelsbedeckung, Windwirkung und sonstige Besonderheiten. Sehr häufig wird auch auf die Phänologie Bezug genommen oder auf die Preisentwicklung verwiesen, wobei ein besonderes Interesse dabei dem Wein galt. Oft waren die Beobachter in besonderem Maße um Objektivität bemüht, indem sie beispielsweise das regelmäßige Überfrieren eines bestimmten Weihers notierten oder ihre Einschätzungen mit weiteren Vergleichen verbanden (Glaser u. Riemann, 2009a).

2.2. Texte in Zahlen fassen

Historische Quellen bieten erst durch eine integrative Zusammenschau die Möglichkeit, ein glaubwürdiges und aussagekräftiges Bild der Witterung zu zeichnen. Oft sind es nur Fragmente und kurze Zitate, welche Hinweise auf Ereignisse und Umweltbedingungen geben. Häufig aber zeichnen sich die Quellen durch eine Fülle an Details aus und das Bemühen, die Aussagen durch Vergleiche mit anderen Ereignissen und Beobachtungen zu objektivieren. Durch Betrachtung aller verfügbaren Quellen eines Zeitabschnittes lassen sich die Dokumente quellenkritisch prüfen und die gewünschten Informationen extrahieren.

Die standardisierte Auswertung der Witterungsbeschreibungen erfolgt nach ihrer quellenkritischen Überprüfung anhand der Wortbedeutung: Zunächst werden die witterungsbezogenen Wortbegriffe hierarchisch geordnet. Diese so genannten semantischen Profile (Glaser, 2008) bringen die Wertinhalte bzw. verschiedene Intensitäts-

2. Datenlage in Mitteleuropa

niveaus zum Ausdruck. Die Klassifizierung der Aussagen erfolgt unter Betrachtung aller verfügbaren Quellen des Chronisten und unter Einbeziehung seiner Lebensumstände und des vorherrschenden Zeitgeistes. Der anschließende Vergleich mit Quellen anderer Autoren bietet eine Möglichkeit zur Überprüfung der Interpretationen. Als besonders hilfreich erweisen sich für die Ableitung der Intensitätsniveaus oft die in den Quellen enthaltenen Darstellungen der Folgen, wie beispielsweise über Schäden infolge eines Hochwassers oder Auswirkungen auf die Ernte.

Zusätzlich zu diesem hermeneutischen Zugang eröffnet der naturwissenschaftliche Inhalt weitere Kriterien der Beurteilung: Die beschriebenen Witterungsverhältnisse müssen auch im klimatologischen Sinne konsistent sein. Durch die Einbeziehung physikalisch basierter Informationen, wie das Zufrieren bestimmter Gewässer und phänologischer Beobachtungen lassen sich die Aussagen zusätzlich überprüfen und auch mit anderen Zeiten in Bezug setzen. Die Beurteilung der Unsicherheit durch mögliche unterschiedliche Wahrnehmung mehrerer Autoren, durch Veränderungen von Wortbedeutungen mit der Zeit und mögliche Anpassungen an veränderte Klimabedingungen wird später diskutiert werden (siehe u.a. Kap. 3.1).

Ergebnis dieser Klassifizierung sind so genannte Indizes, die bereits als semiquantitative Zeitreihen angesehen werden können. Ab ca. 1500 liegen die Daten in ausreichender Dichte und Genauigkeit vor, um für jeden Monat sieben Klassen unterscheiden zu können: extrem heiß, bzw. nass erhält z.B. den Wert +3, sehr warm, bzw. nass +2, überdurchschnittlich +1, normal oder durchschnittlich hingegen den Wert 0; entsprechend werden auf der negativen Skala die verschiedenen Abstufungen umgesetzt (siehe Tab. 2.1). Ab dem Jahr 1500 liegen für Mitteleuropa für alle Monate sowohl thermische als auch hygrische³ gewichtete Indizes in einer siebenstufigen Skala vor (Glaser, 2008). Gewichtet bedeutet, dass die Verteilung der sieben Klassen den tatsächlich beobachteten Häufigkeiten entsprechen muss, dass also normale Werte entsprechend häufig auftreten, wohingegen die extremen Werte definitionsgemäß nur sehr selten klassifiziert werden. Eine statistische Analyse der Daten nach diesen Kriterien erfolgt in Kap. 2.3.1.

Vor 1500 ermöglichen die Daten häufig nur saisonale Angaben und sind zudem weniger detailliert. Das in den Beschreibungen zum Ausdruck gebrachte Über- bzw. Unterschreiten des klimatologischen „Normalzustandes“ einer Saison wird deshalb durch die Werte +1 und –1 wiedergegeben. Als normal empfundene Abschnitte erhalten den Wert „0“. Diese Indizes sind nicht gewichtet, so dass hier näherungsweise von einer Gleichverteilung über die drei Klassen ausgegangen wird. Auch diese Daten

³Informationen, die sich v.a. auf den Niederschlag beziehen, aber auch Aspekte wie Luftfeuchtigkeit (u.a. Nebel) beziehen.

Tab. 2.1.: *Beschreibung und Erläuterung der siebenstufigen Indizes (aus Glaser, 2008).*

Index	Beschreibung
−3	außerordentlich kalt, im Winter sehr scharfer Frost, sehr kalt, scharfe Kälte, empfindlich kalt, Menschen und/ oder Vieh erfroren, langanhaltendes Überfrieren von Flüssen und Seen, Küste flächenhaft mit Eis besetzt, Bäume zeigen Frostrisse, Versorgungskrise ggf. administrative Maßnahmen zur Linderung der Versorgungskrise, Einstellung des Mühlbetriebes, Wild in Siedlungen. Im Winter: überkalter Winter, großer steter kalter Winter, schrecklich grausam kalt, grimmig kalt, grimmkalter Winter, großer langer kalter Winter, dessen sich man kaum gedenkt; über alle Maß strenge Kälte, Vögel erstarren in den Lüften im Sommer: Ernteausschlag bei Wein (bun(d)tsauer), Heu (Fäule), Unzeitigkeit bei Feldfrüchten mit Nahrungskrise, extrem lang andauernde Wolkendecke
−2	Sommer (und Frühjahr) kalt, im Sommer außergewöhnlich lang andauernde Regenfälle, kalte Nordwinde, schlechte Weinernte (Wein sauer), schlechte allgemeine Ernte, kalt unfruchtbar, vast kalt, so kalt als in der Winterszeit Winter sehr kalt, harter Winter, scharfer Frost, sehr starker Frost, langanhaltender Frost, vor der Küste Eisraum, sehr streng, steter und kalter Winter, lang groth Winter Frühling sehr kalt, Vieh konnte erst lange nach Maytag auf die Weide gebracht werden, Verspätung der Vegetation
−1	Sommer kühl, böß unfällig; im Sommer häufig Regenfälle, schlechte Weinernte, reduzierte Ernte, jämlich Wetter, böß, unfruchtbar Jahr, starker Frost, harter Frost Winter deutlich kalt, mäßiger Frost, gelinder Frost, etwas Frost, ziemlicher Frost, Frost, Reif, kalt; öftere Schneefälle, Brunnen zeitweise überfroren, Mühlen zeitweise eingefroren, Treibeis vor der Küste
0	„normal“, keine besondere Erwähnung in homogenen Datenquellen
+1	warm, schwül, gelinde Luft, gut Wetter, wasserwarm schönes Wetter; im Winterhalbjahr teilweise mild: kein Frost; Sommerhalbjahr: edelst best Sommer, ochglenzt, warmer Sommer;
+2	heiß, sehr warm, sehr gelinde, vortrefflich Wetter, sehr gut Wetter; im Hochsommer: sehr heiß; im Winterhalbjahr meist oder überwiegend mild bis sehr mild: warmer Winter im Zusammenhang mit verfrühter Vegetation; im Sommer deutliche Hinweise auf Trockenheit, Regenarmut und Beeinträchtigung der Feldfrüchte durch die Wärme; evtl. Merkmale wie bei +3 aber von kürzerer Dauer; vast heiß gewesen, sehr gute Zeit;
+3	Im Sommerhalbjahr: überaus heiß, Selbstentzündung von Wäldern, Notschlachtungen, hygienische Beeinträchtigungen, so ain haiser Sommer, dass nit darvon zuo sagen, man kann Eier im Sand kochen..., überaus hitziger Sommer, überaus große Hitze

werden in Kap. 2.3.1 noch näher analysiert werden. Der Vorgang der Übersetzung historischer Quellen in quantitative Werte ist ausführlich in Glaser (2008) und Pfister (1999) beschrieben und schematisch in Abb. 2.2 dargestellt.

2.3. Zeitreihen und Karten

Grundsätzlich kann zwischen zwei Darstellungsformen von kodierten Klimainformationen unterschieden werden: die Zusammenstellung von (durchgängigen) Zeitreihen und die Darstellung der räumlich verteilten Informationen in Karten. In Abb. 2.3 ist die Verarbeitung der Daten von der Ablage und Bereitstellung in der Datenbank über die Analyse bis hin zur Darstellung schematisch skizziert.

Glaser (2001) hat aus der Zusammenschau aller verfügbaren Daten jedes Zeitabschnittes eine durchgängige Indexreihe über die thermischen und hygrischen Verhältnisse in Mitteleuropa für die letzten 1000 Jahre erstellt. Der oben bereits beschriebene Vorgang der hermeneutisch begründeten Klassifizierung und Kodierung der in den Quellen wiedergegebenen Informationen und die Ablage in der Daten-

2. Datenlage in Mitteleuropa

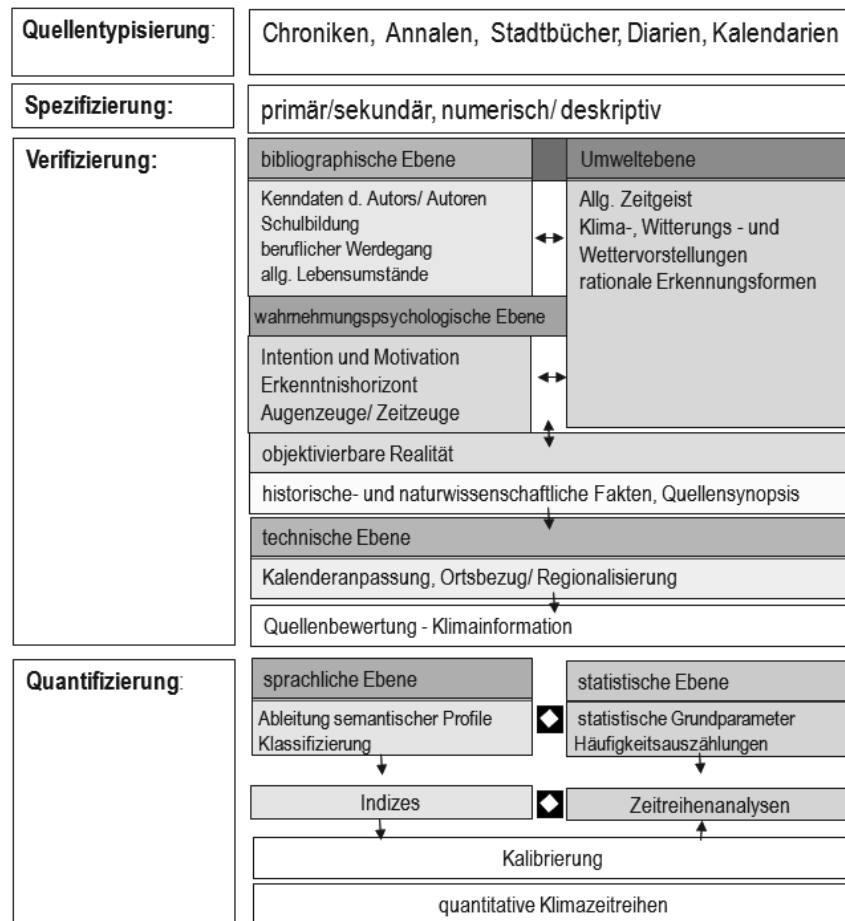


Abb. 2.2.: Schematische Darstellung der Quantifizierung historischer Quellen (aus Glaser, 2008).

bank muss als iterativer Prozess gesehen werden: Durch wiederholte Sichtung und Vergleich aller Daten wird versucht, ein konsistentes Bild aus den Beschreibungen zu entwickeln, um damit einzelne Beschreibungen entsprechend klassifizieren zu können. Aus dieser Zusammenschau lässt sich außerdem ebenfalls hermeneutisch eine Indexreihe über die thermischen und hygrischen Verhältnisse ableiten (siehe Kap. 2.3.1).

Durch die systematische Abfrage und Analyse der räumlich kodierten Informationen kann der Zugang zu den kodierten Einzeldaten teilweise „objektiviert“ und automatisiert werden. Hierfür können die räumlich verteilten Informationen abgefragt werden und beispielsweise mit Hilfe des in Kap. 4 vorgestellten Verfahrens in Temperaturverteilungskarten überführt werden. Da nicht für alle Zeiten eine ausreichende Datendichte vorhanden ist (siehe Abb. 2.4), ist die automatisierte Ableitung

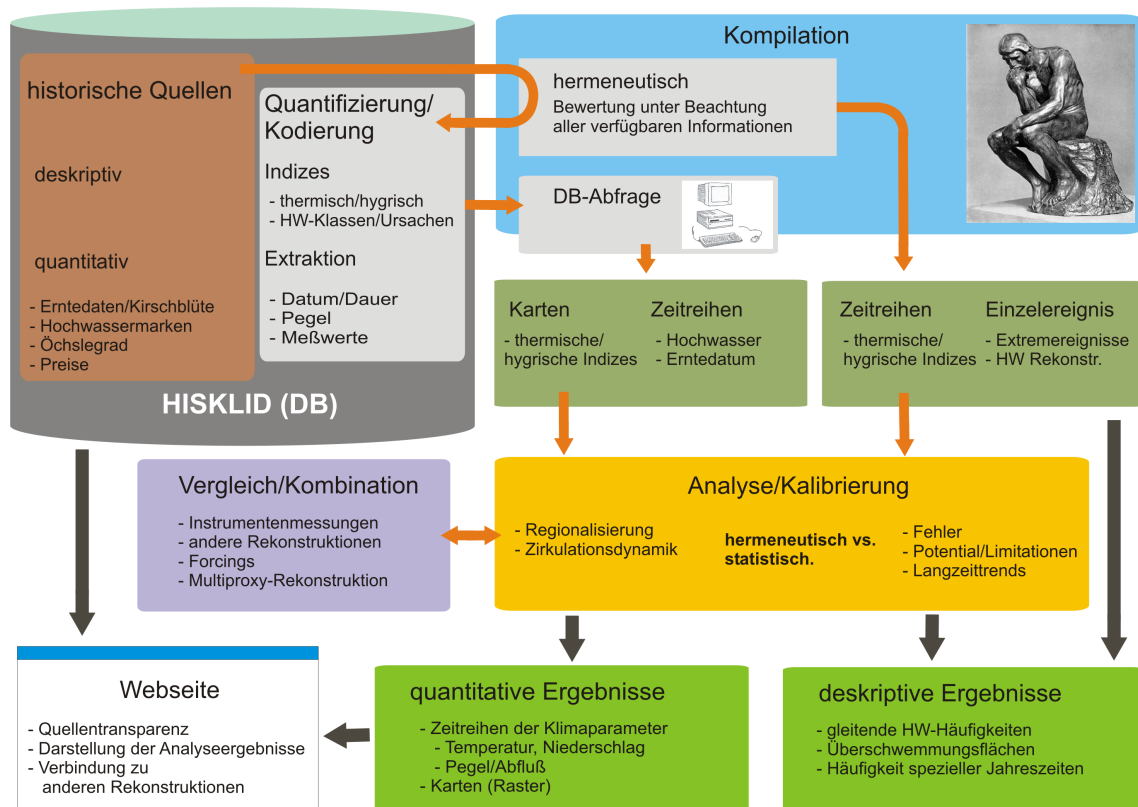


Abb. 2.3.: Schematische Darstellung der Auswertung und Analyse von klimabezogenen Informationen aus historischen Quellen (eigener Entwurf)⁴

einer durchgängigen Zeitreihe für die letzten 1000 Jahre auf HisKliD basierend momentan noch nicht möglich.

2.3.1. Die hermeneutisch gewonnene Indexreihe

Die Sichtung aller verfügbarer Informationen und die Berücksichtigung regionaler und klimatologischer Eigenheiten und Gesetzmäßigkeiten erlaubt die ordinal klassifizierte Beurteilung der Witterungssituation für einen größeren Raum. Glaser (2008) hat für Mitteleuropa Zeitreihen der thermischen und hygrischen Indexwerte für die letzten 1000 Jahre abgeleitet. Wie in Kap. 2.2 dargestellt, muss bei den Indizes zwischen zwei Arten unterschieden werden: In der Zeit vor 1500 werden saisonale Angaben mit drei möglichen Abstufung ($[-1;0;1]$) verwendet. Nach 1500 liegen die Daten in so hoher Dichte und mit ausreichender Genauigkeit vor, dass monatliche Indexwerte mit einer siebenstufigen Unterscheidung ($[-3..3]$) möglich sind. Ab 1710 wurden diese teilweise durch Instrumentenmessungen ergänzt.

2. Datenlage in Mitteleuropa

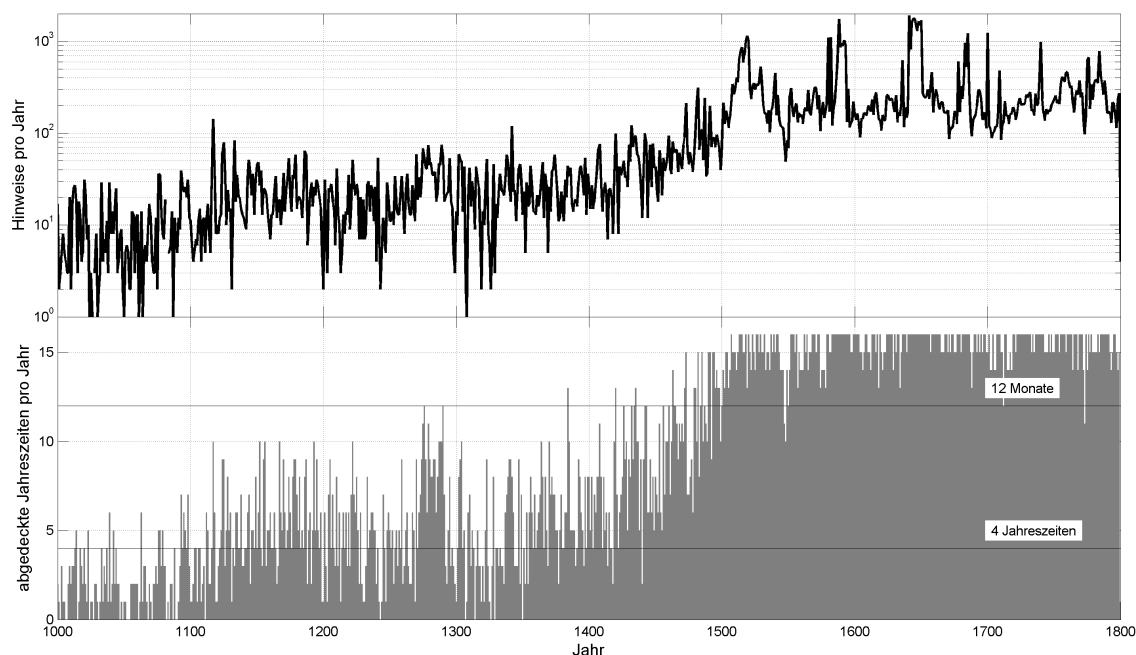


Abb. 2.4.: Darstellung der zeitlichen Abdeckung durch historische Quellen, wie sie sich in der Datenbank HisKliD befinden. Die Anzahl der **abgedeckten Jahreszeiten pro Jahr** setzt sich aus den möglichen Angaben zu den Monaten(12) und Jahreszeiten(4) zusammen und kann maximal 16 betragen.

Tab. 2.2.: Beispiel der thermischen Indexwerte für Deutschland, gewonnen durch hermeneutische Analyse (Glaser, 2008).

Jahr	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1682	2	1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1
1683	0	1	-1	0	0	1	0	-2	1	-2	-2	-1
1684	-3	-2	-2	-1	1	3	2	3	1	0	-2	-1
1685	-2	-1	-2	0	-1	-2	-2	0	-1	0	0	1
1686	2	1	0	0	3	1	0	-1	0	-1	0	0
1687	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
1688	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	0	-1
1689	-1	0	-2	0	0	-1	0	0	-1	-1	-2	0
1690	2	1	-1	0	-1	-1	0	0	-2	0	0	0
1691	-2	-2	0	-2	-2	0	-1	0	-1	0	-2	-1

In Tab. 2.2 ist ein Auszug der abgeleiteten thermischen gewichteten Indizes für Deutschland dargestellt. Die vollständige Liste findet sich als Tabelle im Anhang und kann zudem über den Server der *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) in der Paleo-Sektion bezogen werden (NOAA, 2010). Diese Indizes stellen die Grundlage für die in Kap. 3.2 dargestellte Kalibrierung dar. In dem dort

folgenden Kapitel wird ebenfalls gezeigt, dass es möglich ist, mit nur sieben Stufen den Temperaturverlauf aussagekräftig zu beschreiben.

Die Verteilung der monatlichen Indexwerte

Die statistischen Eigenschaften von Zufallsvariablen lassen sich u.a. durch ihre Verteilungsfunktion beschreiben. Nach dem zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitstheorie ist eine Summe von n unabhängigen, identisch verteilten Zufallsvariablen im Grenzwert $n \rightarrow \infty$ normalverteilt. Für größere Datenmengen wird diese Idealisierung für Temperaturen auch nahezu erreicht (Bahrenberg u. a., 2008). Um diese Annahme zu überprüfen, wurden die Verteilungen der monatlichen Indexwerte auf diese statistische Eigenschaften hin überprüft. Verwendung fanden hierbei der Kolmogorov-Smirnov⁵-Test sowie der Lilliefors-Test. Letzterer wird u.a. bei von Storch u. Zwiers (1999) beschrieben und entspricht dem Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung, nur dass hierbei Mittelwert und Varianz der untersuchten Daten verwendet werden. In Abb. 2.5 sind die Verteilungen der monatliche Indexwerte sowie die Verteilung der Monatsmitteltemperaturen dargestellt. Um die Vergleichbarkeit zu verbessern, wurden für die Instrumentenmessungen ebenfalls sieben Klassen verwendet.

Bei den Instrumentenmessungen muss für die Monate Januar, Februar, Juli und Dezember nach dem Lilliefors-Test die These einer Normalverteilung verworfen werden. Bei den Indexwerten weist kein Monat nach dem Lilliefors-Test Normalverteilung auf. Werden hingegen die Verteilungen der Indexwerte und der Instrumentenmessungen miteinander verglichen, so weisen sie nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test in sieben der zwölf Monate die gleiche Verteilung auf.

Dass die Verteilungen weder normal- noch gleichverteilt sind, könnte einerseits durch die Reduktion auf sieben Klassen⁶, aber auch als Klimasignal in den relativ kurzen Zeiträumen erklärt werden. Die visuelle Prüfung lässt für beide Verteilungen jedoch qualitativ ähnliche Strukturen vermuten. Da ein Grund für die Ablehnung der Hypothese auf Normalverteilung in der Reduktion auf sieben Klassen liegen könnte, werden die Verteilungen klassenweise verglichen. In Tabelle 2.3 ist der Vergleich zwi-

⁵Ursprünglich wurde dieser Test für stetig verteilte metrische Merkmale entwickelt, kann aber auch für diskrete und rangskalierte Merkmale verwendet werden. In diesen Fällen ist der Test weniger trennscharf, d.h. die Nullhypothese wird seltener abgelehnt als im stetigen Fall (von Storch u. Zwiers, 1999).

⁶Wird eine große Anzahl (500000) von kontinuierlichen, normalverteilten Zufallswerten durch Runden diskretisiert, so weisen die diskretisierten und die kontinuierlichen Werte weder nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test noch dem Lilliefors-Test die gleiche Verteilung auf (eigene Untersuchungen).

2. Datenlage in Mitteleuropa

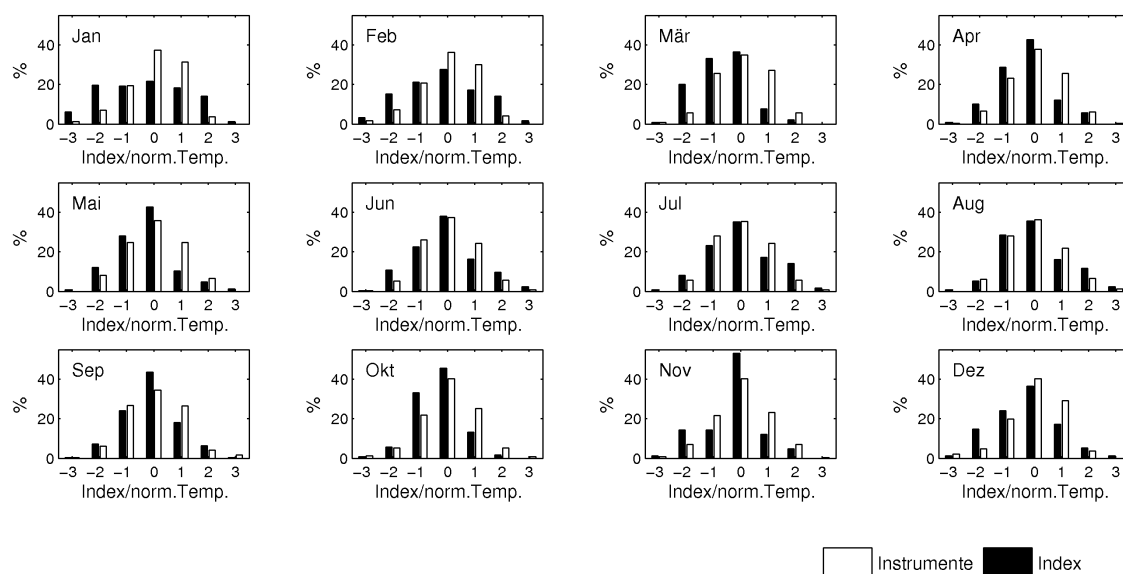


Abb. 2.5.: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der normierten Monatsmitteltemperaturen mit der Verteilung der Indizes des jeweiligen Monats. Die Höhe der Balken (y-Achse) gibt den Anteil der jeweiligen Klasse an allen Werten in Prozent an. Es wurden $n=250$ Werte für die Indizes (1500 – 1750) und $n=240$ Werte für die Instrumentenmessungen (1760 – 2000) verwendet.

schen der theoretischen Verteilung, den Indexwerten und den Instrumentenwerten dargestellt.

Tab. 2.3.: Vergleich der Anteile der sieben Klassen als Mittel aus allen Monaten. Die theoretische Verteilung bezieht sich auf normalverteilte Werte, wobei jede Klasse eine Standardabweichung umfasst. Im unteren Teil ist das Verhältnis der verschiedenen Anteile zueinander dargestellt.

Klasse	-3	-2	-1	0	1	2	3
Ant. Normalverteilung (theor.)	0,006	0,061	0,242	0,383	0,242	0,061	0,006
Anteil Instrumente	0,007	0,062	0,238	0,372	0,262	0,053	0,005
Anteil Verteilung Indizes	0,014	0,119	0,250	0,382	0,146	0,078	0,010
Verhältnis Ant. Indizes/Instr	1,923	1,909	1,048	1,028	0,560	1,467	1,968
Verhältnis Ant. Indizes/theor. Vert.	2,308	1,964	1,034	0,998	0,605	1,287	1,610
Verhältnis Ant. Instr/theor. Vert.	1,200	1,029	0,987	0,971	1,082	0,878	0,818

Es ist zu sehen, dass für die Null-Klasse eine hohe Übereinstimmung gegeben ist. Für die ± 1 Klassen fällt eine Abweichung von den theoretischen Erwartungen für die Indexwerte nur für die positiven Werte auf. Ein Grund hierfür dürfte darin liegen, dass bei nur schwachen Abweichungen eher die negativen Abweichungen überliefert wurden. Diese Tendenz setzt sich bei den höheren Klassen fort, wobei in diesen Klassen sowohl die negativen als auch die positiven Abweichungen die theoretische Erwartung überschätzen. Beispielsweise dürften die Indizes mit dem Wert

„-3“ insgesamt ca. 0.6% aller Werte ausmachen: Jedoch weisen sowohl die Instrumentenmessungen als auch die historischen Quellen für diese Klasse höhere Werte auf. Im unteren Teil der Tabelle ist das Verhältnis der verschiedenen Anteile zueinander aufgetragen. Ein Verhältnis von 1 mit der theoretischen Verteilung zeigt hohe Ähnlichkeit, Werte darunter eine Unterbewertung, Werte darüber eine Überbewertung der entsprechenden Klasse.

Bei den Instrumentenmessungen ist ebenfalls eine Verschiebung hin zu den negativen Klassen zu beobachten, welche als Klimasignal interpretiert werden muss, da die Daten qualitätsgeprüft und homogenisiert sind (Rapp u. Schönwiese, 1995). Die Tatsache, dass auch Instrumentenmessungen für einen Zeitraum von 250 Jahren solche Verschiebungen aufweisen, unterstützt die Annahme, dass dieselben Abweichungen bei den Indexwerten als Klimasignal interpretiert werden können.

Bei Betrachtung der Jahreswerte wird durch die größere Datenmenge die Ähnlichkeit der Verteilung deutlicher (siehe Abb. 2.6). Jedoch weisen auch hier nur die Instrumentenmessungen nach dem Lilliefors-Test eine Normalverteilung auf, die Indexwerte jedoch nicht. Hingegen zeigt der Kolmogorov-Smirnov-Test für beide Reihen eine gleiche Verteilung auf dem 5%-Signifikanz-Niveau auf. Diese Erkenntnis wird für die Kalibrierung der Indizes noch Verwendung finden (siehe Kap. 3.2).

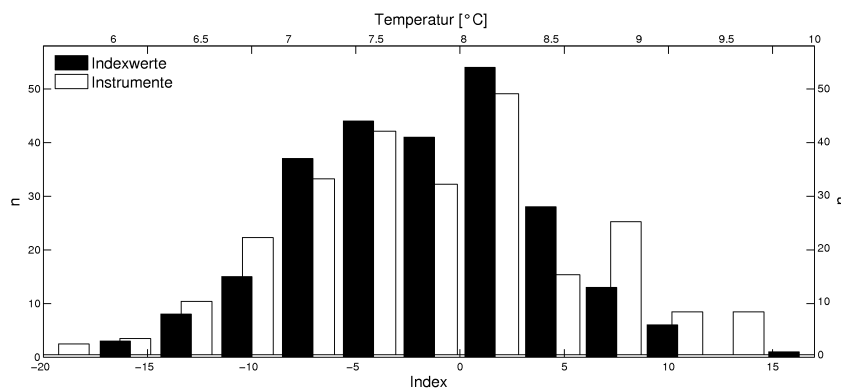


Abb. 2.6.: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der aus Instrumentenmessungen errechneten Jahresmitteltemperaturen mit der Verteilung der aus Indexwerten errechneten Jahressummen. Die Anzahl der Klassen ergibt sich aus den möglichen Werten der Jahressummen der Indizes. Die Jahresmittel der Instrumentenwerte wurden äquidistant auf die gleiche Anzahl Klassen verteilt. Die Bezugszeiträume für die Daten sind die selben wie in Abb. 2.5.

2. Datenlage in Mitteleuropa

Eigenschaften saisonaler Indizes

Für die Zeit von 1000 – 1500 liegen die Daten in dreistufiger Bewertung für die vier Jahreszeiten vor, wobei für die ersten ca. 200 Jahre hauptsächlich Angaben zu Sommer und Winter überliefert sind (pers. Komm. mit R. Glaser, Glaser, 2008). In Abb. 2.7 ist der Vergleich zwischen den Instrumentenmessungen und den Indizes in jahreszeitlicher Auflösung dargestellt.

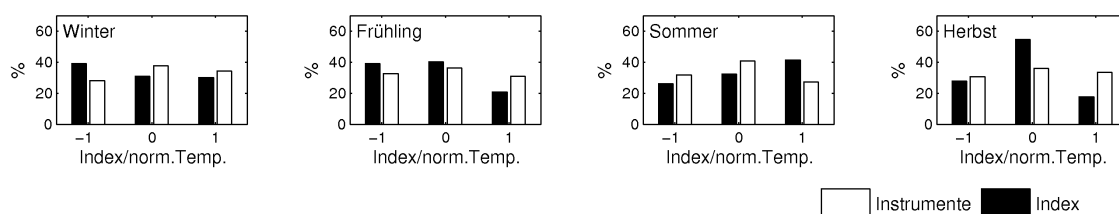


Abb. 2.7.: Vergleich der Verteilung der Saisonmitteltemperaturen mit der Verteilung der Indizes der entsprechenden Saison. Die Höhe der Balken (y-Achse) gibt den Anteil der jeweiligen Klasse an allen Werten in Prozent an. Es wurden $n=250$ Werte für die Instrumentenmessungen verwendet und $n=300$ Werte für die Indizes (für die Jahre 1200 – 1500).

Bei der Klassifizierung der historischen Quellen wurden sogenannte ungewichtete Indizes vergeben, die näherungsweise gleichverteilt sind, d.h. jede Klasse umfasst ca. 33% der Werte. Diese Forderung entspricht der Verteilung der Instrumentenmessungen, welche ebenfalls näherungsweise gleichverteilt sind (siehe Abb. 2.7). Für Sommer und Winter ist diese Forderung bei den Indizes ebenfalls erfüllt. Für die Übergangszeiten trifft dies jedoch nicht zu. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass für diese Jahreszeiten insgesamt weniger Daten verfügbar sind⁷.

2.3.2. Die räumliche Datenbankabfrage

Aus der Abfrage der kodierten Klimainformationen der Datenbank HisKliD lassen sich sowohl Zeitreihen als auch Karten der räumlich aufgelösten Daten gewinnen. Speziell bei der Erstellung von Zeitreihen, wie beispielsweise für die thermischen oder hygrischen Bedingungen, aber auch über das Auftreten von Hochwasser, ist eine hermeneutische Beurteilung häufig unumgänglich, um die räumlich und zeitlich „verstreut“ vorliegenden Daten (siehe Abb. 2.8) zusammenzuführen. Für die Analyse

⁷Glaser (pers. Komm.) hat für fehlende Werte Nullen eingefügt, was eine gängige Praxis in der Historischen Klimatologie ist (Glaser, 2008), so dass sich hinter der Angabe einer Null drei verschiedene *Informationen* verbergen können: die unmittelbar aus den Quellen begründete Null, die indirekte Null, welche sich aus Fehlstellen in kontinuierlich berichtenden Quellen ergibt und die tatsächliche Fehlwert-Null.

von mittel- und längerfristigen Entwicklungen ist eine Homogenisierung der Daten, d.h. eine Vereinheitlichung der zeitlichen Auflösung und ein eindeutiger räumlicher Bezug der Hinweise notwendig. So können beispielsweise Angaben zu einzelnen Tagen verschiedener Orte nicht automatisch und nur sehr schwer hermeneutisch aggregiert werden, um sie mit monatlichen oder saisonalen Angaben zusammenzuführen. In Kap. 4 wird diese Schwierigkeit nochmals aufgegriffen.

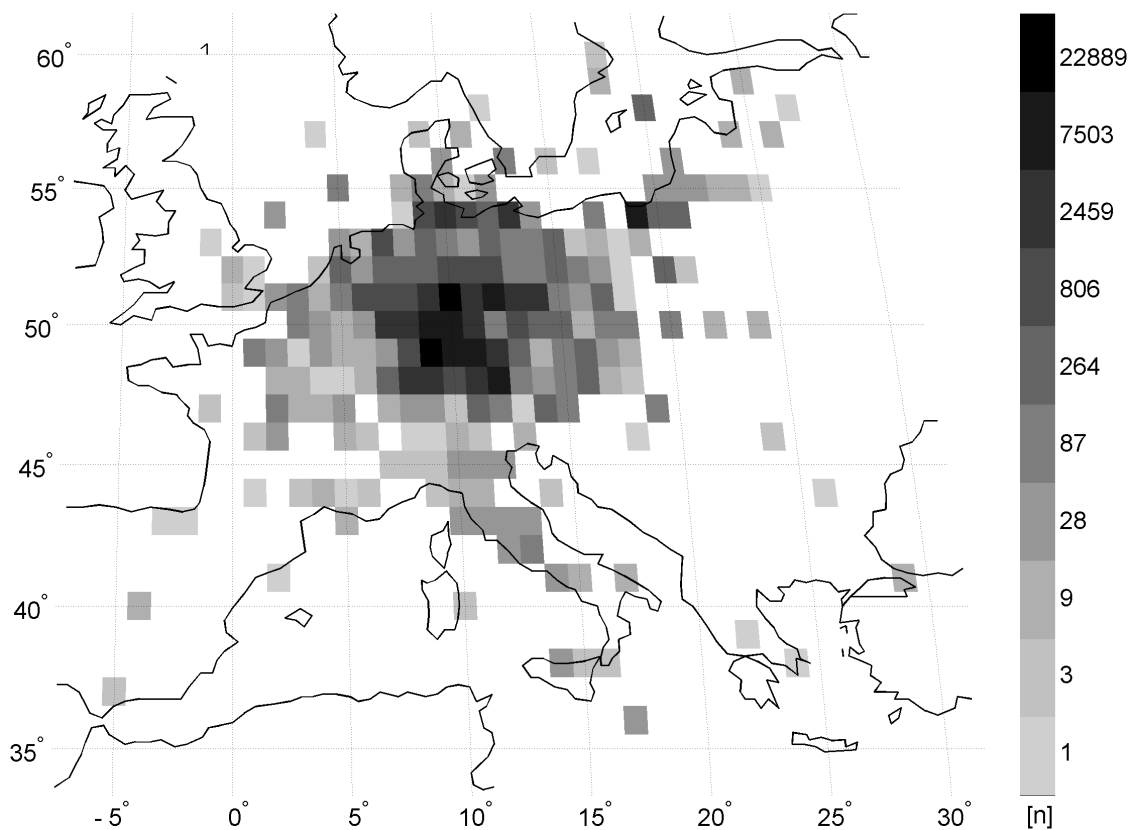


Abb. 2.8.: Darstellung der räumlichen Abdeckung durch historische Quellen für den Zeitraum 1000–1800, wie sie sich in der Datenbank HisKliD befinden. Die Werte sind logarithmisch skaliert, da die Dichte der Abdeckung räumlich sehr unterschiedlich ist. Die Angaben geben die Anzahl aller klimabezogenen Hinweise pro Raumeinheit an (Glaser u. Riemann, 2009b).

Abb. 2.8 zeigt die räumliche Verteilung und auch die Informationsdichte der in HisKliD verfügbaren Daten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Daten zumeist auf das Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland beziehen, mit einigen regionalen Schwerpunkten.

Die räumliche Disparität öffnet jedoch auch weitere Möglichkeiten zur statistisch-analytischen Verarbeitung: die abgebildeten Muster müssen klimatologisch sinnvolle

2. Datenlage in Mitteleuropa

Strukturen wiedergeben. Eine entsprechende Analyse kann durch adäquate Verfahren teilweise automatisiert werden kann und wird in Kap. 4 (Regionalisierung) vorgestellt.

Abb. 2.4 zeigt die Datenabdeckung über die Zeit hinweg. Momentan ist es nicht möglich, aus der Datenbank direkt durch statistisch-analytische Abfrage eine durchgängige Indexreihe abzuleiten, bzw. genügend Daten bereit zu stellen, um durch das später noch vorgestellte Regionalisierungsmodell zu einer durchgängigen Zeitreihe der Temperaturen zu gelangen.

2.3.3. Ablage und Bereitstellung der Überlieferungen

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten liegen in der Historischen Klimadatenbank Deutschland (Glaser, 2008; Glaser u. a., 2004; Glaser, 2010). Diese Sammlung bietet verschiedene Möglichkeiten der Bearbeitung, Analyse und Darstellung der Daten. Der erste für den Aufbau einer relationalen Datenbank und auch die weiteren Analysen notwendige Schritt ist die Kodierung der in den Textzitaten enthaltenen Informationen. Neben den Metainformationen, wie dem Datum und dem Ort, auf welches sich der Bericht bezieht, werden die klimabezogenen Informationen klassifiziert und entsprechend kodiert. Wie bereits in Kap. 2.2 beschrieben, werden beispielsweise Hinweise zu den thermischen Bedingungen in sieben Intensitätsstufen klassifiziert und entsprechend in der Datenbank abgelegt, d.h. es werden Indizes zwischen -3 und $+3$ vergeben, welche als quantitative Angaben statistisch-analytisch verwertet werden können. Diese Kodierung wird für alle in dem Textzitat enthaltenen Informationen vorgenommen. Dieser Vorgang muss ggf. wiederholt werden, wenn durch neu hinzugekommene Daten eine Neubewertung der vorhandenen Informationen angezeigt ist. Diese Kodierung muss nach einem standardisierten Verfahren geschehen, damit neue Daten gleichartig in die Datenbank eingepflegt werden können (siehe Kap. 2.2). Durch diese hermeneutische Betrachtung war es Glaser (2008) möglich, eine durchgängige Zeitreihe von thermischen und hygrischen Indizes für Mitteleuropa für die letzten 1000 Jahre abzuleiten. Die Kalibrierung dieser Reihen zu Klimaparametern, d.h. die Umrechnung in beispielsweise Temperaturen, wird in Kap. 3.2 ausführlich beschrieben.

Die räumliche Verteilung der Informationen bietet eine weitere Möglichkeit zur Analyse: Die bereits bei der hermeneutisch gewonnenen Reihe einfließende klimatologische Interpretation der räumlich verteilten Informationen kann über statistische Verfahren automatisiert werden. Durch das Wissen über den räumlichen Bezug können die Witterungsangaben klimatologisch begründeten Mustern zugeordnet werden

und somit großräumige Rekonstruktionen, beispielsweise der Temperaturverteilung, abgeleitet werden. Diese Möglichkeit wird ausführlich in Kap. 4 vorgestellt.

Die Datenbank HisKliD

Durch Prof. Dr. R. Glaser, bzw. unter seiner Federführung, wurden die dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten über die Jahre hinweg (handschriftlich) zusammengetragen. Mit zunehmender Verfügbarkeit von Rechnerleistung wurden große Teile der bestehenden und neu erhobenen Daten digital erfasst und in Dateien abgelegt. In diesem Zusammenhang entwickelte sich auch ein Kodierungssystem, um die in den Textzitierten enthaltenen Informationen systematisch erfassen und auswerten zu können. Neben dem Originalzitat werden Angaben zum Ort, zur Zeit/zum Zeitraum sowie bibliographische Angaben gespeichert. Zur weiteren Analyse werden die Inhalte kodiert und in Sachgruppen gegliedert: Informationen zu Temperatur, Niederschlag, Wind, Wolkenbedeckung, Extremereignissen, deren Ursachen, Messwerte, Angaben zur Phänologie, Auswirkungen und Preise werden klassifiziert und in den Dateien abgelegt.

Später wurden diese Daten in eine Datenbank überführt, wodurch der Funktionsumfang zunehmend erweitert werden konnte. Beispielsweise wurde auf dieser Datenbank aufbauend später eine Website erstellt, über welche die Daten über das Internet abrufbar sind (siehe www.hisklid.de). Bereits in dieser Version der Datenbank (HisKliD 1.0) war eine grobe räumliche Zuordnung der Daten ermöglicht worden.

Auf diesem System aufbauend wurde im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit eine neue Datenbankstruktur entwickelt, welche nun in der Lage ist, die Daten präziser zu kodieren, d.h. auch Zusammenhänge zwischen Datensätzen darzustellen. Vor allem jedoch wurden die Möglichkeiten zur Abfrage und Analyse raumbezogener Informationen deutlich erweitert, so dass inzwischen auch Angaben zu Regionen und Flüssen, sowie deren Veränderlichkeit über die Zeit hinweg abgebildet werden können. Diese Version der Datenbank wird im Weiteren als HisKliD 2.0 bezeichnet. In Abb. 2.9 ist die Struktur von HisKliD 2.0 schematisch dargestellt. Eine Auflistung aller Feldbelegungen mit ausführlicher Beschreibung findet sich im Anhang.

Die Datenbank liegt in dem weit verbreiteten relationalen Datenbankmanagementsystem *PostgreSQL*⁸, dessen Besonderheit durch die Erweiterung *PostGIS* (siehe postgis.org) eine hohe GIS⁹-Funktionalität darstellt. In PostgreSQL wurde ein re-

⁸PostgreSQL wird unter *Open-Source*-Lizenz entwickelt (siehe www.postgresql.org).

⁹engl. *Geographical Information System*, Geoinformationssystem zur Erfassung, Analyse und Darstellung geographischer Daten

2. Datenlage in Mitteleuropa

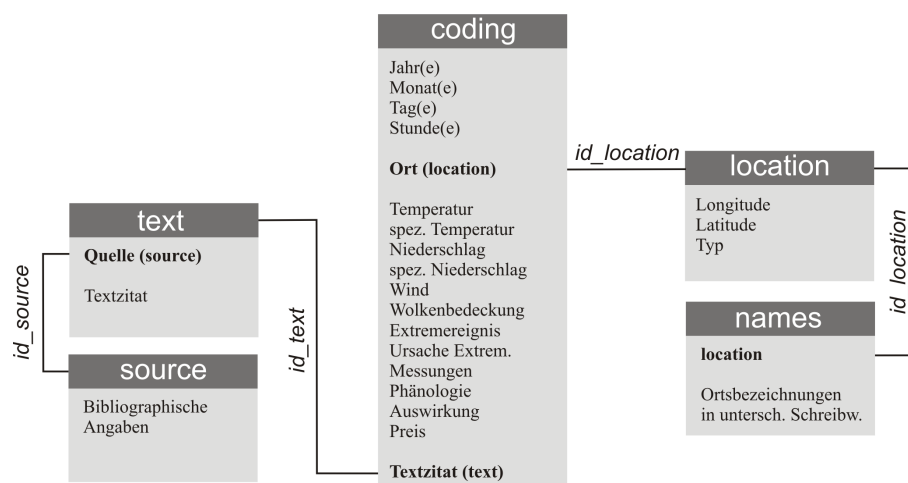


Abb. 2.9.: Schematische Darstellung von HisKliD 2.0 (eigener Entwurf). Die Haupttabelle **coding** verknüpft in kodierter Form das Textzitat mit räumlichen Angaben und daraus extrahierten Klima bezogenen Informationen. Die Textzitate sind mit einer weiteren Tabelle verknüpft, welche die bibliographischen Angaben enthält. Für die räumlichen Angaben existiert eine Tabelle **names**, in welcher unterschiedliche Schreibweisen berücksichtigt werden.

lationales Datenschema angelegt, um die Konsistenz in der Kodierung und Schreibweise zu sichern und Redundanzen möglichst auszuschließen: Hierzu wurde die Datenbank normalisiert, d.h. wann immer möglich, wurden eindeutige Formulierungen in Tabellen ausgelagert. So befinden sich beispielsweise die Informationen zu Monat und Saison in einer Tabelle, in welcher jedem Monat oder jeder Saison eine eindeutige Nummer zur Identifikation (ID) zugewiesen wird. In der Haupttabelle **coding** wird dann nur diese ID verwendet, um eine eindeutige Zeitangabe zu sichern und unterschiedliche Schreibweisen und Definitionen auszuschließen. Diese Haupttabelle verknüpft die IDs der Textzitate mit räumlichen Angaben, Zeitangaben und den extrahierten klimabezogenen Informationen. In Abb. 2.9 sind nicht alle assoziierten Tabellen dargestellt, sondern nur die Tabellen zu den räumlichen Angaben und zur Ablage der Zitate. Die Textzitate (*text*) sind mit einer weiteren Tabelle verknüpft, welche die bibliographischen Angaben (*source*) enthält. Für die räumlichen Angaben (*location*) existiert ebenfalls eine weitere Tabelle *names*, in welcher unterschiedliche Schreibweisen für Ortsangaben berücksichtigt werden können. Diese beiden Tabellen (*names* und *location*) können in Zukunft durch Anbindung an andere Datenbanksysteme ersetzt oder erweitert werden: für die bibliographischen Angaben bietet sich der Anschluß an ein Bibliothekensystem an, für die Ortsnamen könnten entsprechende Datenbanken relevant sein.

2.4. Der Untersuchungsraum

Die hier vorgestellten Analysen beziehen sich auf Daten, welche sich auf das Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland sowie die angrenzenden Räume beziehen, in welchen Deutsch die heute oder früher vorherrschende Sprache war. Dieser Bereich wird im Folgenden als Mitteleuropa bezeichnet. Die von Glaser (2008) abgeleitete Indexreihe bezieht sich auf diesen Raum, mit verschiedenen regionalen Schwerpunkten in dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland. Für den methodischen Teil der Arbeit ist diese Abgrenzung von untergeordneter Bedeutung denn das entwickelte Modell liefert ohnehin eine an den klimatischen Bedingungen orientierte Abgrenzung zur regional aufgelösten Klimarekonstruktion.

2.4.1. Die klimatische Prägung

Deutschland liegt nach der Köppen-Geiger-Klassifikation vollständig in den gemäßigten Breiten (Kottek u. a., 2006) und ist gegen Norden durch das Meer und gegen Süden durch die Alpen klimatisch deutlich abgegrenzt. Es liegt im Bereich der Westwindzone und markiert von Westen nach Osten den Übergang vom maritimen Klima in Westeuropa zum kontinentalen Klima im Osten. Wie große Teile Europas, so wird auch das Klima in Deutschland unter anderem vom Golfstrom beeinflusst, der die klimatischen Werte für die Breitenlage mild gestaltet.

Dennoch gibt es regionale Unterschiede, was die vorherrschenden Witterungsbedingungen im Rahmen des Klimaregimes bietet: die Zunahme der Kontinentalität nach Osten hin, die Unterschiede zwischen den Niederungen und dem Flachland gegenüber den Mittelgebirgen (ganz im Süden auch gegenüber dem Hochgebirge), die ausgleichende Prägung des Meeres an Nord- und Ostsee sowie einen Nord-Süd Gradienten der Temperaturen. Wie im folgenden Kapitel gezeigt wird, weisen die unterschiedlichen Regionen jedoch bei monatlicher oder saisonaler Betrachtung ein hohes Maß an Kohärenz auf, so dass sich die erwähnten regionalen Unterschiede v.a. auf das absolute Temperaturniveau und die Stärke der Variabilität beziehen. In Tab. 2.4 sind die Mitteltemperaturen der Monate und des Jahres für Deutschland für den Zeitraum von 1760 – 2009, berechnet aus den aktualisierten Daten von Rapp u. Schönwiese (1995), aufgelistet. Zusätzlich sind auch die Standardabweichung (STD) angegeben.

Es ist deutlich der für die mittleren Breiten typische Jahresgang abzulesen mit Temperaturunterschieden von ca. 18°C über das gesamte Jahr. Die Durchschnittswerte weisen eine hohe Variabilität auf, welche besonders für die Wintermonate deutlich wird (STD von fast 3°C für Januar). Die Menschen, welche in diesen Brei-

2. Datenlage in Mitteleuropa

Tab. 2.4.: *Monatliche und jährliche Durchschnittstemperaturen und jeweilige STD für Deutschland für den Zeitraum von 1760 – 2009.*

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Mittel	-1,21	0,01	2,91	7,33	12,06	15,39	16,88	16,45	13,06	8,31	3,35	0,12	7,85
STD.	2,81	2,56	2,01	1,58	1,52	1,27	1,39	1,28	1,27	1,48	1,58	2,42	0,79

ten ansässig sind, erleben ein breites Spektrum an möglichen Witterungszuständen sowohl im Laufe eines Jahres als auch über einige Jahre hinweg.

Die Wahrnehmung und v.a. die Bewertung von Temperatur durch Menschen ist nicht so sehr von der absoluten Temperatur, sondern vielmehr von den vor Ort gewohnten Mitteltemperaturen und der jeweils vorherrschenden Schwankungsbreite der Temperaturen abhängig (Glaser, 2008). So ist in Gebirgen oder kontinentalen Bereichen die Schwankungsbreite monatlicher oder saisonaler Temperaturen höher als beispielsweise in ozeanisch geprägten Gebieten. Das hat zur Folge, dass in Gebirgen erst größere Temperaturabweichungen als Anomalien wahrgenommen werden. Bei monatlicher oder saisonaler Betrachtung verändern sich Temperaturen im Tal meist simultan mit den Temperaturen in den umliegenden Bergen, jedoch mit unterschiedlicher Amplitude. Diese subjektiven Bewertungen relativ zur regional vorherrschenden Variabilität entspricht der Normierung der Temperaturen. Hierfür wird von der Temperatur der Mittelwert abgezogen und der Wert anschließend durch die STD dividiert¹⁰. Das Ergebnis sind Abweichungen in Einheiten der Variabilität. Für das Deutschlandmittel lässt sich aus Tab. 2.4 ablesen, dass beispielsweise für den Januar eine normierte Abweichung von einer Standardabweichung einer Temperaturabweichung von 2,81°C vom Mittel (−1,21°C) entspricht. Dies würde somit einer absoluten Temperatur von 1,6°C (−1,21°C+2,81°C) entsprechen. Eine Abschätzung, welcher Temperaturdifferenz die in den Quellen zum Ausdruck gebrachten Abweichungen entsprechen, wird in Kap. 3 vorgestellt.

2.4.2. Die räumlichen Verteilungsmuster der Temperatur

Um die räumliche Repräsentanz der standortabhängigen Bewertungen, wie sie in schriftlichen Quellen zum Ausdruck gebracht werden, zu überprüfen, werden Reanalysedaten¹¹ der Climate Research Unit (CRU) verwendet. Die hohe räumliche Auflösung der Daten ermöglicht eine Analogie zur standortabhängigen Bewertung

¹⁰Die Normierung einer Variable X wird nach folgender Formel berechnet: $X_{norm} = \frac{X-\mu}{\sigma}$ mit μ : Mittelwert von X und σ : STD von X

¹¹Verwendung finden hierbei Temperatur Reanalyse¹²-Daten der Climate Research Unit (CRU) in Norwich (UK), welche unter der Bezeichnung CRU TS 2.1 verfügbar sind (New u. a., 2000). Sie haben eine räumliche Auflösung von 0.5° für die Längen und Breiten und liegen für den

2.4. Der Untersuchungsraum

durch den Menschen herzustellen. Zu diesem Zweck werden die Zeitreihen jedes Rasterpunktes monatsweise normiert. Statt der tatsächlichen Temperaturen werden somit nur die Abweichungen in Einheiten der regional vorherrschenden Variabilität dargestellt. Abb. 2.10 zeigt den Unterschied zwischen der Kartendarstellung am Beispiel der Temperaturverteilung für den März 1980: die linke Karte zeigt die Temperaturverteilung in absoluten Temperaturen, die rechte Karte als normierte Werte. Es ist deutlich zu sehen, wie durch die Normierung die Einflüsse von Topographie, Kontinentalität und geographischer Lage abgeschwächt werden.

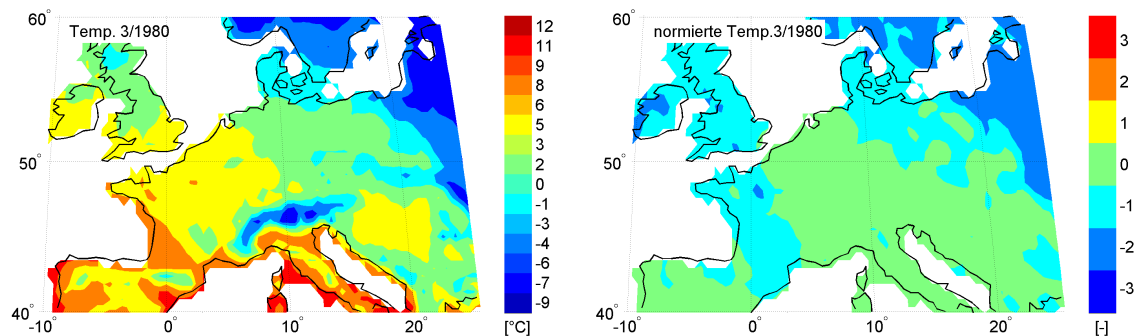


Abb. 2.10.: Temperaturverteilung im März 1980 in absoluten Temperaturen (links) und in normierten Temperaturen (rechts).

Durch unterschiedlich gewählte zeitliche Auflösungen können sie somit als Äquivalent zu den historischen Beschreibungen bezüglich der Monats- oder Saisontemperatur interpretiert werden. Es ist mit Hilfe dieser normierten Karten möglich, die Kohärenz der Veränderungen der Temperatur in verschiedenen Regionen zu untersuchen. Um die räumliche Kohärenz solcher simultanen Veränderungen zu untersuchen, wird für Mitteleuropa eine Hauptkomponentenanalyse¹³ der normierten Temperaturfelder durchgeführt. In Abb. 2.11 sind die ersten vier Hauptkomponenten (HK) der normierten Wintertemperaturen für Mitteleuropa dargestellt. Durch die vorangegangene Normierung sind die Muster einheitenlos. Sie können als Anteile zu der jeweils gleichgerichteten Temperaturvariation jedes Raumpunktes interpretiert werden. Es ist deutlich zu sehen, dass die erste HK eine kohärente Veränderung der Temperaturen für den gesamten Untersuchungsraum beschreibt. Diese HK erklärt einen Großteil (84%) der Variabilität der Temperatur¹⁴. Dies deckt sich auch mit

Zeitraum 1901 – 2002 vor. Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei Mitchell u. Jones (2005)

¹³Durch eine Hauptkomponentenanalyse können Muster kohärenter Variation in Daten gefunden werden. Weitere Erklärungen zu diesem Verfahren folgen in Kap. 4.1.1.

¹⁴Der Erklärungsanteil in Klammern gibt an, welcher Prozentsatz der Variationen durch das entsprechende Muster erklärt wird.

2. Datenlage in Mitteleuropa

der Erfahrung, dass beispielsweise ein „kalter Winter“ im Süden Deutschlands meist ein Pendant im Norden findet, auch wenn die absoluten Temperaturen jeweils unterschiedlich sind. Die zweite und dritte HKs beschreiben den Nord-Süd Gradienten sowie die Zunahme der Kontinentalität von Westen nach Osten, wie dies für das Untersuchungsgebiet charakteristisch ist. Für die vierte HK lässt sich keine einfache klimatologische Interpretation finden.

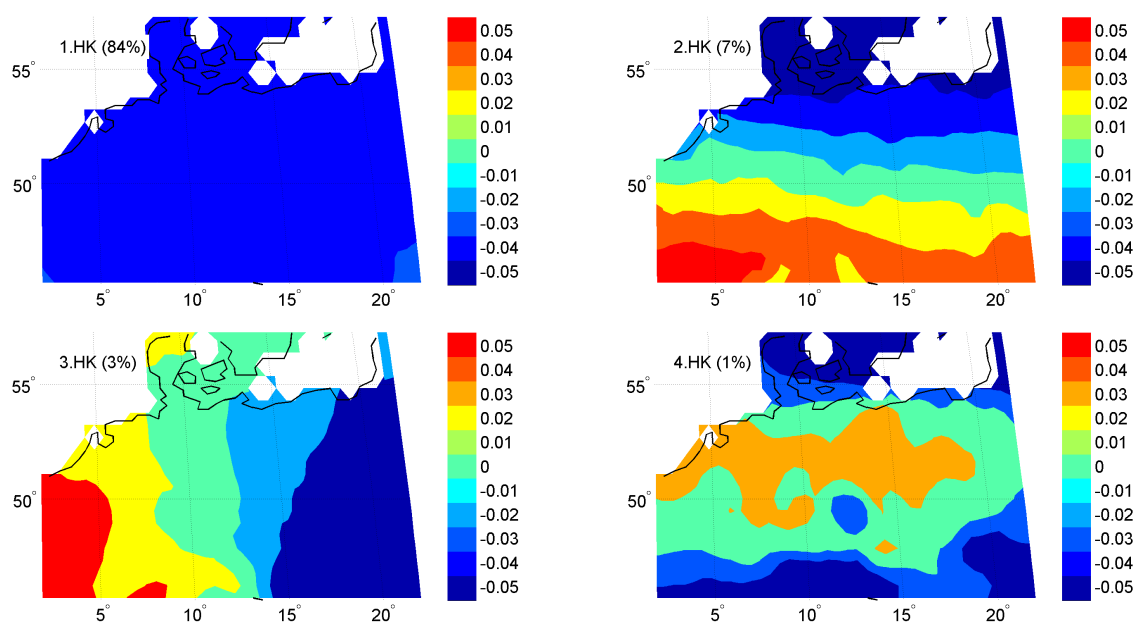


Abb. 2.11.: Die ersten vier Hauptkomponenten der normierten Wintertemperaturen für Mitteleuropa. In Klammern ist der jeweilige Erklärungsanteil des Musters angegeben. Da die Temperaturen zuvor normiert wurden, sind die angegebenen Werte einheitenlos.

Diese Verteilung findet sich ebenso bei allen anderen Jahreszeiten und Monaten, mit jeweils einem sehr hohen Erklärungsanteil der ersten HK (siehe Abb. B.1 im Anhang). Zwar können sich die Erklärungsanteile der unterschiedlichen HKs im Laufe der Zeit ändern, jedoch bleiben die Grundmuster erhalten, wie eigene, hier nicht dargestellte Analysen für die letzten 100 Jahre zeigen (siehe auch Corti u. a., 1999). Dieses Ergebnis rechtfertigt in erster Näherung die Verwendung von Informationen aus verschiedenen Regionen des Untersuchungsgebietes zur Erstellung einer einzigen Indexreihe für das Gebiet.

Auf dieser hohen räumlichen Kohärenz der Temperaturen für monatliche Werte basiert auch die Erstellung eines Gebietsmittels für die Lufttemperatur in Deutschland (GMD) nach Rapp (2000). Dabei fanden verschiedene Instrumentenreihen Ver-

2.4. Der Untersuchungsraum

wendung, aus welchen nach Homogenisierung¹⁵ durch arithmetische Mittelwertbildung eine monatlich aufgelöste Temperaturreihe für den Zeitraum 1760-1999 abgeleitet wurde. Diese Reihe wurde durch aktuelle Messungen des Deutschen Wetterdienstes DWD (2010) bis 2009 verlängert und dient in dieser Arbeit als Referenz für die Mitteltemperaturen in Deutschland (siehe Abb. 3.11).

Die Korrelation zwischen dem GMD und den CRU Reanalyse Daten weist für das Untersuchungsgebiet Korrelationen größer als 0.85 auf (siehe Abb. 2.12). Damit ist zum einen der hohe Zusammenhang zwischen den Reanalyse-Daten mit dem GMD belegt und zum anderen die Aussage bekräftigt, dass für Mitteleuropa Hinweise aus verschiedenen Regionen zur einheitlichen Beschreibung verwendet werden können.

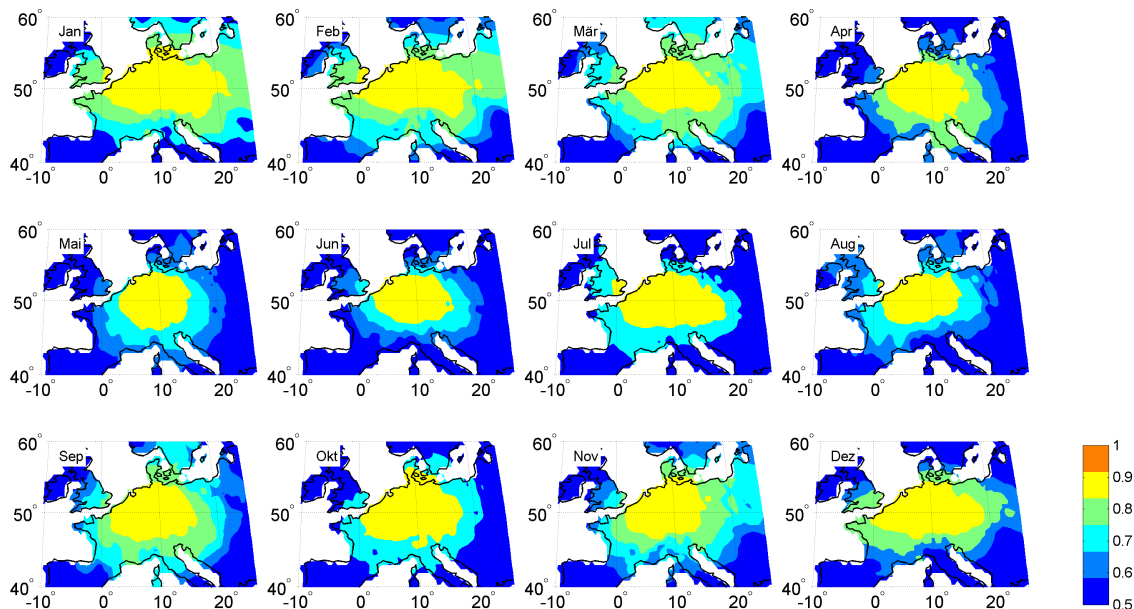


Abb. 2.12.: Korrelation zwischen CRU Reanalyse Daten und dem Flächenmittel der Temperatur für Deutschland für die Monate Januar bis Dezember bezogen auf den Zeitraum 1901 – 2000. Die Farben geben die Höhe der Korrelation an und sind entsprechend einheitenlos.

Diese Analogie zwischen den Bewertungen aus den Quellen und der normierten Temperatur ist eine wichtige Grundlage der später vorgestellten Umrechnung der historischen Informationen in Klimaparameter.

Mit den Reanalysedaten (CRU) lässt sich eine weitere räumlich veränderliche Eigenschaft zeigen, welche die Wahrnehmung von Temperaturschwankungen betrifft. Wie bereits oben gezeigt, weisen die Temperaturen für Mitteleuropa eine hohe Va-

¹⁵Homogenisierung bezeichnet die Korrektur von Zeitreihen um Ausreißer, Trends und sonstige Fehler.

2. Datenlage in Mitteleuropa

riabilität, besonders der Wintermonate, auf. Um die interannuale Variabilität zu quantifizieren und räumlich darzustellen, wurde die STD der Temperaturdifferenz eines Monats von Jahr-zu-Jahr berechnet und für jeden Ort dargestellt. In Abb. 2.13 sind die STD und die STD der Jahr-zu-Jahr Temperaturdifferenz exemplarisch für die Januartemperaturen der nördlichen Hemisphäre dargestellt. Für die Sommer Temperaturen können die selben Muster beobachtet werden, allerdings bei geringerer Schwankungsbreite der Temperaturen.

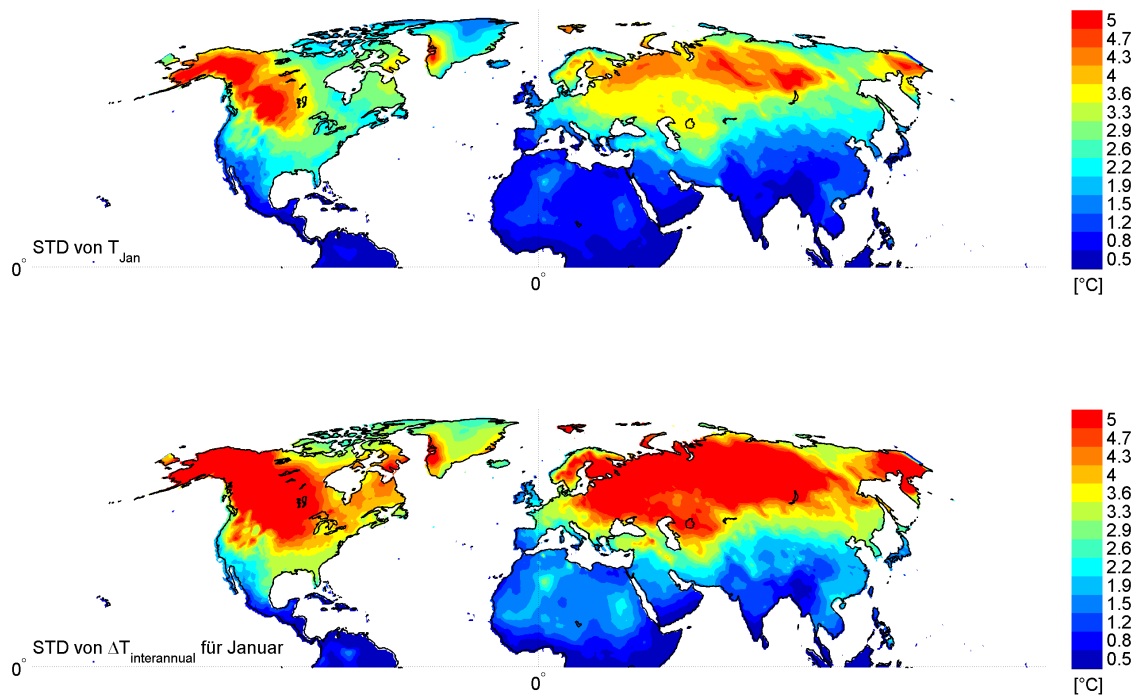


Abb. 2.13.: Räumliche Verteilung der STD für Januartemperaturen sowie der STD des Temperaturunterschieds zwischen zwei Jahren als Maß für die interannuale Variabilität berechnet aus den Reanalysedaten (CRU) für den Zeitraum 1901 – 2000.

Dabei zeigt sich, dass Regionen mit einer hohen Variabilität der Temperaturen ebenfalls große Temperaturunterschieden von Jahr-zu-Jahr aufweisen. Für das Untersuchungsgebiet kann eine ausgeprägte interannuale Variabilität festgestellt werden. Den Einfluss, welche sowohl die monatliche Variabilität als auch die interannuale Variabilität auf die Wahrnehmung durch die Menschen haben kann, wird im folgenden Kapitel noch diskutiert werden.

2.5. Zusammenfassung Daten und Untersuchungsraum

Historische Quellen als paläoklimatische Klimazeiger stellen eine besondere Art von Daten dar. Ihr Charakter, die Art der Information, die räumliche und zeitliche Zuordnung sind inhomogen. Zwar existieren sequenzielle Quellen, welche für kürzere Zeitabschnitte die Ableitung durchgängiger Zeitreihen ermöglichen, aber erst durch den Vergleich und die Verschneidung mit anderen Quellen lässt sich eine Zeitreihe für die letzten 1000 Jahre bestimmen. Durch diese Verschneidung und die Inhomogenität der Datengrundlage muss diese Zusammenschau als eine Sammlung von Einzelereignissen wahrgenommen werden. Die Frage, wie diese als Klimasignale interpretiert werden können und welche Unsicherheiten diesen Daten anhaften, wird im folgenden Kapitel untersucht.

Die für diese Arbeit verwendeten Daten stammen hauptsächlich aus dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland und den angrenzenden Gebieten. Dieser Raum wird im Folgenden als Mitteleuropa bezeichnet. Das Untersuchungsgebiet stellt bei Betrachtung von Angaben zur Temperatur mit monatlicher und saisonaler Auflösung einen homogenen Raum dar, was die Kohärenz der Veränderungen betrifft. Gleichzeitig weisen die Temperaturen sowohl im Jahresgang als auch interannual eine hohe Variabilität auf. Es wird deshalb für dieses Gebiet angenommen, dass hier lebende Menschen schon in einem kurzen Zeitabschnitt fast alle möglichen Witterungszustände erleben und sich gleichzeitig der hohen Variabilität bewusst sind.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits mehrmals auf den besonderen Charakter dieses Proxies hingewiesen. Der sehr wichtige Unterschied von historischen Quellen gegenüber natürlichen Archiven besteht in der Verfügbarkeit der Daten für den gesamten Jahresgang: historische Quellen liefern Informationen zu allen Jahreszeiten und ermöglichen somit, trotz der Einschränkung durch die ordinale Bewertung (die Reduktion auf drei bzw. sieben Klassen) und die Subjektivität der Beschreibungen, langfristige Klimaänderungen zu beschreiben. Hierzu ist eine veränderte Wahrnehmung des durch diesen Proxy beschriebenen Klimasignals im Vergleich zu natürlichen Proxies notwendig: mittel- und langfristige Klimasignale müssen als Folge von Änderungen in der Frequenz gleichgerichteter Witterungsanomalien gesehen werden. Klimaveränderungen sind nicht alleine auf Veränderungen in der Stärke von Temperaturanomalien einzelner Monate zurückzuführen.

Obwohl die Bewertung der Witterung subjektiv geprägt ist, lässt sich doch im Folgenden zeigen, dass diese Unschärfe durch die Menge an verfügbaren Daten ausgeglichen wird. Die einzelnen Indizes dienen in erster Linie der Beschreibung der Variabilität des Klimas, ohne die Notwendigkeit, sie als beispielsweise exakter Temperaturwert zu interpretieren.

Unter dieser Annahme wird deshalb die Stationarität¹ der Variabilität über längere Zeiträume angenommen, anstatt eine Stationarität des Zusammenhangs zwischen Proxy und Klimavariablen in einem Kalibrierungszeitraum zu suchen (siehe u.a. Dobrovolný u. a., 2009). Auf diese Weise ist es möglich, einen längeren Zeitraum zur Kalibrierung der Daten verwenden zu können. Für eine Regression wäre ein Überlappingszeitraum zwischen Proxy und Messwerten nötig (siehe u.a. Jones u. a., 2009), welcher für die hier verwendeten Daten relativ kurz ist (1710-1760). Durch die Regression in einem so kurzen Zeitraum würde die natürliche Variabilität

¹Bei der Zeitreihenanalyse ist die Eigenschaft der Stationarität sehr wichtig. Die *schwache Stationarität*, hier im folgenden einfach als Stationarität bezeichnet liegt vor, wenn der Erwartungswert und die Varianz endlich und zeitunabhängig sind und die Autokovarianzen lediglich von der zeitlichen Verschiebung des Prozesses abhängen (Bahrenberg u. a., 2008).

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

ohnehin unterschätzt (Esper u. a., 2005). Zudem stünde auf diese Weise kein Zeitraum für eine unabhängige Verifizierung zur Verfügung. Aus diesem Grund wird das *variance scaling* zur Kalibrierung der Indizes verwendet: Die Variabilität der Indizes wird auf die gemessene Variabilität für längere Zeiträume skaliert.

Da die einzelnen quellenbasierten Indizes zu verschiedenen Klimavariablen meist unabhängig voneinander sind und es zudem nur einen kurzen Überlappszeitraum mit modernen Instrumentenmessungen gibt, muss zur Abschätzung der Unsicherheit der Rekonstruktion ein anderer Weg gesucht werden. Durch Monte Carlo Simulation² werden die unterschiedlichen Fehler abgeschätzt: die Ungenauigkeit durch die ordinale Bewertung, deren subjektiver Charakter und die evtl. Anpassung der Wahrnehmung an Klimaänderungen. Dabei wird im Folgenden gezeigt, dass durch die Menge an verfügbaren Informationen, die vermeintliche Ungenauigkeit und Subjektivität durch die klassifizierte Bewertung nicht die Beschreibung mittel- und langfristiger Veränderungen verhindert. Selbst eine Reduktion auf nur drei Bewertungsklassen für die vier Jahreszeiten ist ausreichend, um die Klimaentwicklung der letzten 1000 Jahre beschreiben zu können.

Durch die zeitliche Abdeckung für alle Jahreszeiten bieten historische Quellen zudem die Möglichkeit, der unterschiedlichen Variabilität verschiedener Jahreszeiten Rechnung zu tragen: Da die Variabilität der Wintermonate fast doppelt so hoch ist, wie die der Sommermonate, müssen Abweichungen in dieser Jahreszeit bei der Berechnung des Jahresmittels entsprechend gewichtet werden.

Aus der räumlichen Disparität der Informationen lässt sich zudem ein weiteres Kriterium entwickeln, um die beschriebenen Inhalte zu interpretieren: die beschriebenen Muster müssen klimatologisch sinnvolle Muster abbilden. Auf dieser Grundlage wurde ein Regionalisierungsverfahren (siehe Kap. 4) entwickelt, welches in der Lage ist, aus den vorliegenden Informationen Temperaturfelder zu rekonstruieren. Damit wird die wechselseitige Überprüfung, aber auch die Verbindung zu anderen Proxies ermöglicht, da auf diese Weise über größere Räume hinweg verglichen werden kann.

²Ein Verfahren der Stochastik, bei welchem häufig durchgeführte Zufallsexperimente die Basis zur numerischen Lösung komplizierter Probleme darstellen. Durch wiederholtes Ausführen von zufällig modifizierten Prozessen wird eine Datengrundlage zur weiteren statistischen Auswertung geschaffen (siehe u. a. von Storch u. Zwiers, 1999).

3.1. Instationarität in der Historischen Klimatologie?

Die Annahme stabiler Beziehungen zwischen Proxies und dem tatsächlichen Klima über die Zeit hinweg, die sogenannte Stationarität, ist eine der zentralen Schwachstellen der Paläoklimatologie. Vor allem bei natürlichen Proxies wird häufig Stationarität angenommen, auch wenn die Gültigkeit dieser Annahme nur bedingt oder überhaupt nicht zu überprüfen ist und häufig schon in der Kalibrierungsphase³ verletzt wird (Esper u. a., 2005; Bürger, 2007).

In der Historischen Klimatologie existiert für die meisten Informationen per se keine unmittelbare Beziehung zwischen den Proxies und den Klimadaten, sondern vielmehr eine relative Abhängigkeit zur „Normalität“. Eine Ausnahme hiervon bilden die physikalisch begründeten Aussagen, wie beispielsweise das Zufrieren bestimmter Gewässer oder die Blütezeiten von Pflanzen. Welchen Zeitraum der Chronist womöglich als Referenz-„Normalität“ verwendet hat, hängt sowohl von dessen Wahrnehmung als auch von der Einschätzung durch die auswertende Person ab. Durch die hohe zeitliche Auflösung der Daten verliert jedoch der Einfluss möglicher Veränderungen dieser Referenz an Bedeutung, da die mittel- und langfristigen Veränderungen durch die große Menge an verfügbaren Informationen für die betrachteten Zeiträume gut beschrieben werden können⁴: Da historische Quellen Hinweise zu allen Jahreszeiten, häufig sogar zu allen Monaten bieten, existieren für die Beschreibung mittelfristiger Entwicklungen ausreichend Abstufungen. Beispielsweise stehen für ein Jahrzehnt bei einer simplen Differenzierung der Jahreszeiten in *kalt*, *warm* und *normal* schon 81 mögliche Zustände zur Verfügung⁵.

Die hier verwendete Kalibrierung erfolgt deshalb nur unter der Annahme, dass die Variabilität längerer Perioden über die Zeit hinweg konstant bleibt und nicht, wie sonst üblich, unter der Bedingung eines stabilen Zusammenhangs zwischen Proxy und Klimasignal. Diese Annahme lässt sich sowohl durch natürliche Proxies, Instru-

³Als Kalibrierungsphase wird jener Zeitraum bezeichnet, in welchem die Proxydaten Meßdaten gegenüber gestellt werden und eine mathematische Beschreibung des Zusammenhangs festgelegt wird.

⁴Eine Begründung dieser Aussage folgt im Kapitel über die Kalibrierung der thermischen Indizes.

⁵10 Jahre mit vier Jahreszeiten welche jeweils mit „kalt“(-1), „normal“ (0) oder „warm“(1) beschrieben werden, ermöglichen 40 unterscheidbare positive oder negative Abweichungen von der „Normalität“ (0), also $40+1+40=81$ Möglichkeiten.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

mentenmessungen und Klimamodelle, als auch durch historische Aufzeichnungen⁶ (siehe Abb. 3.6) bestätigen.

Schon visuell lässt sich durch Betrachten der verschiedenen Reihen eine hohe interannuale Variabilität feststellen (siehe z.B. das GMD nach Rapp u. Schönwiese (1995), Abb. 3.11). Menschen erleben somit schon in einer kurzen Lebensphase eine Vielzahl möglicher Witterungszustände und können deshalb durchaus in der Lage sein, Unterscheidungen zu treffen und relative Bezüge herzustellen. Die Stabilität der hohen interannuale Variabilität für längere Zeiträume wurde an Instrumentendaten getestet. Zu diesem Zweck wurde das GMD verwendet, welches die monatliche Temperaturentwicklung seit 1760 für Deutschland beschreibt.

Da die Variabilität über die Standardabweichung statistisch beschrieben werden kann, werden für die monatlichen Reihen, wie auch die jährliche Reihe gleitend die Standardabweichungen in unterschiedlich langen Zeitabschnitten, sogenannten Fenstern, berechnet. Wird dieses Fenster Jahr für Jahr berechnet, sind das Ergebnis Reihen der gleitenden Standardabweichung für alle Monate sowie das Jahr für verschiedene Fenstergrößen. Die Größe der Standardabweichung dieser Reihen charakterisiert deren Variabilität. In Abb. 3.1 sind die Standardabweichungen der Reihen gleitender Standardabweichungen ausgewählter Monate bzw. des Jahres für unterschiedliche Fenstergrößen dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass mit Zunahme der Fenstergröße, also des Zeitraumes, für welchen die Standardabweichung gleitend berechnet wurde, die resultierende Reihe rasch an Variabilität verliert. Für längere Zeiträume kann die Variabilität somit als konstant angenommen werden.

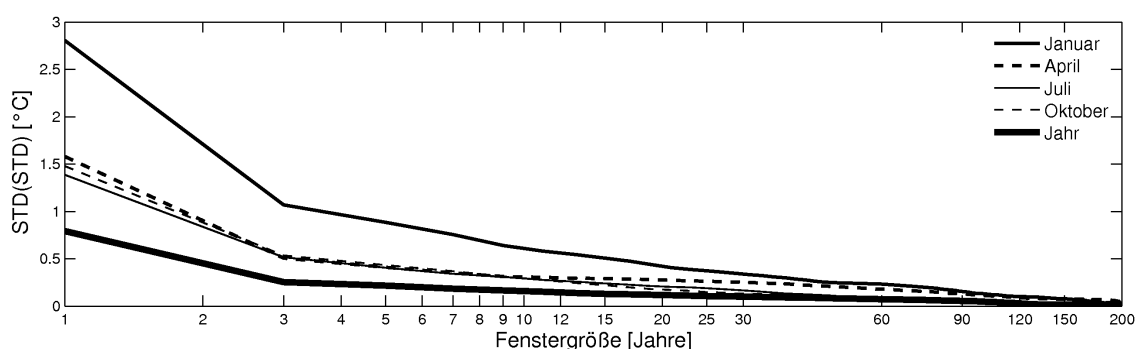


Abb. 3.1.: Standardabweichungen (STD) der Zeitreihen der gleitenden STD ausgewählter Monate und des Jahres für unterschiedliche Fenstergrößen.

⁶Hierbei handelt es sich nicht um einen Zirkelschluss, da die Aussagen aus historischen Quellen argumentativ nur verwendet werden, um eine hohe interannuale Variabilität zu belegen, ohne jedoch deren Aussagekraft bezüglich dem Maß der Abweichung zu bewerten.

3.2. Umrechnung der Indizes in Klimaparameter

Wie in Kap. 2.3.1 dargestellt, lassen sich aus der Fülle der verfügbaren Informationen hermeneutisch Indexreihen ableiten: Für die Zeit ab 1500 bis zum Beginn der Instrumentenmessungen um 1750 liegen die Daten in ausreichender Dichte und Qualität vor, um die durchgängige Ableitung siebenstufiger Bewertungen in monatlicher Auflösung zu ermöglichen. Zwischen 1000 und 1500 ist die Datendichte geringer, so dass für diese Zeit eine durchgängige Reihe mit saisonaler, dreistufiger Auflösung erstellt wurde. Auf der Grundlage dieser beiden Reihen wurde ein Kalibrierungsverfahren entwickelt, welches die Umrechnung dieser Indizes in Klimaparameter erlaubt. Dabei sind besonders die Angaben zur Temperatur sowohl gut dokumentiert, da sie für die Menschen unmittelbar erfahrbar ist, als auch für die Klimarekonstruktion von Interesse, da über diesen Wert der regionale Energiegehalt und -umsatz des Klimasystems gut erfasst wird. Die anschließende Zusammenführung zu einer durchgängigen Zeitreihe für die letzten 1000 Jahre ermöglicht langfristige Analysen der Klimaentwicklung. In Abb. 3.2 ist die Kalibrierung der unterschiedlichen Indizes unter Verwendung moderner Instrumentendaten schematisch dargestellt.

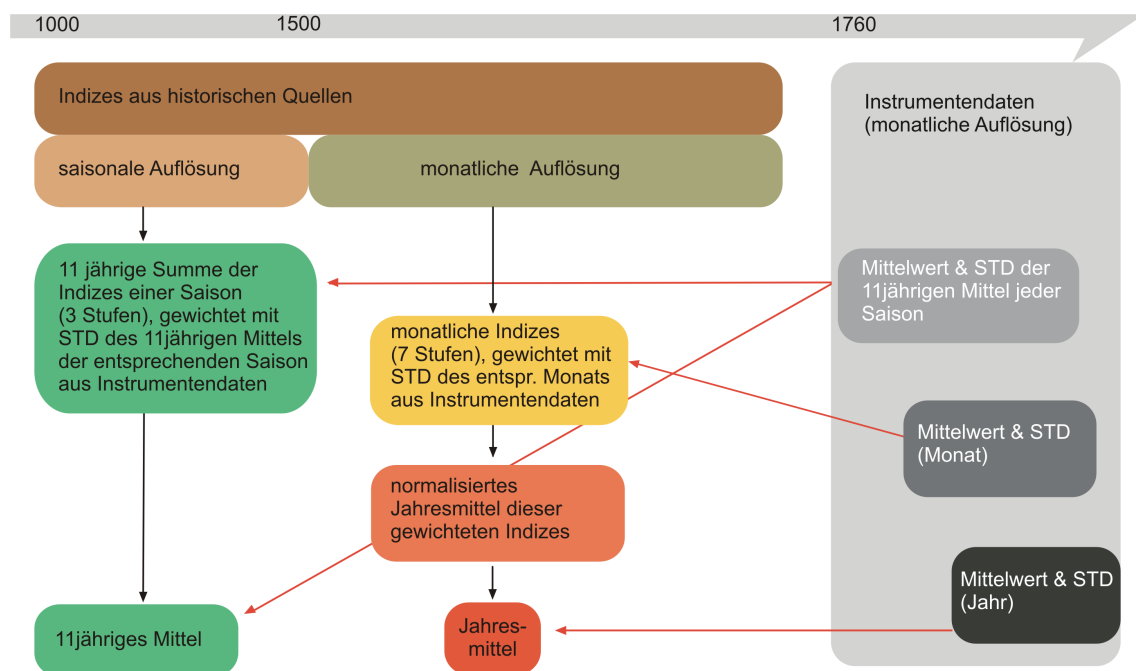


Abb. 3.2.: Schematische Darstellung der Kalibrierung von thermischen Indizes in sieben- und dreistufiger Bewertung und anschließender Zusammenführung zu einer durchgängigen Zeitreihe der Temperaturanomalien für Deutschland. Weitere Erläuterungen im Text.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

Für den Untersuchungsraum existiert mit dem GMD eine durchgängige Zeitreihe der Mitteltemperatur für die Zeit ab 1760, welche im Folgenden als Referenzmessung für die Kalibrierung dient. Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, zeigen Temperaturen bei monatlicher oder saisonaler Auflösung großräumige Ausprägungen (siehe Kap. 2.4.2). Deshalb können Informationen aus historischen Quellen verschiedener Räume zur Erstellung einer gesamten Reihe für Deutschland herangezogen werden und die resultierende Reihe der Referenzreihe gegenüber gestellt werden. Es kann angenommen werden, dass Menschen aus Regionen mit größerem Schwankungsbereich der Temperatur, wie dies beispielsweise in Gebirgen der Fall ist, gegenüber kleineren Veränderungen weniger sensibel sind (Glaser u. Riemann, 2009b). Somit wird beispielsweise ein Indexschritt in den Alpen einer größeren Temperaturabweichung entsprechen als in Küstennähe. Das Gleiche gilt für die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten: ein Indexschritt im Sommer entspricht einem anderen Temperaturunterschied als ein Indexschritt im Winter, da in dieser Jahreszeit die Variabilität doppelt so hoch ist wie im Sommer⁷. Folgerichtig korrelieren die Indizes mit den normierten Temperaturen, welche für das Untersuchungsgebiet kohärente Strukturen aufweisen (siehe Kap. 2.4.2) und damit ebenfalls die Verwendung von Informationen aus verschiedenen Räumen zur Erstellung einer durchgängigen Reihe für das Untersuchungsgebiet rechtfertigen.

Die hier vorgestellte Kalibrierung basiert auf der Annahme, dass die Indizes für längere Zeiträume klimatologische Strukturen nachbilden, dass also die beschriebene Variabilität der natürlichen Variabilität entspricht. Wie im vorangegangenen Kapitel (Kap. 3.1) gezeigt, kann angenommen werden, dass die Variabilität für längere Zeiträume gleich bleibt. Mittel- und längerfristige Abweichungen der Mitteltemperatur sind vor allem die Folge von Veränderungen in der Häufigkeit des Auftretens gleichgerichteter Abweichungen. Die Stärke dieser Abweichungen wird als untergeordnet relevant erachtet, wie in den folgenden Kapiteln noch gezeigt wird. Diese Annahme stützt sich u.a. auf die Beobachtung, dass schon eine dreistufige Bewertung für saisonal aufgelöste Daten die Beschreibung lang- und mittelfristiger Veränderungen ermöglicht. Auf Grund dieser Erkenntnisse werden die Indexreihen durch Skalierung der Varianz an die Variabilität der Referenzmessung angepasst. Diese Anpassung, als Kalibrierung bezeichnet, wird im Folgenden vorgestellt.

⁷Die Standardabweichung der gemessenen Temperaturen der Sommermonate der letzten 200 Jahre liegt bei ca. 1.3°C wohingegen die Wintertemperaturen Standardabweichungen bis zu 2.8°C aufweisen.

3.2.1. Kalibrierung der siebenstufigen thermischen Indizes

In verschiedenen Studien wurde ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Indizes und der Temperatur bestätigt (Dobrovolný u. a., 2009; Glaser, 2001; Bradley u. Jones, 1995; Lamb, 1977). Die hier vorgestellte Kalibrierungstechnik basiert auf diesen Erkenntnissen. Weiterhin wird zeitliche Stationarität für den Zusammenhang zwischen Proxy und Klimasignal vorausgesetzt, eine in der Paläoklimatologie gängige Annahme (Bradley, 1999). Im Gegensatz zu anderen Kalibrierungstechniken wird für den betrachteten Zeitraum jedoch v.a. angenommen, dass die Variabilität für längere Zeiträume konstant bleibt, wohingegen die Veränderung der Mitteltemperatur nur als eine Folge mittelfristiger Verschiebungen in dieser Variabilität verstanden wird. Deshalb ist die Annahme einer Stationarität des linearen Zusammenhangs zwischen Proxy und Mitteltemperatur nur von untergeordneter Bedeutung.

Auf Grundlage dieser beiden Annahmen lassen sich die Monatsmitteltemperaturen einzelner Jahre berechnen, indem Indexwerte von Null gleich der Mitteltemperatur μ_m des entsprechenden Monats in der Referenzperiode gesetzt werden. Abweichungen über- bzw. unterhalb dieses Wertes entsprechen den i -fachen Anteilen a der STD des zugehörigen Monats σ_m . Dabei steht i_m für die Indexklasse und a für den Anteil an der STD, welchen dieser Indexschritt im Mittel beschreibt. Die Verwendung eines Anteils der STD basiert auf der Eigenschaft der Indizes, welche die Abweichungen vom „Normalzustand“, abhängig von der Region und der Saison, beschreiben. Aus den so kalibrierten Monatswerten lässt sich anschließend die Jahresdurchschnittstemperatur T_{recon} berechnen:

$$T_{recon} = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} (\mu_m + a \cdot i_m \cdot \sigma_m) \quad (3.1)$$

Glaser (2001) verwendet für a Werte zwischen 0.5 und 0.75, welche empirisch durch lineare Regression mit Instrumentenmessungen bestimmt wurden. Als Referenzmessung für die monatlichen Mittelwerte (μ_m) und Variabilitäten (σ_m) dient im Fall der hier verwendeten thermischen Indizes das GMD, welches den Zeitraum von 1760 bis heute umfasst. Um jedoch mögliche Verzerrungen durch den modernen, vermutlich menschengemachten Temperaturanstieg zu vermeiden, wird als Referenzperiode die Zeit zwischen 1760 und 1970 verwendet. Gl. 3.1 basiert auf der Annahme, dass μ_m und σ_m konstant sind. Dass die Variabilität einzelner Monate für länger Zeiträume konstant bleibt, wurde bereits in Kap. 3.1 gezeigt. Auf die Unsicherheiten, welche sich aus der Annahme ergeben, dass auch die Mitteltemperaturen als konstant ange-

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

nommen werden, wird in Kap. 3.3 noch eingegangen. Zur eindeutigen Bestimmung des Vorfaktors a , dem *scaling factor*, sind einige grundsätzliche Überlegungen nötig: Wie bereits in der Einführung des Indexierungsverfahrens (in Kap. 2.2) dargestellt, weisen die Verteilungen für die Werte einzelner Monate weder für die Instrumentenmessungen (1760 – 2007) noch für die siebenstufigen Indizes (1500 – 1750) eine Normalverteilung auf, wird diese durch Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Die Unterschiede können durch die Reduktion auf sieben Klassen erklärt werden, stellen aber sicherlich auch Klimasignale dar, da eine Normalverteilung bei nur ca. 250 Werten nicht erwartet werden kann. Insgesamt kann jedoch die qualitativ ähnliche Verteilung, mit einer starken Abnahme zu den Extremwerten hin, als Hinweis gesehen werden, dass die abgeleiteten Indizes klimatologisch sinnvolle Strukturen nachbilden.

Die Reduktion auf sieben Stufen schränkt die genaue Anpassung der Variabilität von monatlichen Indexreihen ein, da diese grobe Abstufung im Vergleich mit kontinuierlichen Werten, wie die der Referenzmessungen bei kürzeren Reihen, zu Abweichungen in den wenigen Klassen führt. Außerdem werden durch dieses Verfahren die Temperaturen in ungleich große Klassen verteilt: Der Index „0“ umfasst den größten Wertebereich möglicher Temperaturen, da er alle kleineren Auslenkungen ober- und unterhalb des Mittelwertes einschließt. Die Extremklassen subsumieren alle Werte oberhalb eines Grenzwertes und führen entsprechend zu einer Unterbewertung der Extreme, welche jedoch definitionsgemäß sehr selten auftreten und deshalb für eine langfristige Analyse der Temperaturentwicklung nicht von Bedeutung sind. Um eine bessere Differenzierung der Temperatur zu ermöglichen, werden deshalb die Jahrestemperaturen betrachtet. Entsprechend werden aus den monatlichen Indexwerten Jahressummen berechnet. Dadurch ergibt sich eine deutlich feiner abgestimmte Verteilung möglicher Werte, da nunmehr aus 12 Monaten jeweils sieben mögliche Werte kombiniert werden, woraus sich eine Abstufung in 73 Klassen ergibt⁸. Die so berechneten Jahressummen aus den Indexwerten zwischen 1500 und 1760 weisen nun annähernd Normalverteilung auf (siehe Abb. 2.6, Kap. 2.3.1).

Durch Kalibrierung dieser Werte mit der Variabilität der ebenfalls normalverteilten Jahresanomalien des Referenzzeitraumes ist es möglich, aus den Indizes eine Zeitreihe der jährlichen Temperaturanomalien abzuleiten, deren Variabilität der natürlichen sehr nahe kommt. Durch die Verwendung eines sehr langen Referenzzeitraumes (1760-1970) kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass ein großes

⁸Die möglichen Abstufungen ergeben sich aus der Anzahl der möglichen Kombinationen der sieben Klassen für alle zwölf Monate: Für den ungewöhnlichen Fall, dass alle zwölf Monate als „extrem“ (± 3) bewertet wurden, wäre die Jahressumme ± 36 . Daraus ergeben sich für ein Jahr $36 + 1 + 36 = 73$ mögliche Zustände.

3.2. Umrechnung der Indizes in Klimaparameter

Spektrum der natürlichen Klimavariabilität abgedeckt wird. Diese Annahme wird später noch diskutiert und an Klimamodelldaten überprüft werden.

Da Indizes nur Abweichungen vom „Normalzustand“ beschreiben, werden statt der absoluten Temperaturen die Abweichungen vom Mittelwert μ_m betrachtet (d.h. in Gl. 3.1 wird $\mu_m = 0$). Zur Ableitung einer Zeitreihe der Jahresanomalien $\Delta \vec{T}_{recon}$ wird die Zeitreihe der Jahressummen der Indizes normiert und mit der Standardabweichung σ_a der Jahresmitteltemperaturen des Referenzzeitraumes multipliziert, um die Varianz der beiden Reihen anzugleichen (*variance scaling*):

$$\Delta \vec{T}_{recon} = \left[\sum_{m=1}^{12} \vec{i}_m \right]_{norm} \cdot \sigma_a \quad (3.2)$$

Dabei ist $\vec{i}_m$ ein Vektor mit der Indexserie eines Monats. Die Summe dieser Vektoren ergibt die Jahressumme. Dieses Verfahren unterschlägt jedoch die unterschiedliche Variabilität der verschiedenen Monate. So ist die Schwankungsbreite der Wintertemperaturen teilweise mehr als doppelt so groß, wie die der Sommermonate, wodurch deren Beiträge zur Jahresdurchschnittstemperatur entsprechend unterschiedlich sind. Deshalb werden die Indexwerte der Monate vor Berechnung des Jahresmittels noch mit der Standardabweichung der Monate in der Referenzperiode gewichtet⁹.

$$\Delta \vec{T}_{recon} = \left[\sum_{m=1}^{12} \vec{i}_m \cdot \frac{\sigma_m}{\sum_{m=1}^{12} \sigma_m} \right]_{norm} \cdot \sigma_a \quad (3.3)$$

Der konstante Faktor $\sum_{m=1}^{12} \sigma_m$ wird durch die Normierung unerheblich und deshalb nicht weiter mitgeführt. In Matrizenschreibweise vereinfacht sich somit Gl. 3.3 zu

$$\Delta \vec{T}_{recon} = [\overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m]_{norm} \cdot \sigma_a \quad (3.4)$$

Dabei ist $\overline{i_m}$ eine Matrix mit den Indizes (zwölf Spalten für die Monate und je eine Zeile pro Jahr) und $\vec{\sigma}_m$ der Vektor mit den Standardabweichungen der Monate

⁹Durch andere Arten der Gewichtung, z.B. mit der Varianz oder durch Logarithmierung der Werte u.ä. wird keine Verbesserung der Rekonstruktion erzielt. Außerdem sind diese nicht begründbar und wurden deshalb verworfen.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

des Referenzzeitraumes. Deren Matrizenprodukt $\overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m$ ergibt die Jahressumme der gewichteten Indizes $\vec{i}_a$. Die Normierung wird durch Division mit der STD σ_{i_a} der berechneten Indexreihe erreicht¹⁰, wodurch Gl. 3.4 umgeschrieben werden kann zu

$$\Delta \vec{T}_{recon} = \frac{\vec{i}_a}{\sigma_{i_a}} \cdot \sigma_a \quad (3.5)$$

Mit $\vec{i}_a = \overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m$, als Zeitreihe der gewichteten Indexjahressummen und σ_{i_a} als deren STD.

Was wiegt das einzelne Wort?

Um den Einfluss des einzelnen Monats abzuschätzen, also auch die Frage zu beantworten, welcher Temperaturdifferenz eine Indexstufe entspricht, wird auf Gl. 3.1 basierend die rekonstruierte Jahresanomalie $\Delta \vec{T}_{recon}$ folgendermaßen berechnet:

$$\begin{aligned} \Delta \vec{T}_{recon} &= \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} \left(a \cdot \vec{i}_m \cdot \sigma_m \right) \\ &= \frac{a}{12} \cdot \overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m \end{aligned} \quad (3.6)$$

Mit a als unbekannter Anteil der Standardabweichung jeden Monats, dessen Vielfaches die Indizes beschreiben. Dabei wird von einem für alle Monate gleichen Anteil ausgegangen, da sonst zu viele Freiheitsgrade für die Abschätzung von a vorhanden wären. Deshalb kann a als konstanter Wert aus der Summe gezogen werden. Eine monatsweise Abschätzung von a würde die Anpassung der Variabilität jeder monatlichen Indexreihe σ_m an die Referenzmessung bedeuten, was jedoch aufgrund der nur sieben möglichen Werte zu Ungenauigkeiten führen würde. Unter der Annahme, dass die Variabilität der rekonstruierten Reihe der im Referenzzeitraum entspricht, ist es möglich, a zu bestimmen. Dieser Wert wird als *variance scaling*-Faktor bezeichnet (Zorita u. a., 2010).

¹⁰Der Mittelwert wird nicht abgezogen, da die Reihen aus zu wenigen Werten bestehen, um eine Normalverteilung anzunehmen und leichte Verschiebungen der Schiefe als Klimasignale verstanden werden müssen (s.o.).

3.2. Umrechnung der Indizes in Klimaparameter

$$\begin{aligned} STD\left(\frac{a}{12}\overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m\right) &= \sigma_a \\ \Leftrightarrow |a| &= \frac{\sigma_a}{STD\left(\frac{\overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m}{12}\right)} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Dieser Wert beschreibt den Anteil an der STD des jeweiligen Monats, welcher im Mittel durch eine Indexstufe beschrieben wird. Da dieser Wert immer positiv ist, lässt sich Gl. 3.7 schreiben als

$$a = \frac{12 \cdot \sigma_a}{STD(\overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m)} \quad (3.8)$$

Die Frage, wie viel Grad Celsius eine Indexstufe entspricht, kann mit Gl. 3.8 beantwortet werden: Der *scaling factor* a hängt von den monatlichen und jährlichen Variabilitäten (σ_a und σ_m) im Referenzzeitraum sowie der Indexreihe ab. Diese Werte sind vom Zeitraum, also von dessen Lage und Länge abhängig. In Abb. 3.3 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Auf der Abszisse ist die Länge der zu kalibrierten Indexreihe aufgetragen, auf der Ordinate der *scaling factor*. Die Durchmesser der Kreise nehmen mit der Länge des Referenzzeitraumes für die Instrumentenmessungen zu, welche zur Skalierung der Variabilität verwendet werden. Mit Zunahme der Länge beider Reihen divergieren die möglichen Werte für a zu 0.8-0.85. Sie liegen damit etwas über den von Glaser abgeschätzten Werten von 0.75 (Glaser, 2001).

Dies bedeutet, dass ein Indexschritt fast einer Standardabweichung entspricht, was für Januar ungefähr 2.5°C ausmacht und somit einen ausgeprägten und fühlbaren Unterschied darstellt. Zwar bedeutet dies nicht umgekehrt, dass die Temperaturen auch entsprechend wahrgenommen und beschrieben wurden, jedoch wird diese Abschätzung als Grundlage für die im Folgenden noch dargestellte Diskussionen dienen.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

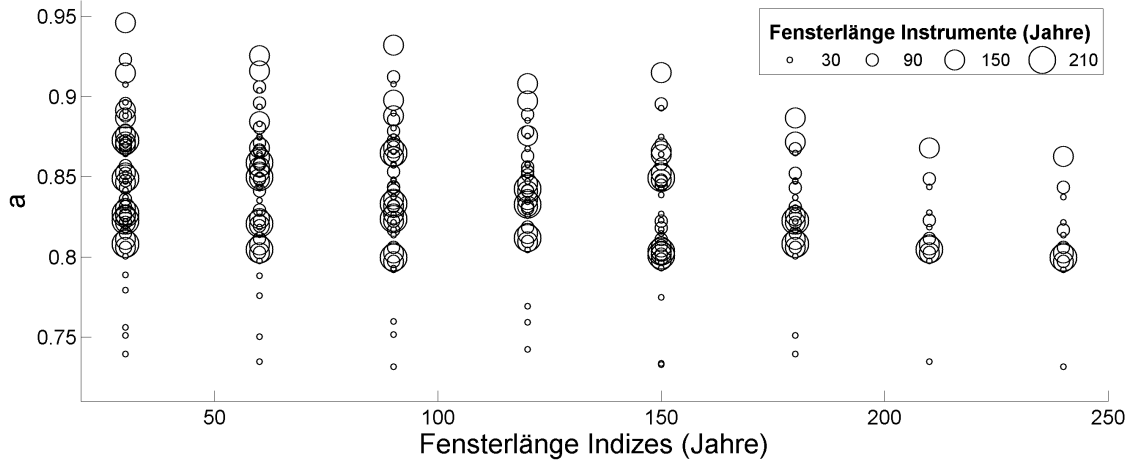


Abb. 3.3.: Abhängigkeit des scaling factor a von der Länge der Indexreihe und der Länge des Referenzzeitraumes für monatlich aufgelöste Daten. Die Durchmesser der Kreise nehmen mit der Länge des Referenzzeitraumes zu.

3.2.2. Die Kalibrierung saisonaler Indizes

Vor 1500 ist die Datendichte insgesamt geringer, so dass hier, um eine konsistente Beschreibung zu erreichen, nur mit Indizes zwischen -1 und 1 in saisonaler Auflösung gerechnet wird. Um siebenstufig bewertete Informationen zu integrieren, werden alle Abweichungen von 0 auf ± 1 reduziert. Diese Verfahren finden auch bei Glaser (2001) Anwendung.

Nach Lamb (1977) und Glaser (2001) bietet sich für diese Zeit an, Informationen eines gesamten Jahrzehnts zu verwenden, um auf diese Weise genügend Angaben zur Verfügung zu haben, welche eine ausreichend hohe Abstufung erlauben. Für ein Jahrzehnt ergeben sich bei saisonalen Angaben mit dreistufiger Auflösung somit 81 mögliche Kombinationen. In Anlehnung an die Bildung von so genannten *Dezen-nienindizes* (Glaser, 2008; Lamb, 1977) werden hier 11-jährig gleitende Summen der Angaben zu Jahreszeiten $\overline{i_{s11}}$ berechnet. Analog zum Vorgehen bei der Kalibrierung der siebenstufigen Indizes werden diese mit der STD des entsprechend geglätteten Saisonmittels im Referenzzeitraum (σ_{s11}) gewichtet. Die daraus berechneten Jahresmittel werden mit der Standardabweichung der entsprechend geglätteten Jahresmittel im Referenzzeitraum kalibriert.

$$\Delta T_{recon} = \frac{a_{sais}}{4} \cdot \overline{i_{s11}} \cdot \vec{\sigma}_{s11} \quad (3.9)$$

3.2. Umrechnung der Indizes in Klimaparameter

Damit folgt diese Vorgehensweise der verwendeten Methode zur Kalibrierung der monatlichen Indizes. Ebenfalls analog zum Vorgehen bei den monatlichen Indizes (siehe Gl. 3.8) kann unter der Annahme, dass die Variabilität der rekonstruierten Reihe der des Referenzzeitraumes entspricht, der *scaling factor* bestimmt werden.

$$a_{sais} = \frac{4 \cdot \sigma_{a11}}{STD(\overline{i_{s11}} \cdot \vec{\sigma}_{s11})} \quad (3.10)$$

a_{sais} divergiert zu 0.4 (siehe Abb. 3.4), d.h. auf eine einzelne Saison eines Jahres bezogen bedeutet die Abweichung vom Normalzustand eine Temperaturdifferenz von 0.4 der Variabilität des 11-jährigen Mittels dieser Saison.

Werden jeweils jährliche statt 11-jährige Mittel sowohl für die Index- als auch die Referenzmessungen verwendet, ergibt sich für $a_{sais,ann}$ ein Wert von 1.3 bei dreistufigen saisonalen Indizes und 1.1 bei der Verwendung von siebenstufig aufgelösten saisonalen Angaben. Bei saisonaler Auflösung pro Jahr stehen nicht ausreichend Informationen zur Verfügung, um eine ausreichend feine Abstufung zu ermöglichen, weshalb diese Werte als Näherung zu verstehen sind. Sie werden jedoch später für die Anwendung des Regionalisierungsmodells in Kap. 4 benötigt.

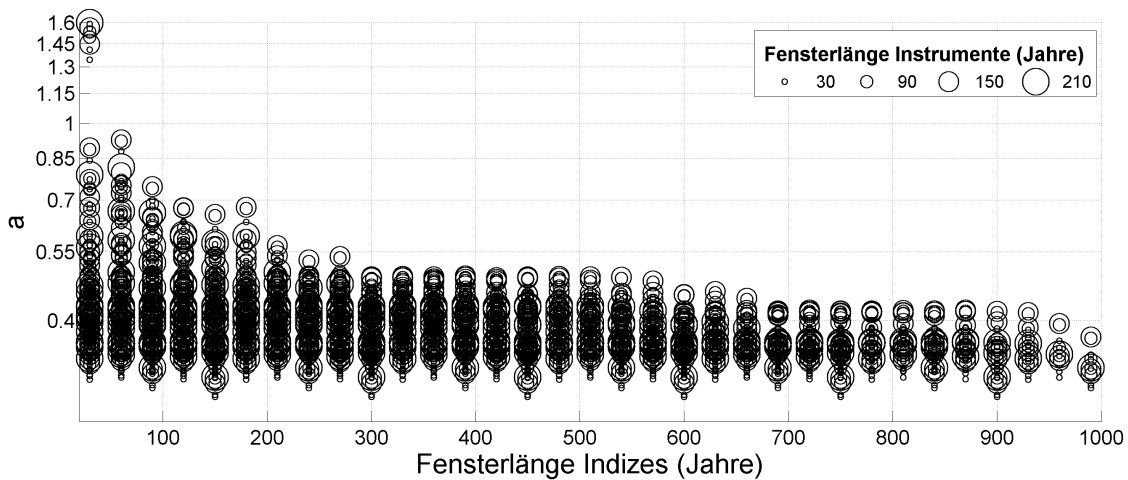


Abb. 3.4.: Abhängigkeit des *scaling factor* a von der Länge der Indexreihe und der Länge des Referenzzeitraumes für saisonal aufgelöste Daten. Die Durchmesser der Kreise nehmen mit der Länge des Referenzzeitraumes zu.

Da für den Referenzzeitraum eine sehr lange Periode gewählt wurde (1760-1970), wird auch hier angenommen, dass die berechnete Varianz auf längere Zeiträume übertragen werden kann.

3.3. Unsicherheiten dieser Kalibrierungstechnik

Die hier beschriebene, einfache Kalibrierungstechnik basiert auf der Annahme, dass sowohl die Variabilität der Temperatur als auch die Mitteltemperatur über längere Zeiträume hinweg konstant bleibt. Dies ist sicherlich eine Vereinfachung und weicht etwas von den klassischen statistischen Kalibrierungsmethoden ab, bei welchen in einem längeren Kalibrierungszeitraum durch Regression zwischen den Proxy-Daten und den Instrumentenmessungen ein (häufig linearer) Zusammenhang bestimmt wird. Im vorliegenden Fall besteht leider ein solcher längerer Überlappungszeitraum nicht, was mit den Ausschlag dafür gab, diese Kalibrierungstechnik zu wählen. Jedoch hat diese Technik den Vorteil, durch den langen Referenzzeitraum repräsentative klimatische Strukturen abzudecken.

Aus den Instrumentenmessungen lässt sich nicht abschätzen, wie groß der Fehler aus der Annahme der Stabilität von Varianz und Mittelwert für längere Zeiten ist. Gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Zirkulations-Modelle bieten längere Zeitreihen mit „natürlichen“ Klimastrukturen und können deshalb zur Abschätzung dieser Unsicherheiten herangezogen werden. Zu diesem Zweck wurde die gemittelte Temperatur für Mitteleuropa aus dem ECHO-G Erik2 Modell (González-Rouco u. a., 2006) verwendet. Die STD der gleitenden 210-jährigen STDs als Maß für die Variabilität liegt im Bereich von 0.02 bis 0.07°C für die monatlichen Werte und bei 0.04°C für die jährlichen Werte. Im Vergleich mit den STDs der Monate aus den Instrumentenmessungen (von 1.3°C für Juni bis 2.8°C für Januar) sind diese langfristigen Veränderungen der Variabilität sehr gering, weshalb die angenommene Vereinfachung, dass die Varianz für längere Zeiträume für das letzte Millennium stabil bleibt, sinnvoll erscheint. Eine ähnliche Abschätzung für die Stabilität der Mittelwerte unter Verwendung der gleichen Modelldaten zeigt, dass die STDs für die gleitenden monatlichen Mitteltemperaturen (210-jähriges Fenster) zwischen 0.11°C für Juli und 0.25°C für Januar (0.16°C für das Jahr) liegen. Diese (geringen) Fehler werden im folgenden Kapitel noch diskutiert werden. Eine weitere Unsicherheit resultiert aus der Subjektivität der Indexbildung, sowohl durch die Zeitzeugen, als auch durch die Leser der Aufschriebe. Wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt, liegen die Abstufungen zwischen den einzelnen Klassen deutlich auseinander: aus $a_m = 0.8$ folgt, dass ein Indexschritt Temperaturunterschieden von ungefähr 1.3°C für die Sommermonate und 2.5°C für die Wintermonate entspricht. Da dies jedoch umgekehrt nicht bedeutet, dass genau diese Unterschiede ihren entsprechenden Ausdruck in den Quellen finden, liegt in dieser Klassenbreite ein weiterer Fehler, welcher ebenfalls im Folgenden diskutiert wird.

3.3.1. Fehlerabschätzung

Um mögliche Fehlerquellen in der Rekonstruktion abzuschätzen, wurde eine *Monte Carlo* Methode (MC) verwendet. Hierfür wurden während der Kalibrierung mögliche Fehler addiert, um auf diese Weise andere mögliche Ergebnisse zu simulieren. Aus 1000 solcher modifizierter Reihen lässt sich anschließend der Unsicherheitsbereich für die Rekonstruktion abschätzen. Mögliche Fehler ergeben sich aus

1. der Unsicherheit der Indexbildung (Indexbildungsfehler),
2. den Verlusten durch die Reduktion auf sieben/drei Klassen (Indexklassenbreite) und
3. der Anpassung der menschlichen Wahrnehmung an mittelfristige Veränderung der monatlichen bzw. saisonalen Mitteltemperaturen (mittelfristige Veränderung).

Die jeweiligen Fehler haben unterschiedliche Größen und weisen auch in den Verteilungen der Wahrscheinlichkeiten ihres Auftretens Unterschiede auf. Aufgrund der zwei subjektiven Beurteilungen, erwächst die größte Unsicherheit aus der Indexbildung: Erstens, aufgrund der Subjektivität der Wahrnehmung und Dokumentation der wahrgenommenen Temperaturen und zweitens aus der Subjektivität der Bewertung und Klassifizierung dieser Aussagen. Um dieser Unsicherheit Rechnung zu tragen, wurden alle Werte der für die MC-Simulation zu modifizierenden Reihen vor der Kalibrierung mit gleich verteilter Wahrscheinlichkeit (d.h. jeweils 33.3%) um einen Indexschritt verändert oder belassen. Es wird also angenommen, dass die von Zeitzeugen wahrgenommene und beschriebene Temperatur von späteren Lesern um eine Klasse unterschiedlich interpretiert werden kann.

Der Fehler aus der Reduktion auf nur sieben bzw. drei Stufen trägt der Tatsache Rechnung, dass die tatsächliche Temperatur in einem Bereich der Breite einer Klasse gelegen haben kann und zwar mit einer als gleichförmig angenommenen Verteilung der Auftretenswahrscheinlichkeit über die gesamte Breite. Diese lässt sich als das Produkt der STD des/der jeweilige/n Monats/Saison mit dem zugehörigen *scaling factor* berechnen ($a_{\text{Monat/Saison}} \cdot \sigma_{\text{Monat/Saison}}$).

Ein weiterer möglicher Fehler entsteht aus der möglichen Anpassung der menschlichen Wahrnehmung an mittelfristige Veränderungen der mittleren Temperaturen: nach einer Folge gleichgerichteter Anomalien verschiebt sich womöglich die Bezugstemperatur, zu welcher die Anomalien in Beziehung gesetzt werden, so dass folgende Anomalien evtl. weniger intensiv wahrgenommen wurden. Um diese mögliche Änderung der Referenztemperatur abzuschätzen, wurde die Klimanormalperiode von

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

31 Jahren als mittelfristige Periode gewählt, in welcher es zu dieser Verschiebung der Referenztemperatur gekommen sein könnte. Die STDs der 31-jährig geglätteten Referenzreihen aller Monate beschreiben die Schwankungsbreite dieser möglichen Änderung der Bezugstemperatur. Es wird angenommen, dass die Fehler für die verschiedenen Monate normalverteilt sind und diese Normalverteilung durch die STDs der 31-jährigen Reihen der Referenzreihen beschrieben werden können. Die auf diese Weise zufällig bestimmten Fehler werden zu der kalibrierten Reihe addiert.

Zur Berechnung des gesamten Fehlers werden somit zunächst alle Indizes zufällig um einen Schritt variiert oder belassen (Indexierungsfehler) und anschließend die Reihe zu Temperaturen kalibriert. Die übrigen zwei Fehler (Indexklassenbreite und mittelfristige Veränderung) werden dann zufällig und mit entsprechender Verteilung zu dieser Reihe addiert. Aus 1000 entsprechend berechneter möglicher Temperaturreihen kann die STD für jedes Jahr berechnet werden. Als gesamte Unsicherheit der Rekonstruktion wird für jedes Jahr die zweifache STD verwendet, da diese das Vertrauensintervall für 95% der möglichen Werte beschreibt. Für die jährlichen Werte, also jene, die auf den monatlichen siebenstufigen Indizes basieren (1500 – 1760), ist diese 0.71°C (und somit $0.71^{\circ}\text{C}/\sqrt{11} = 0.2^{\circ}\text{C}$ für die 11-jährig geglätteten Reihen). Für die 11-jährigen, saisonal aufgelösten Reihen (1000 – 1500) liegt dieser Fehler bei 0.49°C . Der Indexbildungsfehler macht dabei 60% des gesamten Fehlers der auf monatlichen Indizes basierenden Reihen aus und 70% bei Verwendung saisonal aufgelöster Informationen. Der Fehler der Instrumentenmessungen wird für einzelne Monate zu $\pm 1^{\circ}\text{C}$ angenommen (Rapp, 2000; DWD, 2010), woraus sich der jährliche Fehler zu ca. 0.3°C und entsprechend für die 11-jährig geglätteten Reihen zu 0.09°C bestimmt¹¹.

3.3.2. Validierung der rekonstruierten Reihen

Die vorangegangene Fehlerabschätzung bezieht sich im Wesentlichen auf Fehler, die methodisch mit dem Verfahren der Indexbildung zusammen hängen. Sie kann jedoch nicht die Vorhersagequalitäten der Indizes beurteilen. Um dieser Frage ebenfalls zu begegnen, wird die rekonstruierte Reihe mit Instrumentendaten validiert. Obwohl es keine Instrumentendaten gibt, um die Indizes direkt zu kalibrieren, so ist es doch möglich, einige frühe Instrumentenmessungen zur Validierung im Zeitraum 1710-1750 zu finden, in welchem Indizes vorliegen, die unabhängig von den Instrumentenmessungen gewonnen wurden. Aus den verfügbaren Messungen der Stationen

¹¹Damit wird eine sehr konservative Fehlerabschätzung vorgenommen, da Rapp (2000) für seine Reihe einen Fehler der monatlichen Werte von $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ annimmt, woraus sich für das 11-jährige Mittel ein Fehler von 0.03°C ergibt.

3.3. Unsicherheiten dieser Kalibrierungstechnik

Berlin-Tempelhof und de Bilt Brumme (1981) wurde eine Reihe der jährlichen Mitteltemperaturen berechnet (TempBdB), welche mit der GMD-Reihe einen sehr guten Zusammenhang aufweist ($r=0.88$). Diese beiden Stationen sind die Einzigen, welche im räumlich relevanten Gebiet verfügbar sind; sie sind zudem Bestandteil der GMD-Reihe. TempBdB wurde verwendet, um einerseits eine Verifizierung zu ermöglichen und um andererseits die Lücke zwischen 1750 und 1760 zu schließen.

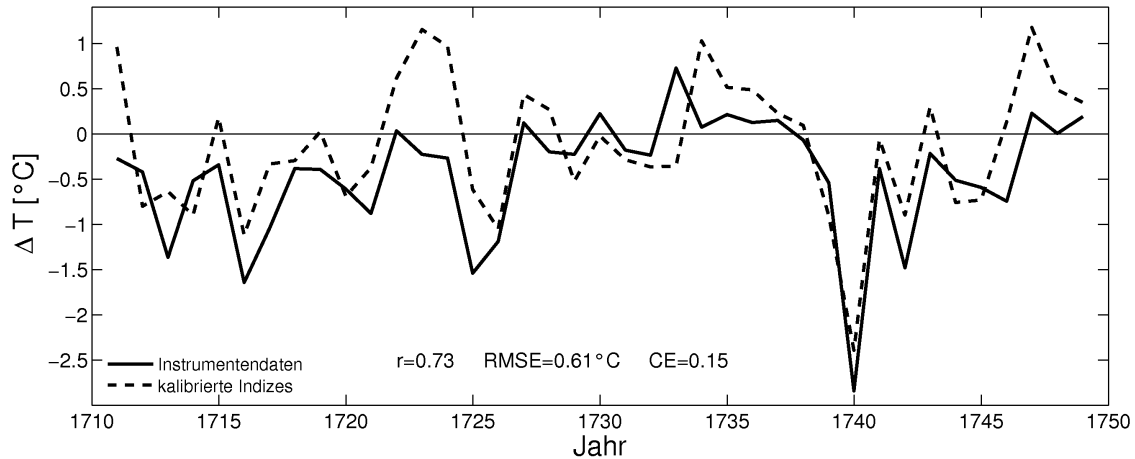


Abb. 3.5.: Vergleich der kalibrierten Reihe mit dem Mittel der Instrumentenmessungen von de Bilt und Berlin-Tempelhof (TempBdB). Temperaturanomalien ΔT bezüglich der Referenzperiode 1760-1970.

In Abb. 3.5 ist der Vergleich der rekonstruierten Reihe mit TempBdB dargestellt. Um die Güte der Rekonstruktion zu bewerten, wurden der Korrelationskoeffizient r , die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (*root mean squared error*, RMSE) und der *coefficient of efficiency* (CE) für die Verifizierungsperiode 1710-1750 berechnet. Die verwendeten Formeln sind im Anhang angegeben.

Ein Wert von $r=0.73$ zwischen den Instrumentendaten TempBdB und der rekonstruierten Reihe weist auf die hohe lineare Beziehung hin: Mehr als 50% der gemessenen Variabilität der Temperatur kann durch die Indizes erklärt werden. Der zweifache RMSE wird häufig als Fehler einer Rekonstruktion verwendet. In der Verifizierungsperiode ist dieser 0.61°C , womit sich der Fehler für die jährlichen Werte nach 1500 zu ca. 1.32°C bestimmt. Obwohl dieser größer ist als durch die MC-Abschätzung bestimmt (0.71°C), wird Letzterer verwendet: Da die Verifizierungsperiode zu kurz ist, um den Fehler für die 11-jährig geglätteten Reihen und damit für die saisonal aufgelösten Werte vor 1500 abzuschätzen, wird zu Gunsten einer konsistenten Fehlerabschätzung durchgängig, d.h. für die saisonalen und monatlichen Werte (1000 – 1760), der durch MC bestimmte Fehler verwendet. Der CE

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

kann als „Ausdruck des wahren r^2 einer Regressionsgleichung, welche auf neue Daten angewendet wird“ (Wilson u. a., 2006), verstanden werden. Der CE vergleicht die Summe der quadrierten Residuen (Reste) gegenüber der Rekonstruktion (also die Differenz zwischen Instrumentendaten und Rekonstruktion) mit der Summe der quadrierten Residuen gegenüber dem Mittelwert der Instrumentenmessung im Validierungszeitraum. Er reicht von $-\infty$ bis 1, was für perfekte Vorhersage steht. Ein Wert von Null bedeutet, dass die Abweichungen zwischen Rekonstruktion und Validierungsdaten ebenso groß sind, wäre als Referenzwert der Mittelwert verwendet worden. Das bedeutet, dass statt der Rekonstruktion ebenso der Mittelwert verwendet werden könnte. Positive Werte bedeuten somit Rekonstruktionsfähigkeit. Für den Zeitraum 1710 – 1750 ist CE 0.15, was somit auf eine geringe Rekonstruktionsqualität hindeutet, jedoch ebenso ein Problem der Rohdaten sein kann: Diese wurden nicht homogenisiert, so dass sie sowohl eine generelle Abweichung, aber auch einen Jahr-zu-Jahr Fehler haben können. Weiterhin weist eine Korrelation von $r=0.88$ zwischen GMD und TempBdb auf Unterschiede hin, welche neben der Datenqualität auch in den unterschiedlichen räumlichen Bezügen begründet sein können. Die den Indizes zugrunde liegenden Daten stammen häufig aus Gebieten der heutigen Bundesrepublik Deutschland (siehe auch Karte 2.8 in Kap. 2.3.2), wohingegen die Instrumentendaten u.a. aus der Bilt in den Niederlanden stammen. Somit sind Unterschiede im Signal für einzelne Jahre durchaus denkbar. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, ist eine Verlängerung der Indexreihe bis mindestens 1800 nötig, um durch den längeren Verifizierungszeitraum mit homogenisierten Meßdaten eine höhere Sicherheit bei der Abschätzung der Rekonstruktionsgüte zu gewinnen. Die Verlängerung der Indexreihen ist in Arbeit (siehe Ausblick).

3.4. Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas

In Abb. 3.6 ist die rekonstruierte Temperaturentwicklung für Mitteleuropa von 1005 bis 2004 als 11-jähriges Mittel der Abweichungen von der Referenzperiode 1770 bis 1970 dargestellt. Grau ist der Unsicherheitsbereich angegeben, wie er durch MC-Simulation (siehe Kap. 3.3) bestimmt wurde. Für die Zeit ab 1500 sind zudem Jahreswerte vorhanden, für die hier aus Gründen der Darstellung kein Fehler dargestellt wird. Die Daten können über die *Paleoclimatology*-Sektion des NOAA bezogen werden (NOAA, 2010). Es ist deutlich zu erkennen, dass die mittel- und langfristigen Veränderungen gegenüber dem Bereich der Unsicherheit deutlich hervor tre-

3.4. Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas

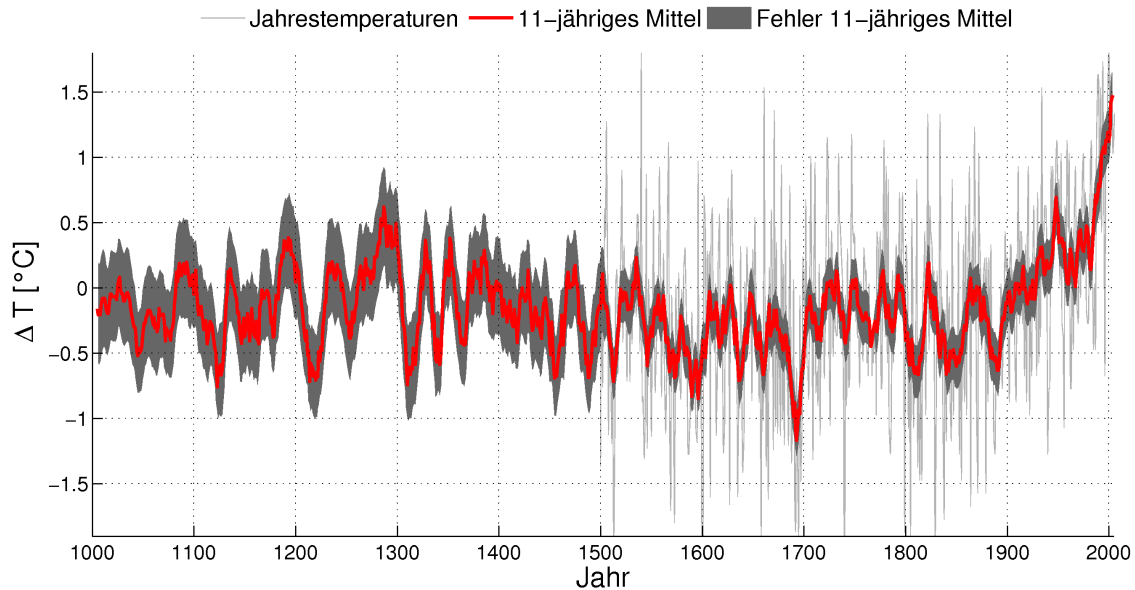


Abb. 3.6.: Rekonstruierte Temperaturentwicklung Mitteleuropas aus historischen Quellen. Grau dargestellt ist der Bereich der abgeschätzten Unsicherheit. Die Reihe ist 11-jährig geglättet und gibt die Abweichung der Temperatur gegenüber dem Mittel zwischen 1760 und 1950 an. Zusätzlich dargestellt sind die Jahrestemperaturen für die Zeit ab 1500.

ten und diese Entwicklungen als ein Temperatursignal interpretiert werden können. Die Temperaturveränderungen der letzten 1000 Jahre weisen dabei charakteristische Phasen auf, welche für das 11-jährige Mittel einen Temperaturbereich von mehr als $\pm 1^\circ\text{C}$ gegenüber dem Mittel umfassen. Neben dem langfristigen Trend zeigen sich dabei auch einige dekadische Schwankungen, welche in ihrer Stärke und Geschwindigkeit keine modernen Analogien kennen. Besonders fällt dabei die Phase zwischen 1645 und 1715 auf, welche das absolute Temperaturminimum des letzten Jahrtausends markiert, mit einer Abweichung von über 1°C gegenüber der Referenzperiode. Die Geschwindigkeit der Veränderungen sticht ebenfalls hervor. Diese Phase ist als Maunderminimum bekannt und wird auf stark verringerte Sonnenfleckenaktivität zurückgeführt (Bard u. a., 2000).

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

Folgende mittelfristige Phasen können identifiziert werden (Glaser u. Riemann, 2009b):

1. Zwischen 1200 und 1350 lagen die Temperaturen um das Mittel des letzten Jahrtausends, mit einer starken dekadischen Variabilität. Diese Phase wird in der Literatur meist als *Mittelalterliches Wärmeoptimum* bezeichnet (Behringer u. a., 2005; Glaser u. Riemann, 2009b; Sirocko, 2009). Besonders das 14. Jahrhundert war durch eine rasche Abfolge von Temperaturabnahmen und Erwärmungsphasen gekennzeichnet.
2. Ab der Mitte des 14. Jahrhundert bis ca. 1500 ist eine generelle Temperaturabnahme zu beobachten, welche ungefähr 0.5°C unter dem Mittel lag. Im Vergleich mit den akzentuierten Warmphasen im Mittelalterlichen Wärmeoptimum liegt die Differenz jedoch bei über 1°C . Diese Phase wird als *Übergangsphase* (Glaser, 2008) in die folgende Periode bezeichnet.
3. Die Phase ab 1500 bis ins 19. Jahrhundert ist gekennzeichnet durch Temperaturen, welche im Schnitt unter dem Mittel des letzten Jahrtausends lagen. Sie wird als *Kleine Eiszeit* bezeichnet¹². Auch wenn es in dieser Phase einzelne warme Jahre und Jahreszeiten gab, so häufen sich besonders die kühlen Winter (hier nicht dargestellt). Die Sommer zeigen für diese Zeit eine hohe mittelfristige Variabilität, mit zwei ausgeprägten Kaltphasen um 1600 und 1700, wobei um 1650 und um 1800 ebenfalls viele warme Sommer beobachtet wurden. Die Temperaturabnahme im 19. Jhdt. lässt sich v.a. auf kalte Winter zurück führen.
4. Ab 1900 kann ein deutlicher Aufwärtstrend der Temperaturen beobachtet werden, mit einer kurzen Stagnation zwischen 1950 bis 1970. Der Anstieg seit den 1970ern wird laut Solomon u. a. (2007) als anthropogen beeinflusstes *Treibhausklima* bezeichnet.

Die hier beschriebenen mittel- und langfristigen Veränderungen stimmen mit den Beobachtungen aus anderen Regionen und den teilweise vorhandenen Instrumentenmessungen sowie Simulationsdaten überein: Die übergeordnete Struktur von einem Mittelalterlichen Optimum über eine Abkühlungsphase hin zum modernen Temperaturanstieg wird durch Rekonstruktionen aus anderen Proxies ebenfalls belegt. Eine ausführliche Analyse und Diskussion dieser Beobachtungen wird in der Diskussion (Kap. 5) vorgestellt.

¹²Dieser Begriff wurde erstmals durch den amerikanischen Glaziologen François Matthes Ende der 1930er Jahre geprägt (Behringer, 2007).

Beachtenswert ist, dass der hier vorgestellte Temperaturverlauf ausschließlich auf den klassifizierten Beschreibungen basiert. Obwohl diese nur die Abweichung zur „Normalität“ der Chronisten darstellen, ist aus der Zusammenschau aller Beschreibungen für längere Zeiträume die Rekonstruktion mittel- und längerfristiger Entwicklungen möglich.

3.5. Potential und Limitationen von Indizes

Um das Potential der Indizes zur Beschreibung mittel- und langfristiger Klimasignale abzuschätzen, werden aus kontinuierlichen Temperaturdaten (aus Instrumenten-, Modelldaten) Indizes berechnet, sog. *Pseudo-Proxies*. Mit diesen Daten wird untersucht, welche Einschränkung die vorgenommene Reduktion auf sieben oder sogar nur drei Stufen darstellt, ob es also prinzipiell möglich ist, mit Indizes die natürliche Variabilität nachzubilden.

3.5.1. Berechnung künstlicher Indizes

Jährliche Temperaturanomalien $\vec{\Delta T}_a$ können als Mittelwert der monatlichen bzw. saisonalen Anomalien beschrieben werden. Diese Anomalien sind wiederum das Produkt der normierten Temperaturreihen mit der jeweiligen STD, so dass $\vec{\Delta T}_a$ in Matrizenschreibweise dargestellt werden kann als

$$\vec{\Delta T}_a = \frac{1}{12} \cdot \overline{[\Delta T_m]_{norm}} \cdot \vec{\sigma}_m \quad (3.11)$$

Dabei ist $\overline{[\Delta T_m]_{norm}}$ eine Matrix der normierten Temperaturanomalien. Unter der Annahme, dass die Variabilität der rekonstruierten Zeitreihe aus Indizes der natürlichen, d.h. der gemessenen Variabilität entspricht, kann durch Gleichsetzen mit Gl. 3.6 folgende Bedingung aufgestellt werden:

$$\vec{\Delta T}_{recon} = \frac{a}{12} \cdot \overline{i_m} \cdot \vec{\sigma}_m = \frac{1}{12} \cdot \overline{[\Delta T_m]_{norm}} \cdot \vec{\sigma}_m \quad (3.12)$$

Durch Umformung von Gl. 3.12 lassen sich Indizes berechnen. Da diese jedoch nur diskrete Werte annehmen können, müssen die resultierenden Werte auf sieben bzw. drei ganze Stufen reduziert werden. Dies geschieht durch gewöhnliches Runden von $\overline{[\Delta T_m]_{norm}}$, so dass sich künstliche Indizes wie folgt berechnen lassen:

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

$$\overline{i_m} = \left\lfloor \frac{1}{a} \cdot \overline{[\Delta T_m]_{norm}} + 0.5 \right\rfloor \quad (3.13)$$

Die oben offenen Klammern werden als Gaußklammern bezeichnet und beschreiben die *floor*-Funktion, d.h. die Abrundung zur nächsten niedrigeren ganzen Zahl. Durch die Addition von 0.5 wird auf diese Weise das gewöhnliche Runden beschrieben. Werte, die dabei über die vorgegebenen Extremklassen von ± 3 bzw. ± 1 hinaus berechnet werden, müssen auf die entsprechend maximalen Werte reduziert werden. Dies trifft jedoch nur für sehr wenige Werte zu und ist deshalb eine vernachlässigbare Fehlerquelle.

3.5.2. Können Indizes langfristige Signale beschreiben?

Mit Gl. 3.13 lassen sich aus Instrumenten- und Modelldaten künstliche Indizes berechnen. Die Frage, ob diese Reduktion prinzipiell die Beschreibung längerfristiger Klimaentwicklungen zulässt, wurde am GMD getestet. Hierfür wurden die monatlich bzw. saisonal aufgelösten Temperaturdaten durch Anwendung von Gl. 3.13 auf sieben bzw. drei Indexstufen reduziert. Diese künstlichen Indizes (Pseudo-Proxies) können anschließend wieder, wie in Kap. 3.2 dargestellt, in Temperaturen zurückgerechnet werden. Der Vergleich zwischen den Ausgangsdaten und den so kalibrierten künstlichen Indizes ist in Abb. 3.7 dargestellt.

Dabei zeigt sich, dass trotz einer Reduktion auf nur sieben Stufen in monatlicher Auflösung oder sogar nur drei Stufen in saisonaler Auflösung die Beschreibung mittel- und langfristiger Klimasignale möglich ist. Die Korrelation zwischen den Originalwerten und der aus monatlichen Werten rekonstruierten Reihe liegt bei 0.96. Zwischen den 11-jährig geglätteten Originalwerten und den saisonal aufgelösten Indizes beträgt die Korrelation ebenfalls 0.96.

Indizes sind also prinzipiell in der Lage, mittel- und langfristige Klimaänderungen zu beschreiben. So wie hier das GMD verwendet wurde, um diese Fähigkeit zu testen, wurde diese Fähigkeit ebenso an Modelldaten für das letzte Jahrtausend überprüft. Dabei zeigte sich, dass auch hier das langfristige Signal, trotz dieser Reduktion, erhalten bleibt. Welchen Einfluss die Länge des Bezugszeitraumes bei der Berechnung künstlicher Indizes hat, wird im folgenden Kapitel untersucht.

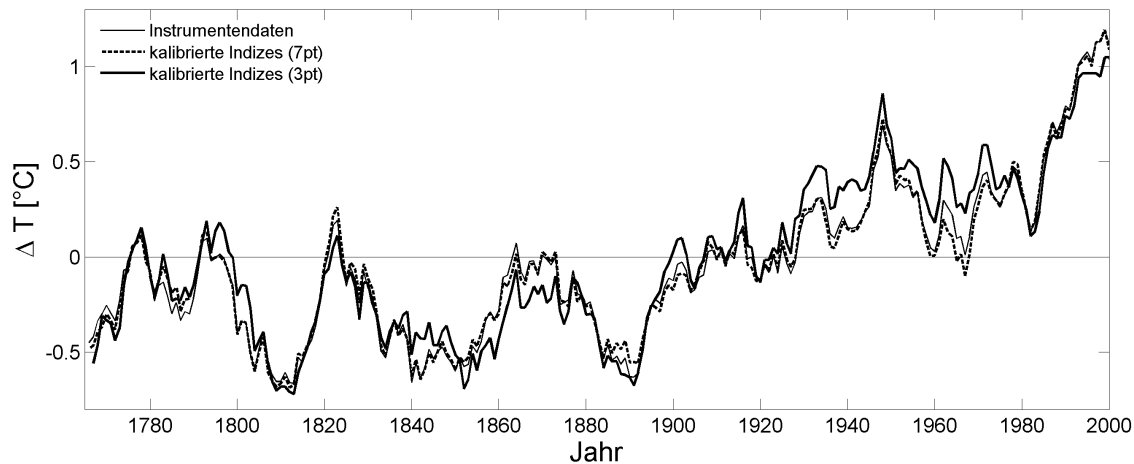


Abb. 3.7.: Vergleich von Instrumentendaten mit rekonstruierten Temperaturen aus Indizes (7 und 3 Stufen), welche zuvor aus dem GMD abgeleitet wurden. Alle Reihen sind 11-jährig geglättet. Die Korrelation zwischen den Originaldaten und den rekonstruierten Reihen liegt bei $r=.96$. Die Temperaturen sind als Temperaturanomalien gegenüber dem Referenzzeitraum 1760-1970 dargestellt.

3.5.3. Können menschengemachte Informationen langfristige Klimaschwankungen beschreiben?

Unter Verwendung von ECHO-Erik2 Klimamodelldaten (González-Rouco u. a., 2006) wird eine Pseudo-Proxy Studie durchgeführt, um die Index-Methode in einer *idealen Welt* zu testen. *Ideal* ist diese Welt, da das berechnete Klima zwar den Gesetzmäßigkeiten des realen Klimas folgt, aber nicht dem tatsächlichen Klima entspricht (von Storch u. a., 1999). Diese Modelle werden nur von wenigen Faktoren beeinflusst, wie der veränderten Atmosphärenchemie, der Sonnenfleckenaktivität und die Veränderung der Solarkonstante in Abhängigkeit von der planetarischen Konstellation (Milanković-Zyklus). Der Vergleich zwischen den simulierten Daten für Mitteleuropa (ECHO-Erik2) und der rekonstruierten Reihe (Glaser/Riemann) zeigt jedoch sowohl einen ähnlichen übergeordneten Verlauf als auch eine ähnliche Variabilität (siehe Abb. 3.8). Sie können deshalb verwendet werden, um die Fähigkeit von Indizes zur Beschreibung mittel- und langfristiger Veränderungen zu testen.

Durch die Generierung künstlicher Indizes aus den Simulationsdaten soll getestet werden, welchen Einfluss die Länge des Bezugszeitraumes bei der Indexbildung auf deren Fähigkeit zur Beschreibung mittel- und langfristiger Temperaturentwicklungen hat. Hierfür wurden künstliche Indizes aus den kontinuierlichen Werten der Simulation berechnet, wie dies in Kap. 3.5.1 beschrieben wurde. Um das „Erinnerungsvermögen“ der Menschen zu simulieren, wurden die Indizes eines Jahres in

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

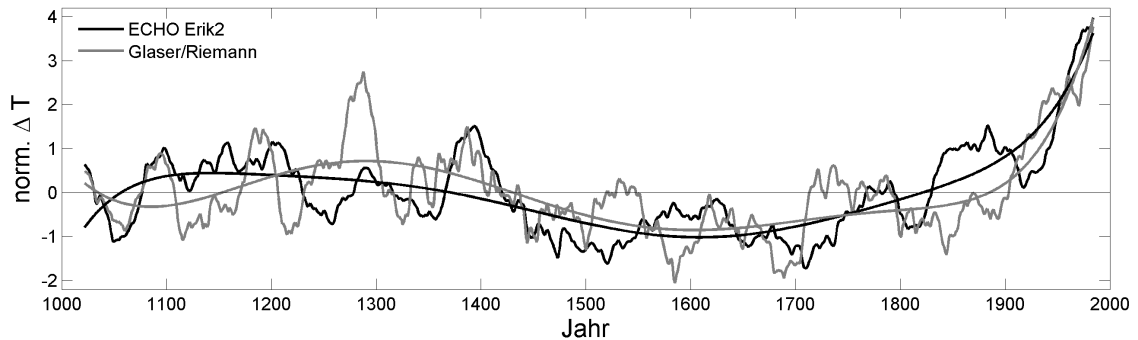


Abb. 3.8.: Vergleich von ECHO-Erik2 Daten mit kalibrierten Indexwerten für Mitteleuropa. Die Reihen zeigen das normierte 31-jährige Mittel der Temperaturabweichungen. Um die langfristigen Signale vergleichen zu können, ist jeweils ein 7-facher Polynomalfit angegeben.

Abhängigkeit zu einem zurückliegenden Fenster variabler Länge bestimmt. Hierfür wurden mit Gl. 3.13 in Abhängigkeit von der STD des entsprechenden Fensters Indizes berechnet. Durch gleitende Berechnung aller Indexwerte konnten so mehrere Indexserien mit verschieden langen Bezugszeiträumen zur Beschreibung der Temperaturentwicklung der letzten 1000 Jahre abgeleitet werden. Durch anschließende Rückkalibrierung (für den gesamten Zeitraum) in Temperaturen ist der Vergleich mit der Ausgangsreihe möglich.

In Abb. 3.9 ist der Effekt unterschiedlich langer Bezugszeiträume bei der Erstellung der Indizes dargestellt. Für die Darstellung wurden dreistufige saisonale Indizes verwendet. Bei Verwendung von siebenstufigen monatlichen Werten erhöht sich zwar die Genauigkeit für kurzfristige Schwankungen, die mittel- und langfristige Entwicklung wird jedoch nicht beeinflusst. Es ist deutlich zu sehen, dass bei längeren Referenzperioden das mittel- und langfristige Signal zunehmend erhalten bleibt. Während bei Verwendung von 70 Jahren als Referenzzeitraum nur das mittel- und kurzfristige Signal erhalten bleibt, bleibt bei Verwendung eines 770 Jahre langen Referenzzeitraumes das mittel- und langfristige Signal fast vollständig erhalten.

Somit erscheint die Verwendung eines möglichst langen Referenzzeitraumes notwendig, um ein langfristiges Signal zu erhalten. Ein tatsächliches Erinnerungsvermögen durch die Zeitzeugen von über 700 Jahren anzunehmen, ist jedoch nicht vernünftig. Tatsächlich jedoch weist die Reihe von Glaser u. Riemann (2009b) in Abb. 3.6 ein deutliches langfristiges Signal auf. Dieser scheinbare Widerspruch kann durch die hermeneutische Herangehensweise bei der Indexerstellung erklärt werden: wird beispielsweise in einer längeren kalten Phase diese nicht mehr als solche wahrgenommen und deshalb zunehmend als normal empfunden und in den Quellen entsprechend vermerkt, so kann, bei Beachtung objektiver Parameter, wie das

3.5. Potential und Limitationen von Indizes

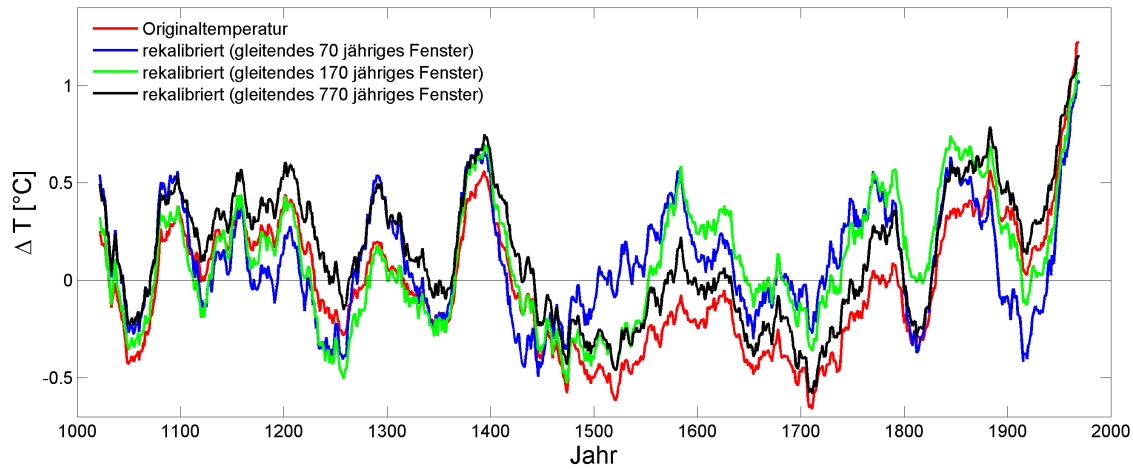


Abb. 3.9.: Einfluss unterschiedlicher Längen des Bezugszeitraumes bei der Indexerstellung bei Verwendung von drei Klassen auf die Rekonstruktionsgüte. Die Reihen sind 31-jährig geglättet.

Zufrieren von Gewässern diese Drift korrigiert werden. Neben dieser Objektivierung durch den Leser, waren aber auch schon die Autoren um Objektivität bemüht: sie verglichen ihre Beobachtungen mit den Aussagen früherer Generationen und konnten somit mittelfristige Variationen relativieren. Da die Chronisten häufig die erste Zeit ihrer Ausbildung darauf verwendeten, alte Chroniken abzuschreiben (Glaser, 2008), war ihnen dieser Zugang zu altem Wissen gegeben. Die Betrachtung von Wettertagebüchern aus verschiedenen Jahrhunderten zeigt, dass die beschriebenen Muster (z.B. Anzahl Schneetage) unseren heutigen Verhältnissen entsprechen und können daher als Verifizierung verwendet werden, die Aussagekraft der jeweiligen Epoche zu beurteilen (Bradley, 1999).

Über die mögliche Korrektur durch die Chronisten oder den späteren Leser hinaus gibt es jedoch noch weitere Argumente, welche das tatsächlich beobachtete langfristige Signal erklären können. Der Beurteilung des Ergebnisses der Pseudo-Proxy-Studie liegt eine streng statistisch-numerische Betrachtung zugrunde. In Phasen, deren Mittelwert vom Jahrtausendmittel abweicht, verschieben sich die Indexklassen, so dass beispielsweise Januartemperaturen um 1500, welche bei Betrachtung des gesamten Zeitraums als *normal* bewertet würden, für diese Zeit bereits als *warm* bewertet würden. Eine entsprechende Veränderung der Wahrnehmung könnte auch den zeitgenössischen Beobachtern unterstellt werden. Betrachtet man jedoch die absoluten Temperaturwerte, so zeigt sich, dass die Verschiebung innerhalb von ca. 50 Jahren bei ca. 1°C liegt. In Abb. 3.10 sind beispielhaft die 51-jährig gleitenden Mittel der Januar und Juli Temperaturen aus dem GMD dargestellt. Ebenfalls angegeben sind

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

die Temperaturbereiche, welche sich aus der Abschätzung der Indexklassenbreiten ergeben, d.h. in Einheiten der STDs des jeweiligen Bezugszeitraumes von 51 Jahren ($a_m \cdot \sigma_m$). Die horizontalen Linien geben diese Klassenbreiten in Bezug auf den gesamten Zeitraum an. Es ist zu sehen, dass für einzelne Abschnitte die gleitenden Indexklassenbreiten die langjährigen Klassenbreiten über- bzw. unterschreiten. Diese Abweichungen sind jedoch relativ gering im Vergleich mit der insgesamt hohen Variabilität der Reihen ($STD_{Januar} = 3^\circ\text{C}$). Vor dem Hintergrund der hohen Variabilität der Monatstemperaturen und einer hohen interannualen Variabilität kann also davon ausgegangen werden, dass geringe Verschiebungen der Mitteltemperatur nicht wahrgenommen wurden, so dass ein „sehr kalter Winter“ zu allen Zeiten wohl als solcher gewertet wurde¹³.

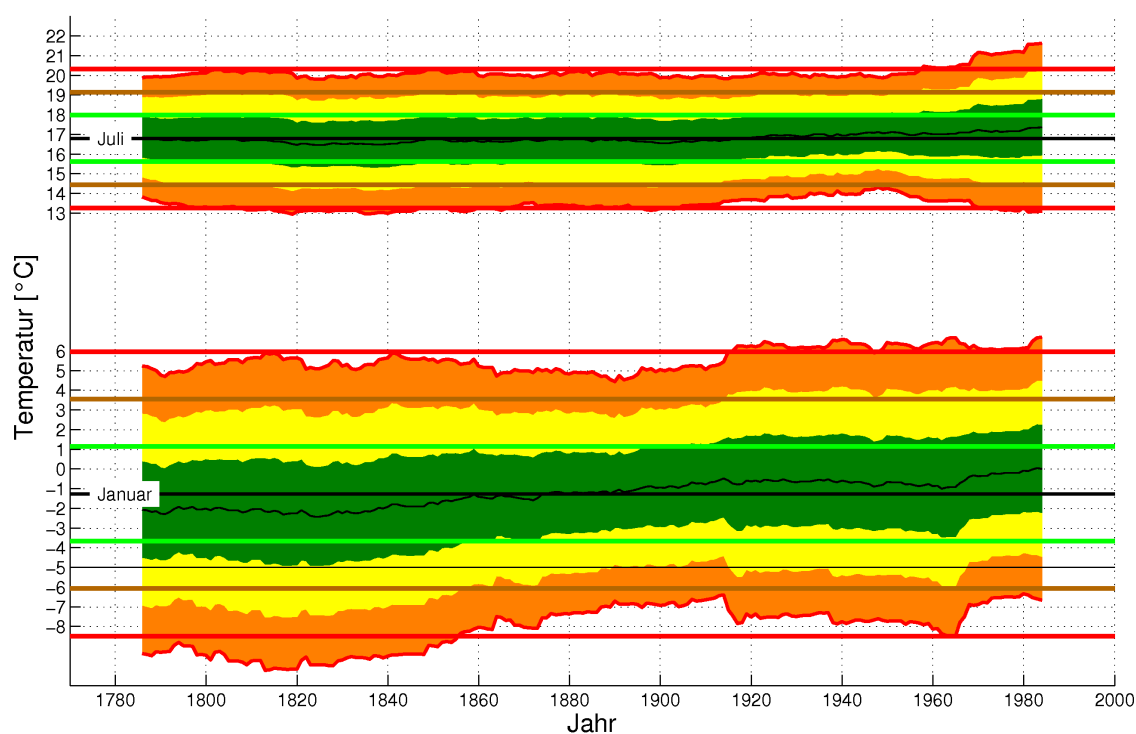


Abb. 3.10.: Verlauf des 51-jährigen Mittels von Januar- und Julitemperaturen des GMD. Farblich abgegrenzt sind die Bereiche, welche statistisch den Indexklassen entsprechen (grün: „0“, gelb: „ ± 1 “, orange: „ ± 2 “, ober-/unterhalb rote Linie: „ ± 3 “). Diese sind abhängig von der Variabilität der entsprechenden Zeit und nicht konstant. Die horizontalen Linien beschreiben das Level dieser Klassen bei Betrachtung der gesamten Periode.

¹³Siehe auch Mauelshagen (2010, S.7): „Langfristige Veränderungen des Klimas verlaufen nie kontinuierlich. [...] Eine durchschnittliche Abkühlung [...] bedeutet nicht, dass es in dieser Epoche keine außergewöhnlich warmen Sommer oder Winter gab. Bezeichnend für das Klima [...] ist eine Zunahme der monatlichen oder jahreszeitlichen [...] Anomalien“.

Womöglich kann zu einer Adaption der Wahrnehmung und Bewertung durch den Zeitzeugen in Phasen von Klimaveränderungen für einzelne Jahreszeiten kommen. Dass sich diese jedoch synchron auf alle Jahreszeiten auswirkt, widerspricht den beobachteten Temperaturentwicklung für einzelne Monate aus dem GMD (siehe Abb. 3.10 und 3.11). Durch die Verwendung von Angaben zu allen Jahreszeiten bzw. Monaten erscheint es daher realistisch, dass die mögliche Adaption der Wahrnehmung an mittelfristige Änderungen in einem Monat bzw. einer Jahreszeit durch die vielen Angaben zu diesem Jahr relativiert wird. Die Unsicherheit durch die Fehldeutung einzelner Monate kann jedoch im Rahmen der oben vorgestellten Fehleranalyse gut erfasst werden.

3.5.4. Welches Gewicht hat ein einzelner Index?

Die zuvor dargestellte Berechnung der Temperaturdifferenz, welche durch einen Indexschritt beschrieben wird, stellt eine Abschätzung der Größenordnung dar und bedeutet nicht, dass dies auch immer der tatsächlich wahrgenommenen Temperaturdifferenz entspricht. Sie beruht lediglich auf der Annahme, dass zwischen den Indizes und der Temperatur näherungsweise ein linearer Zusammenhang besteht. In Verbindung mit der Beobachtung, dass die Verteilung der Indizes der Verteilung von Instrumentenmessungen ähnelt und somit klimatische Strukturen nachbildet, wurde die in Kap. 3.2 beschriebene Technik zur Kalibrierung der indexbasierten Temperaturinformationen entwickelt, bei welcher die durch die Indizes beschriebene Variabilität für längere Zeiträume mit der gemessenen Variabilität für einen langen Zeitraum gleich gesetzt wird. Für kürzere Zeiträume können die empfundenen und beschriebenen Abstufungen von den tatsächlichen Abstufungen abweichen. Die Unsicherheit durch die mögliche Abweichung einzelner Indizes um eine Index-Klasse wurde durch die Fehlerabschätzung mit Hilfe der MC-Simulation (siehe Kap. 3.3.1) begegnet. Nichtsdestotrotz bleibt zu bemerken, dass selbst in kurzen Zeiträumen Menschen ein weites Spektrum der möglichen Witterungszustände kennen lernen und dadurch in der Lage sind, Unterscheidungen zu treffen, welche ein breites Spektrum der Klimavariabilität abdecken (siehe Abb. 3.11). Zudem gibt es in den Quellen viele Hinweise, dass historischen Beobachter ihre Aussagen in längerfristige Perspektiven einordnen konnten, da sie ihre Beobachtungen mit einer Vielzahl von physikalisch basierten Hinweisen aus ihrer Umwelt zu belegen suchten (Glaser, 2008; Pfister, 1999). So koppelten sie ihre Aussagen an landwirtschaftliche und klimatologische Regelfälle und bezogen außerdem Beobachtungen aus ihrer Umwelt, wie das Zufrieren bestimmter Flüsse oder den Beginn der Blüte in ihre Beobachtungen mit ein.

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

Darüber hinaus hatten gerade die Stadtchronisten durch das (für deren Ausbildung obligatorische) Studium der bestehenden Chroniken zusätzlich ein „historisches Gedächtnis“, welches sie befähigte, für ihre Aussage relative Bezüge herzustellen. Die Amplitude der kurzfristigen Variationen der Witterung übersteigt bei Weitem die Temperaturdifferenz, welche mittel- und langfristigen Veränderungen auszeichnet. Diese liegen in der Größenordnung von 0.5°C Veränderungen für Perioden von mindestens 31 Jahren im Vergleich zu vorangegangenen Phasen (siehe Abb. 3.6 und Kap. 3.4).

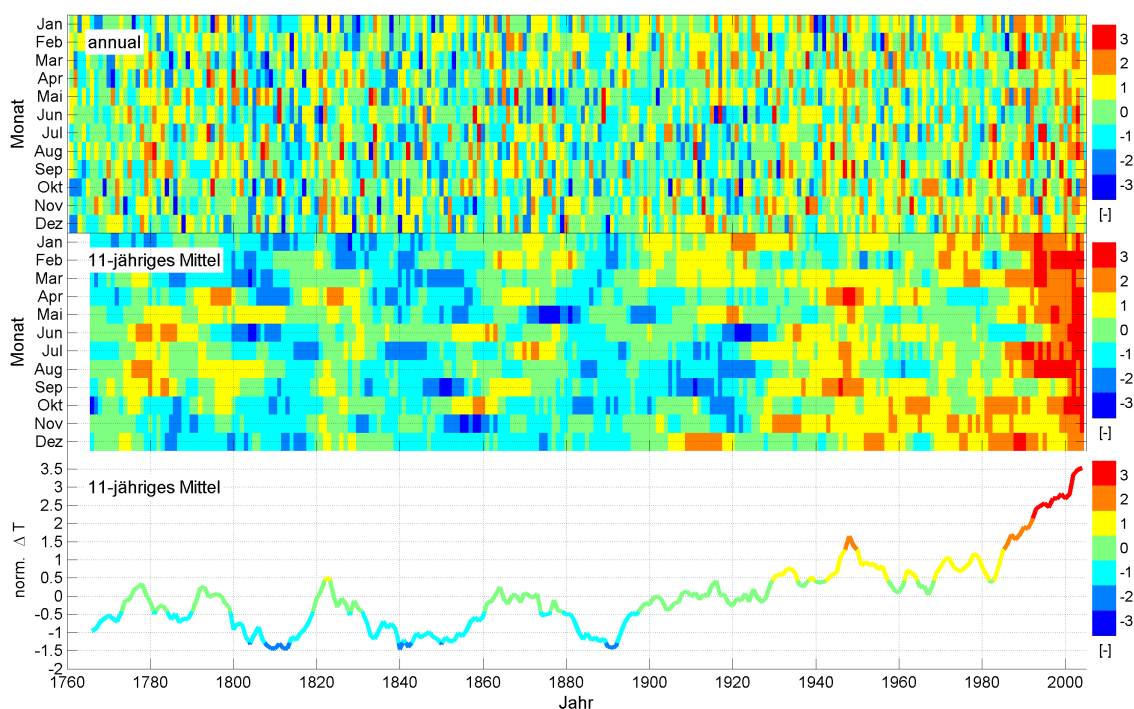


Abb. 3.11.: Darstellung der monatlichen normierten Temperaturanomalien (unter Verwendung der GMD-Reihe). Die letzte Zeile gibt das Jahresmittel als Anomalie gegenüber der Referenzperiode 1770-1970 an. Alle Reihen sind 11-jährig geglättet. Ein ähnliches Bild kann ebenfalls bei Verwendung saisonaler Daten gezeichnet werden.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass diese mittel- und langfristigen Veränderungen als retrospektive Konstruktion verstanden werden können: Langfristige Trends sind die Folge der Anhäufung (der Zunahme der Frequenz) gleichgerichteter Temperaturanomalien gleichzeitig in mehreren Monaten oder Jahreszeiten über mehrere Jahre hinweg. In Abb. 3.11 ist diese Aussage an dem GMD illustriert. Sie zeigt die normierten monatlichen Temperaturanomalien, diese als 11-jährig gleitende Mittel sowie das 11-jährig gleitende Mittel der Jahrestemperaturen. Es ist deutlich

zu sehen, dass bei Betrachtung der monatlichen Temperaturen die Identifikation von mittelfristigen Schwankungen nur schwer möglich ist. Vielmehr dominiert das Bild einer hohen interannualen Variabilität und langfristige Signale sind nicht zu erkennen. Bei Betrachtung der 11-jährig geglätteten Reihen treten die mittelfristigen Schwankungen deutlicher hervor. Langfristige Änderungen hingegen treten vor allem erst bei Betrachtung des geglätteten Jahrestemperaturen deutlich hervor. Diese Jahrestemperaturen setzen sich aus den (unterschiedlich großen) Beiträgen aller Monate zusammen. Da historische Quellen, anderes als natürliche Proxies, Informationen zu allen Monaten bzw. Jahreszeiten liefern, erfolgt eine andere „Konstruktion“ des langfristigen Signals. Durch die Verfügbarkeit von Informationen zu allen Jahreszeiten fällt die Unsicherheit bei der Bestimmung einzelner Indizes weniger ins Gewicht und damit auch die mögliche Adaption der Wahrnehmung an mittelfristige Veränderungen der Mitteltemperatur für einzelne Jahreszeiten.

3.6. Zusammenfassung Kalibrierung

Da die Aussagekraft einzelner Indizes stark von den Umständen der Zeit und den jeweiligen Autoren abhängen, können sie als unabhängig voneinander verstanden werden. Deshalb ist die Kalibrierung in einem kurzen überlappenden Zeitraum unsinnig, würde dies doch voraussetzen, dass der für diesen Zeitraum zu diesem Datensatz gefundene Zusammenhang auf unabhängige Daten übertragen werden kann. Deshalb ist die Annahme der hier vorgestellten Kalibrierung, dass durch die Mengen an unterschiedlichen verfügbaren (unabhängigen) Quellen für länger Zeiträume die Variabilität des Klimas beschrieben wird, wobei einzelne Indizes oder kurze Phasen sicherlich in ihre Aussagekraft fraglich sind. Deshalb wird hier das Verfahren des *variance scaling* angewendet, welches die durch die Indizes beschriebene Variabilität längerer Zeiträume an die gemessene Variabilität längerer Zeiträume anpasst. Für die Konstruktion des Temperatursignals zur Beschreibung klimatischer Änderungen wird deshalb angenommen: *Mittel- und langfristige Klimaänderungen sind die Folge der Häufung gleichgerichteter Witterungsanomalien in einer oder mehreren Jahreszeiten.*

Eine Klimaveränderung, also ein Übergang in eine wärmere oder kältere Phase, zeichnet sich nicht zwingend durch eine Zunahme extremer Temperaturen aus. Vielmehr ist es eine Folge der Häufung und des gleichzeitigen Auftretens von Abweichungen über- oder unterhalb des langfristigen Mittels. Die Temperaturen der einzelnen Monate bzw. Jahreszeiten fallen dabei nicht unbedingt aus dem üblichen Rahmen. Für alle Monate bzw. Jahreszeiten kann durch die Jahrzehnte und Jahr-

3. Rekonstruktion der Temperaturentwicklung

hunderte hindurch eine hohe Variabilität festgestellt werden. Dies kann sowohl an Simulationsdaten als auch an Messungen, wie zum Beispiel dem GMD gezeigt werden.

Deshalb ist es möglich, durch nur sieben- und sogar nur dreistufige Bewertungen in monatlicher oder saisonaler Auflösung längerfristige Klimaentwicklungen zu beschreiben, da diese die natürliche Variabilität ausreichend gut reflektieren können. Evtl. Ungenauigkeit in der Klassenzuordnung sind aufgrund der Menge an verfügbaren Informationen für die Beschreibung mittel- und langfristige Veränderungen nicht relevant.

Durch die vorgestellte Kalibrierungstechnik ist eine Abschätzung der zugehörigen Temperaturen zu jeder Indexklasse möglich. Dieser Wert beschreibt die Dimension der jeweiligen Klasse und ermöglicht damit eine Abschätzung der Temperaturen, welche zu jener Zeit vorgeherrscht haben mögen. Die exakte Quantifizierung einzelner Monate, Jahreszeiten oder eines Jahres ist nicht eindeutig möglich und zudem nur von untergeordneter Bedeutung für die Beschreibung mittel- und langfristiger Veränderungen.

Zur Abschätzung der Unsicherheiten wurde eine MC-Methode gewählt, da die Indizes unabhängig voneinander sind und somit ein konstanter Fehler nicht definierbar ist. Diese Abschätzung beachtet die Unsicherheit während der Indexbildung, die mögliche Anpassung der Wahrnehmung an mittelfristige Änderungen und die Verluste durch die Reduktion auf sieben bzw. drei Stufen.

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

So verschieden wie die Art der Quellen ist auch deren räumlicher Ursprung bzw. Bezug. Die meisten hier verwendeten Quellen stammen aus und beziehen sich auf Regionen und Orte in Mitteleuropa (ME). Die hohe räumliche Variabilität erscheint auf den ersten Blick als Schwierigkeit, um eine einheitliche Aussage für den gesamten Raum zu ermöglichen. Aber gerade bei räumlich verteilten Informationen bietet sich ein weiteres Kriterium für deren Interpretation und Qualitätsprüfung an, welches umgekehrt auch für die Rekonstruktion verwendet werden kann: das gezeichnete Bild der Witterungssituation muss klimatologisch sinnvolle Muster beschreiben. So ist es möglich, aus der speziellen Temperaturverteilung, welche sich aus den vorhandenen Hinweisen ergibt, auf bestimmte Muster zu schließen und damit die Informationen großräumig zu interpretieren und zu verifizieren.

Im Folgenden wird ein Modell eingeführt, welches die räumlichen Strukturen der in den Quellen wiedergegebenen witterungsbezogenen Informationen entsprechenden Verteilungskarten zuordnet. Dieses Regionalisierungsmodell (RegMod) wurde für Temperaturdaten entwickelt, kann jedoch auch für andere Klimaparameter verwendet werden. Für das entwickelte Modell stellt die Hauptkomponentenanalyse eine wichtige Methode dar, welche im Folgenden kurz eingeführt wird. Des Weiteren werden einige Begriffe aus der Statistik verwendet, welche zugunsten der Lesbarkeit hier nicht erläutert, sondern erst im Anhang ausgeführt werden.

4.1. Umgang mit großen Datenmengen

Der Phasenraum klimatologischer Untersuchungen ist im Grunde unendlich, d.h. es existieren unbegrenzt viele mögliche Zustände. Und nicht immer ist die Kenntnis aller Informationen vorteilhaft für die Untersuchung der bestimmenden Vorgänge, welche für die Entwicklung und die Zusammenhänge innerhalb des Systems verantwortlich sind. Bei der Unterscheidung bestimmender Komponenten von weniger wichtigen Einflüssen spielt die Statistik eine entscheidende Rolle.

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

Unter Klima verstehen wir eine langfristige Statistik des Wetters (Schönwiese u. Janoschitz, 2005). Dieses alleine durch Mittelwerte zu beschreiben würde große Teile der Variabilität unterschlagen, welche häufig charakteristische Merkmale aufweist.

Die Analyse von Klimadaten wird durch ihre Komplexität, Vielgestaltigkeit und die schiere Menge der Daten erschwert. Deshalb ist es häufig sinnvoll, den Phasenraum in zwei Untergruppen zu unterteilen: Die (wenigen) *Signale*, welche die charakteristischen Muster beinhalten und von welchen angenommen wird, dass sie die wesentlichen Merkmale und die Dynamik des Systems beschreiben. Sowie das *Rauschen*, welches die vielen anderen kleinen Signale enthält, die für das Verständnis des gesamten Prozesses irrelevant erscheinen (von Storch u. Navarra, 1999). Die Unterscheidung dieser beiden Räume ist kompliziert und muss letztendlich häufig im Einzelfall entschieden werden.

4.1.1. Hauptkomponentenanalyse

Die durch Lorenz (1956) in die Klimatologie eingeführte Hauptkomponentenanalyse (HKA)¹ dient der Strukturierung und Reduktion großer Datenmengen. Letzteres war seinerzeit durch technischen Grenzen der Datenverarbeitung notwendig. Jedoch wurde mit der besseren Verfügbarkeit von Rechnerleistung die HKA inzwischen zu einem häufig verwendeten Werkzeug, um neben dieser Datenreduktion auch zugrundeliegende Strukturen zu identifizieren (von Storch u. a., 1999). Durch die Suche nach simultaner (kohärenter) Variation in den Daten lassen sich strukturierende Grundmuster finden und von dem für die Analyse häufig uninteressanten Rauschen trennen. Bildlich gesprochen, zeichnet die HKA den Schatten eines Objektes aus der informativsten Perspektiven (von Storch u. a., 1999).

Mathematisch wird bei der HKA eine Hauptachsentransformation durchgeführt. Am einfachen Beispiel einer Punktwolke in einem zweidimensionalen Merkmalsraum (siehe Abb. 4.1) lässt sich dies gut zeigen: Die Lage jedes Punktes wird durch die Angabe von x_1 und x_2 eindeutig beschrieben. Dabei könnte beispielsweise jede Achse die Temperaturen jeweils einer Station repräsentieren. Die Messung der Temperaturen an zwei Orten zu einem Zeitpunkt würde entsprechend durch einen Punkt (eine Observation) repräsentiert werden. Für räumliche Daten, wie z.B. Temperaturverteilungskarten, würde jeder Rasterpunkt für eine Variable und damit eine Achse stehen und jede Karte durch einen Punkt in diesem mehrdimensionalen Merkmalsraum repräsentiert werden.

¹engl. *principal component analysis (PCA)* oder *empirical orthogonal function (EOF)* - Analyse

4.1. Umgang mit großen Datenmengen

Ziel der HKA ist die Dekorrelation der Variablen, d.h. im neuen Koordinatensystem soll zwischen den Variablen kein Zusammenhang mehr bestehen. Durch Verwendung dieses neuen Koordinatensystems kann evtl. mit nur wenigen Koordinaten die Lage eines Punktes ausreichend genau beschrieben werden, was auf der einen Seite eine deutliche Datenreduktion bedeutet, auf der anderen Seite auch neue Aussagen liefern kann, da unnötige Informationen nicht mitgeführt werden müssen und zugrunde liegende Muster deutlicher hervortreten.

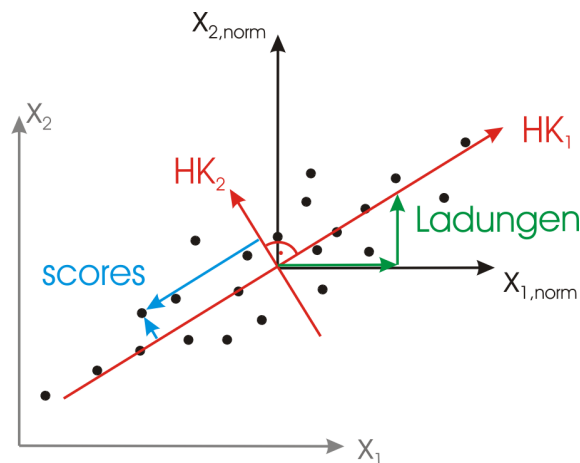


Abb. 4.1.: Schematische Darstellung der Hauptachsentransformation bei einer HKA: Durch Verschiebung und Drehung wird das alte Koordinatensystem (x_1, x_2) in das neue System HK_1, HK_2 überführt. Die Verschiebung wird durch Normierung der Eingangsvariablen erreicht. Durch anschließende Rotation und Skalierung wird dessen erste Achse in Richtung der maximalen Varianz der Punktwolke gelegt, die zweite Achse beschreibt die Varianz, welche durch HK_1 nicht erklärt wird. Die Lage des neuen Koordinatensystems in den normierten Koordinaten $(x_{1,norm}, x_{2,norm})$ wird durch die Ladungen beschrieben, die neuen Koordinaten werden als **scores** bezeichnet.

Bei einer HKA wird das neue Koordinatensystem so gelegt, dass die erste Achse, vom Mittelpunkt der Punktwolke beginnend, in Richtung der maximalen Varianz zeigt. Die Verschiebung des Ursprungs wird durch Normierung erreicht: Durch Subtraktion des Mittelwertes wird der Ursprung des Koordinatensystems in den Schwerpunkt der Punktwolke verschoben, durch Division mit der Standardabweichung gehen Daten mit unterschiedlichen Einheiten gleich gewichtet in die Analyse ein. Die zweite Hauptrichtung steht senkrecht auf der ersten Achse und beschreibt die Varianz, welche durch die erste Achse nicht beschrieben wird. Dies wird durch die Bedingung der Orthogonalität erreicht, da durch eine senkrechte Achse nur Abweichungen beschrieben werden, die nicht durch die andere Achse beschrieben werden können. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt bis die gesamte Varianz erklärt ist, bis also genügend Achsen existieren, um die Lage der Punkte exakt beschreiben

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

zu können. Die maximale Anzahl an Achsen, d.h. Dimensionen, entspricht folglich der des Ausgangssystems. Für das Beispiel der Punktwolke in Abb. 4.1 wären dies zwei Achsen, da mit diesen jeder Punkt der Wolke exakt festgelegt werden kann. Für spezielle Anwendungen könnte es jedoch ausreichend sein, die Lage der Punkte beispielsweise nur mit der ersten Hauptachse zu beschreiben.

Die Lage der neuen Achsen, die so genannten Hauptkomponenten (HK)², wird im ursprünglichen (normierten) Koordinatensystem durch die sog. (Faktor-)Ladungen³ beschrieben. Die Lage der Punkte in diesem neuen Koordinatensystem, also die Projektion auf deren Achsen, wird durch die *scores* beschrieben. Durch die vorangegangene Normierung liefern die Ladungen unmittelbar Aussagen über die unterschiedlichen Erklärungsanteile der eingehenden Variablen: Der Anteil an der Beschreibung der Varianz der Punkte um den Mittelwert (dem Ursprung des Koordinatensystems) entspricht dem Anteil der Ladungen der jeweiligen Eingangsvariablen. Für das Beispiel der zwei Koordinaten aus Abb. 4.1 würde $x_{1,norm}$ einen größeren Beitrag zur Lage der Punkte und damit auch zur Lage der ersten Hauptkomponente liefern. Durch die Normierung können die Ladungen unmittelbar als Korrelationskoeffizienten der Hauptladungen mit den jeweils zugehörigen Variablen interpretiert werden. Deren Quadrat gibt den jeweiligen Beitrag der Variable zur erklärten Varianz dieser Hauptkomponente an (für eine ausführliche Beschreibung siehe von Storch u. a. (1999); Bahrenberg u. a. (2008)). Die Summe der quadrierten Ladungen einer Hauptkomponente ist folgerichtig 1. Die *scores* können ebenfalls direkt interpretiert werden: Hohe Werte repräsentieren einen hohen Erklärungsanteil der entsprechenden Hauptkomponente.

Für die hier vorgestellten Arbeiten wird die HKA auf Karten, z.B. der Temperaturverteilung, angewandt, um Bereiche kohärenter Variation zu identifizieren. Generell wird bei der Analyse von Karten zwischen t- und s-modaler Analyse unterschieden (Yarnal, 1993). Beide Varianten unterscheiden sich hinsichtlich des Aufbaus der Eingabematrix, welche um 90° zwischen t- und s-modaler Analyse gedreht ist. Bei der s-modalen Variante stellen die Gitterpunkte der Felder die Variablen (Spalten der Eingabematrix) und die Zeitschritte die Ereignisfälle (Zeilen der Eingabematrix) dar. Bei der t-modalen werden die Zeitschritte als Variablen in die Spalten geschrieben und die Gitterpunkte als Fälle verstanden und entsprechend in die Zeilen geschrieben. Entsprechend sind Ladungen und *scores* jeweils unterschiedlich zu interpretieren: Im t-modalen Fall zeigen die Ladungen (in diesem Fall die Zeitkoeffizienten) wie stark ein individuelles Temperaturverteilungsfeld mit einer

²engl. *principal components (PC)*

³engl. *loadings*

4.2. Das Regionalisierungsmodell (RegMod)

Hauptkomponente korreliert, die *scores* (in diesem Fall die räumlichen Koeffizienten) beschreiben die einzelnen Hauptkomponenten (im Sinne von Temperaturfeldern). Im s-modalen Fall zeigen die Ladungen (hier räumliche Koeffizienten) die Korrelation zwischen einzelnen Gitterpunkten und der Hauptkomponente und die *scores* (hier Zeitkoeffizienten) beschreiben die zeitlich variierende Bedeutung der Hauptkomponenten (Beck, 2000). Für die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen findet die t-modale HKA Anwendung, da die räumliche Verteilung der Hauptkomponentenwerte (*scores*) als klimatologische Muster zur Verteilung der untersuchten Klimavariablen (z.B. der Temperatur) interpretiert werden können. Generell muss die physikalische Interpretierbarkeit der HKs für jeden Fall diskutiert werden, da physikalische Variablen häufig nicht orthogonal, d.h. unabhängig voneinander sind. Meist bestehen zwischen unterschiedlichen Variablen Abhängigkeiten, welche durch eine HKA eliminiert werden. Eine ausführliche Darstellung findet sich u.a. bei Beck (2000) und Huth (1996). Für das hier vorgestellte RegMod ist dies jedoch nicht relevant, da alle vorhandenen HKs kombiniert werden, um realistische Muster der Verteilung zu konstruieren und somit die physikalische Interpretierbarkeit einzelner Muster irrelevant ist.

4.2. Das Regionalisierungsmodell (RegMod)

Im Folgenden wird ein Modell eingeführt, mit welchem es möglich ist, räumlich verteilten indexbasierten Klimainformationen realistische Witterungsbilder zuzuordnen. Da die Datendichte und die räumliche Struktur stark variieren, muss das Modell in der Lage sein, sich dynamisch der vorhandenen Datensituation anzupassen. Das vorgestellte Modell berücksichtigt den besonderen Charakter der Daten und integriert die methodischen Überlegungen der vorangegangenen Kapitel. Damit stellt das Modell einen allgemeinen Entwurf für die Entwicklung von indexbasierten Klimainformationen dar, welcher hier an Informationen zur Temperatur entwickelt und getestet wird. Die Untersuchung der Anwendbarkeit auf andere Regionen und nicht Temperatur bezogene Angaben ist nicht Teil dieser Arbeit, sondern wird Gegenstand weiterer Arbeiten bleiben.

Um der Veränderlichkeit des räumlichen Ursprungs der Daten zu begegnen und ein allgemeines Kriterium für die Abgrenzung des zu rekonstruierenden Gebietes zu finden, wird in einem ersten Schritt die räumliche Repräsentanz der vorliegenden Informationen durch eine Korrelationsanalyse abgeschätzt (siehe Kap. 4.2.2). Anschließend wird der räumlichen Struktur der beschriebenen Witterungsbedingungen ein für dieses Gebiet realistisches Muster, beispielsweise einer Temperaturverteilung,

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

zugewiesen. Diese Muster werden aus Reanalysedaten der CRU für den Zeitraum von 1901 – 2000 durch eine HKA gewonnen. Das Gewicht der unterschiedlichen eingehenden Muster wird durch multiple lineare Regression zu den Indizes abgeschätzt. Durch die anschließende Kombination bekannter Muster für den jeweiligen Raum lassen sich auf diese Weise realistische Temperaturverteilungen rekonstruieren.

4.2.1. Entwicklung von RegMod in einer *idealen Welt*

Aus den Reanalysedaten werden Pseudo-Proxies erstellt, um das RegMod entwickeln und testen zu können. Verwendung finden dabei Reanalysedaten der CRU (siehe auch Kap. 2.4.2, New u. a., 2000) zur monatlichen Mitteltemperatur, welche für den Zeitraum 1901 – 2000 in einer räumlichen Auflösung von ca. 0.5° für die Längen- und Breitenkreise vorliegen. Der Vergleich der Reanalysedaten mit homogenisierten Instrumentendaten ausgewählter Stationen⁴ im Untersuchungsgebiet, zeigt eine sehr hohe Übereinstimmung: zwischen den Instrumentendaten einzelner Stationen und den zugehörigen Rasterpunkten des Reanalysefeldes liegen die Korrelationen bei durchschnittlich 0.95 für die monatlich aufgelösten Temperaturen (hier nicht dargestellt).

Für das Untersuchungsgebiet (ME - $47^\circ - 56^\circ$ nördl. Breite, $3^\circ - 20^\circ$ östl. Länge) werden aus den Reanalysedaten (CRU) Indizes berechnet, indem die Temperaturen jedes Rasterpunktes entsprechend der in Kap. 3.2 beschriebenen Methode auf sieben Indexstufen reduziert werden. Diese künstlichen Indizes können anschließend mit der ebenfalls in Kap. 3.2 beschriebenen Methode wieder in Temperaturwerte zurück berechnet werden, welche hier als *rekalibrierte Temperaturen* bezeichnet werden. Der Vergleich zwischen den Verteilungsmustern der Temperaturen, den daraus berechneten Indizes sowie den rekalibrierten Temperaturen ist beispielhaft in Abb. 4.2 für den März 1980 dargestellt. Für den gewählten Ausschnitt wurde jeweils das Gebietsmittel der Temperatur berechnet.

Dabei zeigt sich, dass sowohl die Muster der Temperaturverteilung als auch die Temperaturen sehr gut erhalten bleiben, dass also eine Reduktion auf diskrete Indizes nur zu leichten Verlusten und geringen Unschärfen führt. Um die Güte der Musterübereinstimmung abzuschätzen, werden für die Karten r , RMSE und CE berechnet. Hierfür werden diese Gütemaße für alle Zeitreihen der in den zu vergleichenden Karten räumlich gleich verorteten Rasterpunkte berechnet. Um zusätzlich

⁴Diese wurden über das *Global Historical Climatology Network* (GHCN) bezogen (Peterson u. a., 1998).

4.2. Das Regionalisierungsmodell (RegMod)

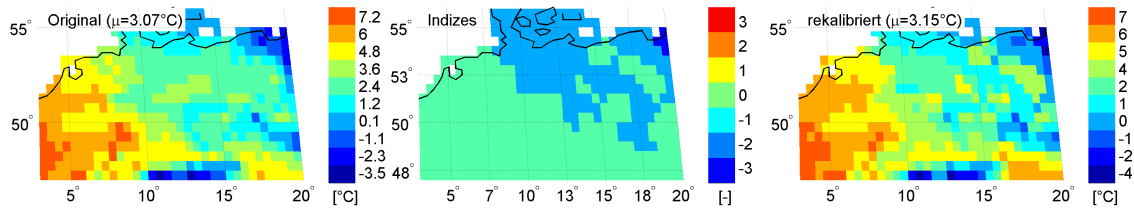


Abb. 4.2.: Vergleich der Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet für einen ausgewählten Monat (3/1980) mit den daraus abgeleiteten Indexwerten. Die dritte Karte zeigt die rekali-brierte Temperatur. Für die Temperaturverteilungen ist jeweils die Durchschnittstemperatur im gewählten Ausschnitt angegeben. Die Korrelation zwischen der ursprünglichen und rekali-brierten Temperatur liegt bei 0.95 für diesen Monat.

auch mögliche Verschiebungen der Muster zueinander zu berücksichtigen, werden diese Werte auch für benachbarte Rasterpunkte berechnet.

Die Korrelation zwischen der ursprünglichen und rekali-brierten Temperatur liegt bei 0.95 für den hier dargestellten Monat. Bei Betrachtung aller aus den Reanalyse-daten gewonnenen Karten liegen die Korrelationskoeffizienten im Mittel bei 0.94 und weisen damit auf eine hohe Ähnlichkeit der Muster hin. Die RMSE für alle Monate liegen im Mittel bei 0.44°C, die der CE bei 0.85 und weisen damit auf eine hohe Rekonstruktionsgüte hin. Der Effekt, welchen die Reduktion auf die Rekonstruktion längerer Zeitreihen hat, wird später noch untersucht werden.

Exkurs: Weitere Untersuchungen zur räumlichen Homogenität

An den künstlichen Indexfeldern lässt sich eine weitere Eigenschaft des Untersu-chungsgebietes zeigen, welche bereits im Kap. 2.4 diskutiert wurde: die hohe räum-liche Homogenität für Angaben zur Temperatur. In Abb. 4.3 ist die Verteilung der maximalen Differenz in Indexschritten zwischen berechneten Indizes eines Monats innerhalb des Untersuchungsgebietes für den Zeitraum von 1901 – 2000 dargestellt.

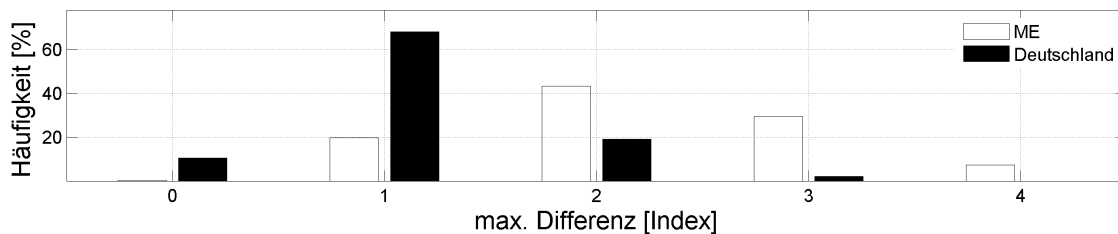


Abb. 4.3.: Verteilung der maximalen Differenz berechneter Indizes eines Kartenausschnitts für Mitteleuropa (ME) bzw. Deutschland aus monatlich aufgelösten Reanalysedaten (CRU).

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

Dabei fällt auf, dass für Mitteleuropa über 70% der Unterschiede bei einem oder zwei Schritten liegen. Diese Unterschiede lassen sich jedoch meist auf deutliche Unterschiede zu den Küsten und dem Alpenraum zurück führen. Für das zentrale Gebiet (in Abb. 4.3 als Deutschland bezeichnet - 49°-51° n.B. und 5°-15° ö.L.) liegen für ca. 80% der Karten die Unterschiede bei einer oder keiner Indexstufe. Auf der Annahme dieser hohen räumlichen Homogenität, welche bereits in Kap. 2.4 diskutiert wurde, hat Glaser (2008) seine integrative Indexreihe für den gesamten Raum erstellt. Die beobachteten Unterschiede von meist nur maximal einem Indexwert lassen sich akzeptabel im Rahmen der in Kap. 3.3 beschriebenen Fehlerdiskussion berücksichtigen, da sich bei der Betrachtung längerfristiger Klimaentwicklungen diese Abweichungen im Mittel ausgleichen. Für die Analyse größerer Räume, bzw. zur Integration von Räumen mit unterschiedlicher klimatischer Prägung (z.B. die Alpen), stellt das RegMod jedoch eine notwendige Ergänzung zur Erstellung solcher hermeneutisch gewonnener Indexreihen dar.

4.2.2. Repräsentanz von Hinweisen zur Temperatur

Indizes aus historischen Quellen sind räumlich zufällig verteilt und weisen für verschiedene Zeiten unterschiedliche Strukturen der Verteilung und der Dichte auf. Das hier eingeführte RegMod trägt dieser Besonderheit Rechnung, indem eine allgemeine Vorschrift zum Umgang mit den Daten definiert wird. Das Ergebnis ist deshalb eine rekonstruierte Temperaturverteilung nicht für einen festgelegten Raum, sondern für jene Gebiete, für welche die zur Rekonstruktion verwendeten Indizes repräsentativ sind. Dieses Gebiet ist im Allgemeinen deutlich größer als nur die Region, aus welchem der entsprechende Hinweis entstammt.

Um die Repräsentanz der räumlich unterschiedlich verteilten Informationen abzuschätzen, wird die Korrelation zwischen den Zeitreihen der monatlichen/saisonalen Temperaturen verschiedener Rasterpunkte zu allen übrigen Rasterpunkten eines gewählten Ausschnittes berechnet. In Abb. 4.4 ist die Korrelation eines zufällig gewählten Punktes zu allen übrigen Feldern des gewählten Ausschnitts beispielhaft für die Märztemperaturen dargestellt.

Es zeigt sich hierbei ein räumlich weitreichender Zusammenhang, welcher bereits in Kap. 2.4 gezeigt wurde. Für das Untersuchungsgebiet lässt sich eine deutliche Abgrenzung über die Korrelation gegenüber den Meeren und dem Alpenraum feststellen (siehe Abb. 4.4). Diese Korrelation wird im weiteren Verlauf als Maß zur Repräsentanz der lokal vorliegenden Temperaturinformationen verwendet.

4.2. Das Regionalisierungsmodell (RegMod)

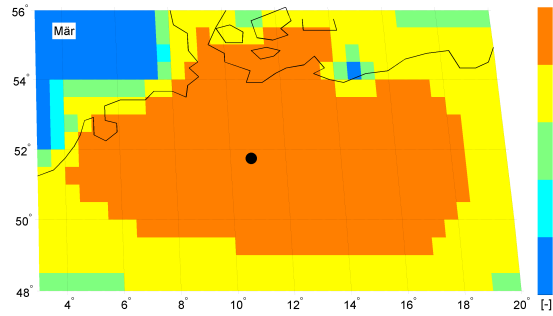


Abb. 4.4.: Korrelation zwischen der Zeitreihe der Märztemperaturen des durch einen Punkt markierten Rasterpunktes und den Zeitreihen der übrigen Rasterpunkte.

4.2.3. Großräumige Indexfelder konstruieren

Über die Korrelation kann das Gebiet festgelegt werden, für welches die auf einen Ort bezogenen Informationen zur Temperatur repräsentativ sind. Hierfür wird allen, diesem Index benachbarten Gebieten, zu welchen die Korrelation höher als der Schwellenwert r_{index} ist, dieser Indexwert zugewiesen.

Liegen für einen Zeitabschnitt mehrere räumlich verschieden verortete Informationen vor, kommt es zu einer Überlagerung der jeweils repräsentativen Gebiete für die verschiedenen Indizes. Aus der Kombination mehrerer solcher repräsentativer Gebiete lässt sich ein größeres zusammenhängendes Indexfeld konstruieren. Bei unterschiedlichen Werten in überlappenden repräsentativen Gebieten muß eine Vorschrift gefunden werden, um einen gemeinsamen Wert für das überlappende Gebiet festzulegen.

Überlappen sich n repräsentative Gebiete, so werden jeweils alle darin enthaltenen Rasterpunkte mit den Korrelationskoeffizienten r_i des entsprechenden Rasterpunktes j zum zugehörigen Indexfeld gewichtet⁵. Der aus den entsprechend gewichteten Rasterpunkten gebildete Mittelwert $\bar{i}_j$ überlappender Gebiete, wird als resultierender Indexwert für die Rasterpunkte des entsprechenden Gebietes verwendet.

$$\bar{i}_j = \frac{1}{n} \frac{\sum_{k=1}^{k=n} i_k \cdot r_k}{\bar{r}} = \frac{\mu_{i_k} \cdot r_k}{\bar{r}} \quad (4.1)$$

mit i_k als Indexwert des Feldes k , dem Korrelationskoeffizienten r_k des Feldes k und $\bar{r}$ als mittlerem Korrelationskoeffizient der eingehenden Werte. Das Ergebnis ist ein zusammenhängendes Indexfeld als Mittel aller eingehenden Indizes. Dieses Feld kann nun, anders als die ursprünglichen Indizes, kontinuierliche Werte zwischen -3 und $+3$ annehmen. In Abb. 4.5 ist ein Beispiel für ein solches rekonstruiertes

⁵Diese müssen, wie in Kap. 4.2.2 dargestellt, zuvor für das Untersuchungsgebiet bestimmt werden.

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

Indexfeld dargestellt: Aus zufällig gewählten Indizes (links) wird durch die zuvor beschriebene Methode ein flächiges Indexfeld berechnet (Mitte). Die Karte rechts zeigt zum Vergleich die Verteilung der ursprünglichen berechneten Indizes.

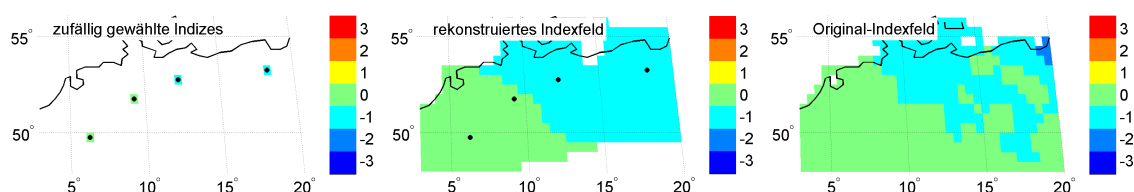


Abb. 4.5.: Die Bestimmung von flächigen Indexfeldern. Von links nach rechts: zufällig gewählte Indizes, rekonstruiertes Indexfeld, ursprüngliche Verteilung der Indizes. Die Farben geben die möglichen sieben Indexstufen an, welche einheitenlos sind.

Die so rekonstruierten Indexfelder weisen eine hohe Ähnlichkeit zu den Ausgangsfeldern auf. Die Gütebestimmung dieser Ähnlichkeit wird jedoch erst bei den daraus rekonstruierten Feldern (siehe folgendes Kapitel) vorgenommen. Da die Indexfelder meist nur Unterschiede von maximal einer Indexstufe aufweisen, ist eine Gütebestimmung der Ähnlichkeit über beispielsweise den Korrelationskoeffizienten hier nicht angezeigt.

Über die Festlegung von r_{index} kann der Bereich, für welchen einzelne Indizes als repräsentativ angenommen werden, festgelegt werden. Für die hier vorgestellten Untersuchungen wurde ein Wert von $r_{index}=0.8$ verwendet, da hiermit eine räumlich weitreichende Rekonstruktionsfähigkeit bei einem gleichzeitig ausreichend strengem Kriterium erreicht wird⁶. Dieser Wert kann je nach Fragestellung variiert werden.

4.2.4. Rekonstruktion realistischer Temperaturverteilungen

Wie in Kap. 3 dargestellt, beschreiben Indizes Anteile der normierten Temperaturen. Daher können die flächigen Indexfelder durch Multiplikation mit dem scaling factor⁷ in normierte Temperaturen umgerechnet werden. Diese räumlichen Muster normierter Temperaturen würden jedoch ausschließlich auf der Verteilung der indexbasierten Informationen basieren und nicht physikalischen Gesetzmäßigkeiten gehorchen. Um klimatologisch begründbare Muster der Temperaturverteilung aus den Indizes konstruieren zu können, wird zwischen dem konstruierten Feld der normierten Temperaturen und mehreren HKs der normierten Temperaturverteilung eine multiple lineare Regression (MLR) durchgeführt.

⁶Rapp u. Schönwiese (1995) schlagen einen Wert von mindestens 0.7 vor, womit der hier verwendete Wert deutlich strenger ausfällt.

⁷Der scaling factor wurde in Kap. 3.5.1 zu 0.85 für monatliche Indizes abgeschätzt.

4.2. Das Regionalisierungsmodell (RegMod)

Die HKs wurden aus den Reanalysedaten (CRU) für den Zeitraum 1901 – 2000 gewonnen. Die Muster und die jeweiligen Erklärungsanteile wurden bereits in Kap. 2.4.2 vorgestellt. Die jeweils erste HK der Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet für jeden Monat ist zudem im Anhang dargestellt.

In der MLR⁸ werden nur HKs bis zu jener Ordnung verwendet, deren akkumulierte Summe der erklärten Varianz kleiner als insgesamt 95% ist⁹. Die für die MLR verwendeten HKs werden eingangs nicht entsprechend ihres Erklärungsanteils für die Muster in der Referenzperiode gewichtet, weshalb es unerheblich ist, ob sich die Häufigkeit des Auftretens gewisser Muster über die Zeit verändert haben könnte. Diese Gewichtung findet erst durch die MLR statt.

Aus der entsprechend gewichteten Superposition, d.h. Überlagerung der HKs wird anschließend die normierte Temperaturverteilung rekonstruiert. Diese Superposition findet für das Gebiet statt, in welchem die Korrelation zu den vorhandenen Punkten oberhalb eines minimalen Wertes liegt (r_{repr} , bspw. 0.8).

Aus dem gewonnenen Verteilungsmuster der normierten Temperaturen können durch Multiplikation mit der STD und anschließender Addition des Mittelwertes zu jeweils jedem Rasterpunkt der jeweiligen Region die Verteilungsmuster in absoluten Temperatur berechnet werden. Für die hier vorgestellten Temperaturrekonstruktionen wurden hierfür die Reanalysedaten der CRU verwendet.

In Abb. 4.6 ist der Übergang von einem Feld künstlich erzeugter Indizes (links oben), welches aus der ursprünglichen Temperaturverteilung (rechts oben) berechnet wurde, hin zu einem aus wenigen Punkten rekonstruierten Temperaturfeld (rechts unten) beispielhaft dargestellt. Aus dem Original-Indexfeld wurden zufällig vier Punkte gewählt und daraus, wie in Kap. 4.2.3 dargestellt, ein Indexfeld konstruiert (links unten). Durch Multiplikation mit dem scaling factor konnte dieses in normierte Temperaturen überführt werden. Durch MLR mit den HKs dieses Monats wurde das Gewicht der jeweils eingehenden HKs bestimmt. Aus der Addition der entsprechend gewichteten HKs konnte eine realistische Verteilung normierter Temperaturen

⁸Die MLR schätzt den Anteil α_i der verschiedenen HKs (HK_i) mittels numerischer Lösung der Gleichung $\hat{T} = \alpha_1 HK_1 + \dots + \alpha_i HK_i + \beta$. Dabei ist $\hat{T}$ die Schätzgröße, in diesem Fall also die räumliche Verteilung normierten Temperaturen und β ein unbekannter Fehler (Bahrenberg u. a., 2008).

⁹Für die Anzahl der zu wählenden HKs gibt es keine feste Regel. Luterbacher u. a. (2002) verwendet ebenfalls Werte zwischen 90% und 95% als Kompromiss zwischen der Gefahr des Verlustes wichtiger Information bei der Verwendung zu weniger HKs und dem Risiko einer möglichen Ausrichtung des statistischen Modells an Muster, welche keine klimatischen Muster, sondern nur noch Rauschen enthalten (Luterbacher u. a., 2002). Ausführliche Diskussionen zu Auswahlkriterien für HKs finden sich u.a. bei von Storch u. Zwiers (1999) und Björnsson u. Venegas (1997).

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

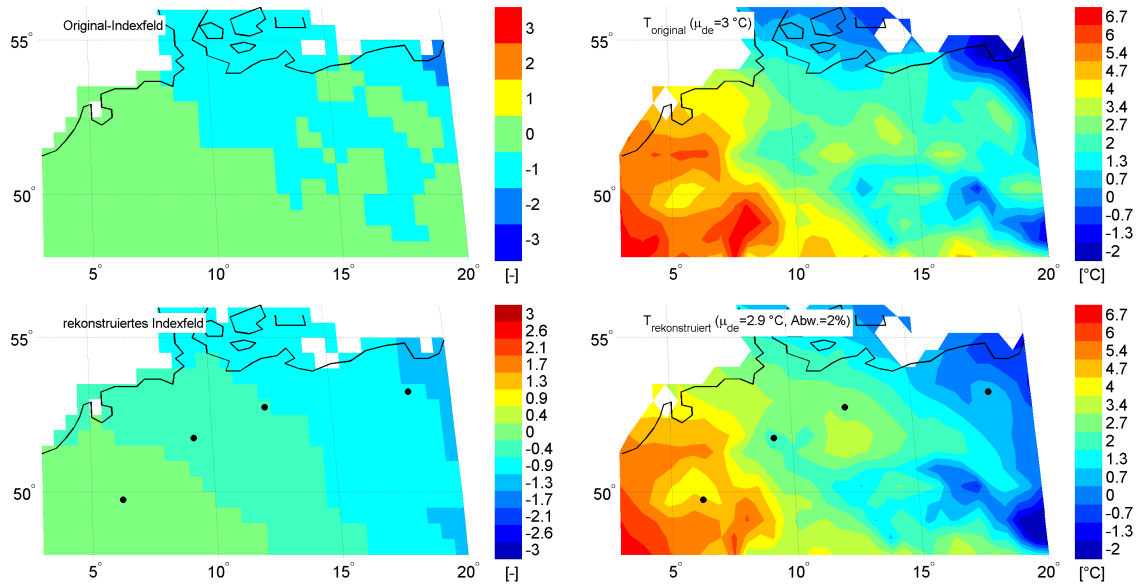


Abb. 4.6.: Rekonstruierte Temperaturverteilung: Aus zufällig gewählten Punkten lässt sich erst ein Indexfeld rekonstruieren (links unten), welches dann durch multiple lineare Regression in die Verteilung der normierten Temperatur überführt werden kann. Diese kann anschließend in absolute Temperaturen umgerechnet werden. Der Vergleich mit der ursprünglichen Verteilung (rechts oben) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, die Abweichung der Mitteltemperatur ist in % der STD angegeben.

bestimmt werden. Die anschließende Multiplikation mit der STD und Addition des Mittelwertes dieses Monats führt zu einer Karte der Temperaturverteilung.

Im Folgenden wird das Modell auf die Fähigkeit zur Rekonstruktion von räumlichen Mustern und Zeitreihen zur Temperatur getestet.

4.3. Test des Modells

Zur Überprüfung des RegMod wurden aus dem GMD sowie aus Reanalysedaten (CRU) künstliche Indizes (siehe Kap. 3.5.1) berechnet und als Eingangsdaten verwendet. Aus dem Vergleich zwischen Eingangswerten und rekonstruierten Werten kann die Rekonstruktionsfähigkeit und -güte des Modells abgeschätzt werden. Eine Überprüfung der räumlichen Rekonstruktionsfähigkeit an unabhängig gewonnenen Indizes wird in Kap. 4.4 vorgestellt.

4.3.1. Rekonstruktion langfristiger Veränderungen

Um das Modell auf seine Fähigkeit zur Erhaltung langfristiger Temperaturentwicklungen zu testen, wurde GMD verwendet. Als repräsentativer Ort für die Temperaturwerte wurde eine zentrale Stelle in Deutschland gewählt (9° ö.L., 50° n.B.). Für diesen Ort gingen die aus der GMD erzeugten künstlichen Indizes für den Zeitraum 1760 – 2000 in das Modell ein. Als Referenzdaten wurden die CRU-Reanalysedaten (1901 – 2000) verwendet. Aus den durch das Modell konstruierten Temperaturfeldern wurden anschließend für den Bereich 8° – 10° östlicher Länge und 49° – 51° nördlicher Breite die Monatsmittel berechnet, welche dann zu Jahresmitteln zusammengefasst und mit den Originaldaten verglichen werden konnten. Dieser Vergleich ist in Abb. 4.7 dargestellt.

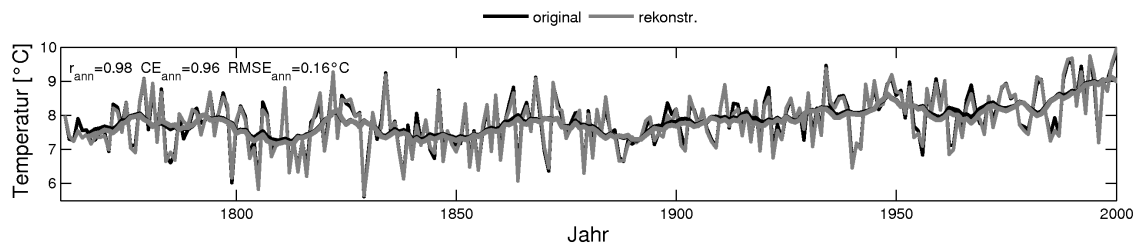


Abb. 4.7.: Unter Verwendung des Regionalisierungsmodells aus künstlichen Indizes des GMD rekonstruierte Mitteltemperatur für Deutschland. Die dicken Linien zeigen das 11-jährige gleitende Mittel.

Es ist deutlich zu sehen, dass sowohl der übergeordnete Verlauf, die interannualen Schwankungen als auch die Variabilität sehr gut erhalten bleiben. Ein Korrelationskoeffizient von 0.98 zeigt die sehr hohe Erklärungsgüte und den gleichen Wert wie für die in Kap. 3.5.1, Abb. 3.7 gezeigte Reihe. Werte von $RMSE=0.16^\circ\text{C}$ und $CE=0.96$ bestätigen die sehr hohe Rekonstruktionsgüte. Dies ist zu erwarten, da die eingehenden Indizes dieselben sind und das Modell gleich kalibriert wurde.

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

4.3.2. Rekonstruktion räumlicher Muster

Um die räumliche Rekonstruktionsgüte zu überprüfen, wurden aus Reanalysedaten (CRU) ebenfalls künstliche Indizes berechnet. Eingang in das Modell fanden drei bis fünf zufällig ausgewählte Werte für jeden Monat. Als Referenzdaten wurden hier ebenfalls Reanalysedaten (CRU) verwendet. In Abb. 4.8 ist der Vergleich der rekonstruierten Muster für einige Monate beispielhaft dargestellt.

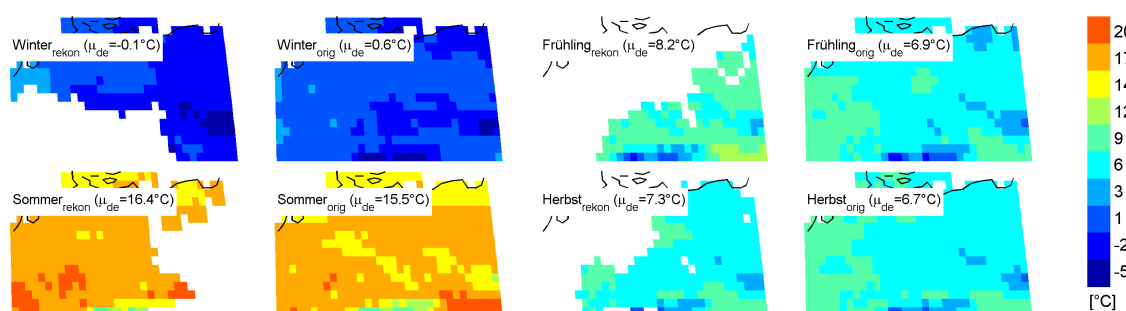


Abb. 4.8.: Vergleich der rekonstruierten monatlichen Temperaturfelder der Monate Januar bis August für das Jahr 1901. Jedes Kartenpaar stellt den Vergleich der rekonstruierten mit der ursprünglichen Temperaturverteilung dar.

Es ist eine hohe Übereinstimmung der Muster zu erkennen. Die rekonstruierten Felder liegen teilweise nicht für das gesamte Gebiet vorliegen. Dies lässt sich auf die zufällige Auswahl der Indizes zurückführen, so dass nicht immer der gesamte Raum abgedeckt ist. Werden für den gesamten Zeitraum der vorhandenen Reanalysedaten zufällig Indizes gewählt und daraus Temperaturkarten rekonstruiert, ergeben sich sehr hohe Rekonstruktionsgüten: Die Korrelationskoeffizienten liegen im Mittel bei $r=0.93$ und bestätigen damit den visuellen Eindruck einer hohen Ähnlichkeit der Muster. Die RMSE liegen im Mittel bei von 0.57°C und die CE bei 0.69.

Die aus diesen rekonstruierten Feldern für die Region $8^{\circ} - 10^{\circ}$ ö.L. und $49^{\circ} - 51^{\circ}$ n.B. berechneten Monatsmitteltemperaturen lassen sich zu einer Zeitreihe der Jahrestemperaturen zusammenfassen, welche in Abb. 4.9 dargestellt ist.

Die Gütemaße der Zeitreihe sind $r=0.98$, $CE=0.98$ und $RMSE=0.16^{\circ}\text{C}$. Das Modell weist offensichtlich eine hohe Rekonstruktionsgüte sowohl für die räumlichen Muster als auch für die absoluten Temperaturen auf. Um die Fähigkeiten an unabhängigen Datensätzen zu testen, werden im Folgenden Indizes aus HisKliD 2.0 verwendet und die daraus rekonstruierten Temperaturen für eine ausgewählte Region mit für diesen Ort vorliegenden Instrumentenmessungen verglichen.

4.4. Anwendung auf historische Indizes

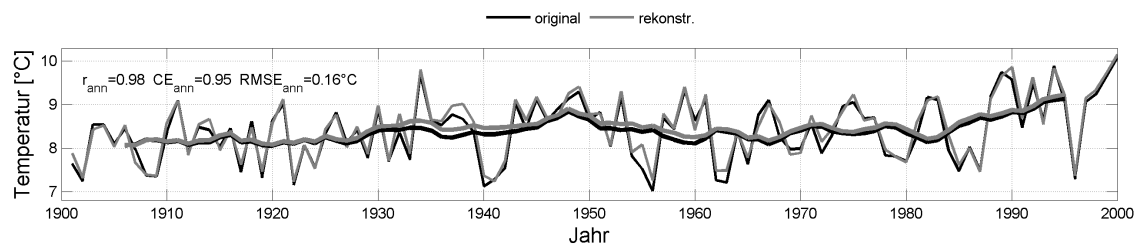


Abb. 4.9.: Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur für Mitteleuropa aus den rekonstruierten Feldern. Die dicken Linien zeigen das 11-jährige gleitende Mittel.

4.4. Anwendung auf historische Indizes

Unter Verwendung von Daten aus HisKliD 2.0 lassen sich für den Zeitraum von 1760-1800 für einige Monate Temperaturfelder rekonstruieren. Die Abfrage monatlich aufgelöster Werte aus HisKliD 2.0 für jedes Jahr zur Ableitung einer durchgängigen Reihe ist nicht möglich. Dies liegt teilweise daran, dass die Werte täglich aufgelöst sind und aufgrund der räumlichen Disparität nicht aggregiert werden können. Allerdings sind auch nicht ausreichend Daten vorhanden, um für längere Zeiträume erst tägliche Karten zu erstellen und daraus Monatswerte abzuschätzen. Für andere Zeitabschnitte wurden noch nicht alle verfügbaren historischen Quellen in die Datenbank aufgenommen, so dass hier ebenfalls Lücken vorhanden sind. Eine Verdichtung der Datenlage in HisKliD 2.0 ist in Arbeit. Ein Beispiel für eine rekonstruierte Temperaturverteilung aus HisKliD 2.0 Daten ist in Abb. 4.10 dargestellt.

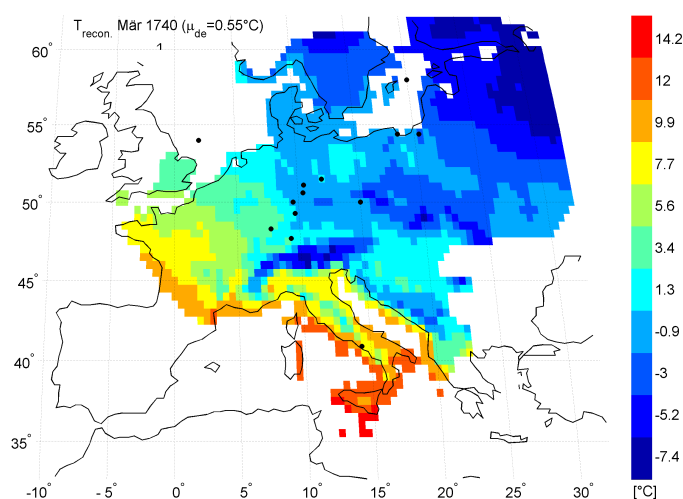


Abb. 4.10.: Beispiel regionalisierter Temperaturinformationen für März 1740 aus historischen Quellen (HisKliD 2.0, Glaser, 2008). Für das Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland ist der Mittelwert der Temperatur angegeben.

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

Aus den rekonstruierten Temperaturfeldern für Monate mit ausreichender Datenlage kann anschließend die Durchschnittstemperatur berechnet werden. In Abb. 4.11 ist der Vergleich der rekonstruierten Temperaturen für das Gebiet 48°-53° n.B und 6°-12° ö.L. mit dem GMD dargestellt. Außerdem ist jeweils der Korrelationskoeffizient r zwischen den beiden Reihen jedes Monats angegeben.

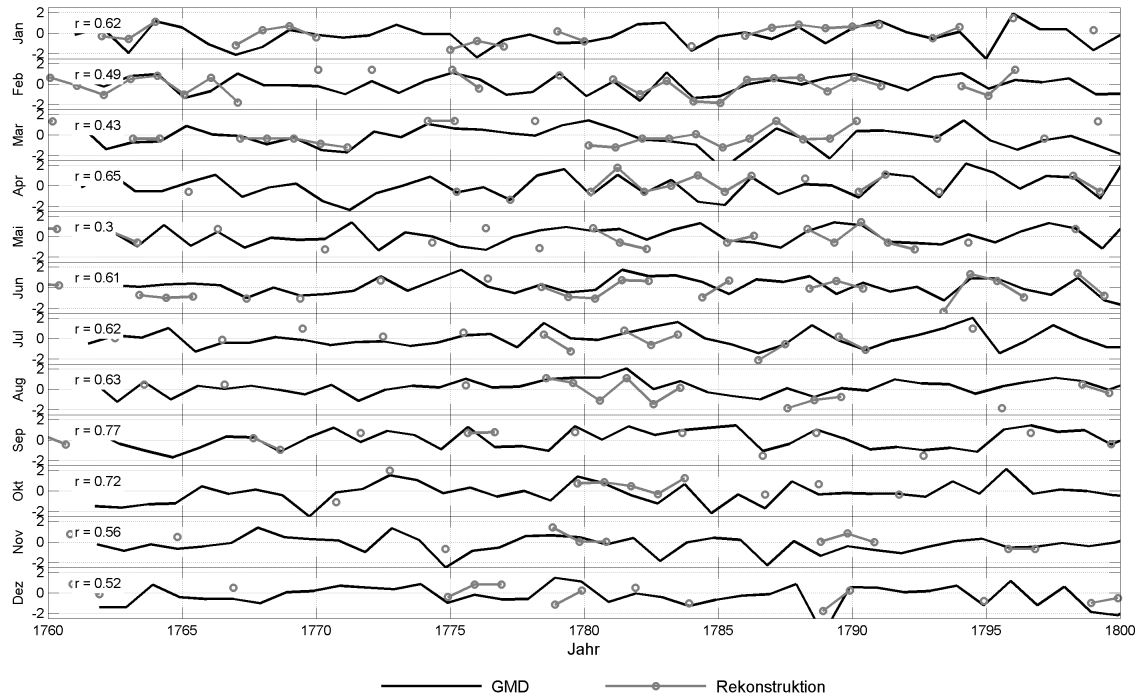


Abb. 4.11.: Vergleich der rekonstruierten Temperatur mit dem GMD. Angegeben sind die Korrelationskoeffizienten jedes Monats.

Mit einzelnen Ausnahmen weisen die monatlichen Reihen eine gute Rekonstruktionsgüte auf. Für einige Monate ist die Datenabdeckung jedoch zu gering, um ein aussagekräftiges Maß abzuleiten. Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits ausgeführt, basiert die Aussagekraft und Belastbarkeit von Rekonstruktionen aus historischen Quellen auf dem Umstand, dass Informationen zu allen Jahreszeiten zur Verfügung stehen. Deshalb ist eine Verdichtung der Datenlage aus HisKliD 2.0 ein notwendiger Ausblick für weitere Arbeiten, um damit die Belastbarkeit des Modells an unabhängigen Daten untersuchen zu können. Um diese Erhöhung der Datenlage zu erreichen, werden im Folgenden die Daten aus Hisklid auf saisonale Werte reduziert. Dabei zeigt sich, dass trotz schwächerer Abdeckung in den Übergangsjahreszeiten das resultierende Signal für das gesamte Jahr gute Rekonstruktionsgüten zeigt.

4.4.1. Ableitung langer saisonaler Reihen

Bei Anwendung des RegMod auf saisonal aufgelöste Daten stehen mehr Informationen aus der Abfrage von HisKliD 2.0 zur Verfügung, als für monatlich aufgelöste Daten. Jedoch bietet HisKliD 2.0 nicht unmittelbar genügend Daten, um durchgängige Reihen abzuleiten. Daher werden zusätzlich zu den vorhandenen saisonalen Indizes Monatsangaben verwendet. Tageswerte werden aufgrund der Unmöglichkeit einer automatisierten Aggregation ignoriert (siehe oben). Als Kompromiss zwischen der Datenlage und der Notwendigkeit einer möglichst hohen Datenverfügbarkeit wird bereits bei Vorhandensein von mindestens zwei Monatsangaben deren Mittelwert als saisonaler Wert verwendet. In Abb. 4.12 ist die zeitliche Abdeckung so erzeugter saisonaler Indizes dargestellt.

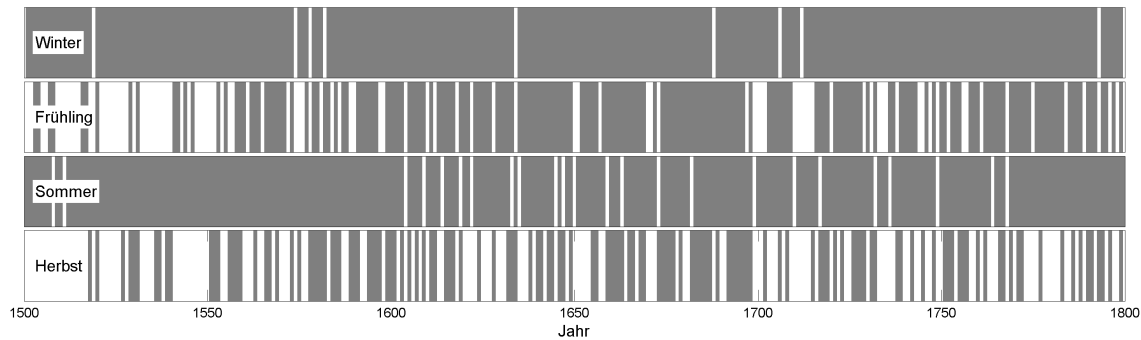


Abb. 4.12.: Abdeckung regionalisierbarer saisonaler Angaben aus HisKliD 2.0. Jahre mit ausreichender Informationsdichte sind grau dargestellt.

Es fällt auf, dass für Winter und Sommer ausreichend Daten zur Verfügung stehen, um eine durchgängige Reihe abzuleiten. Für die Übergangsjahreszeiten ist dies nicht der Fall, v.a. für den Herbst stehen nur wenig Informationen bereit. Wie bereits in Kap. 2.3.1 dargestellt, werden Fehlwerte mit Null aufgefüllt, um in erster Näherung zu einer durchgängigen Reihe gelangen zu können. Diese Näherung liegt darin begründet, dass für solche Jahre nichts Berichtenswertes beobachtet wurde, es sich somit um eine „normale“ Jahreszeit gehandelt haben könnte. Die anschließende Zusammenführung zu einem Jahreswert reduziert die damit verbundenen Unsicherheiten (siehe Kap. 3.3).

Bei Anwendung des Modells auf saisonale Daten muss der scaling factor a für saisonale Daten bestimmt werden. In Kap. 3.2 wurden hierfür 11-jährige Mittel verwendet. Da für die Anwendung im RegMod diese Glättung nicht möglich ist, muss hier der scaling factor für jährliche Werte berechnet werden. Da pro Jahr nur vier Angaben vorhanden sind, ist eine ausreichend aufgelöste Abstufung nicht möglich,

4. Regionalisierung der Witterungsinformationen

um eine präzise Abschätzung von $a_{sais,ann}$ zu erlauben. Diese daraus entstehenden Unsicherheiten müssen durch Verifizierung und Vergleich mit gemessenen Daten abgeschätzt werden. Wie in Kap. 3.2.2 dargestellt, lassen sich der scaling factor zu $a_{sais,ann} = 1.3$ für dreistufige Indizes und zu $a_{sais,ann} = 1.1$ für siebenstufige Indizes abschätzen.

In Abb. 4.13 sind die rekonstruierten Reihen bei Verwendung von siebenstufigen Werten dargestellt. Bei Verwendung von dreistufigen Werten kann für die Jahresreihe ein ähnliches Ergebnis erzielt werden, die saisonalen Reihen sind jedoch entsprechend reduziert.

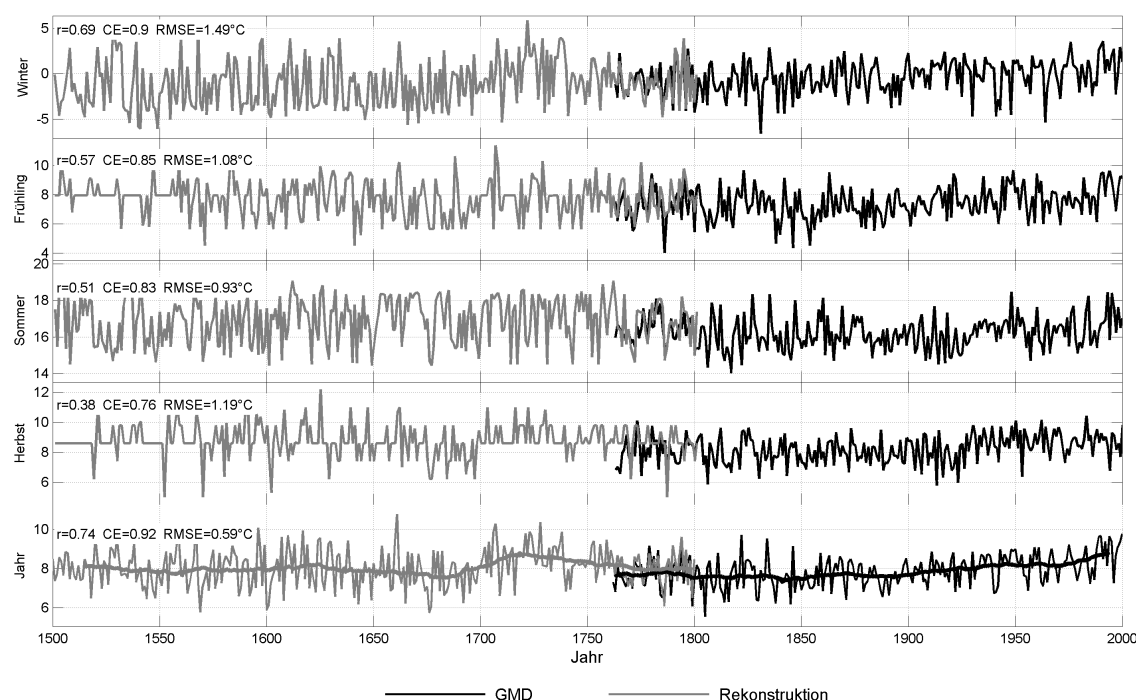


Abb. 4.13.: Rekonstruierte Temperaturentwicklung für Mitteleuropa aus historischen Indizes unter Verwendung des Regionalisierungsmodells. Die Daten wurden aus HisKliD 2.0 eingelesen, räumlich gruppiert und auf Jahreszeiten reduziert. Fehljahre wurden durch Nullen aufgefüllt, was v.a. für den Herbst zu einer Glättung führt.

Es ist deutlich zu sehen, dass die Variabilität der Reihen für die einzelnen Jahreszeiten von der der Instrumentenmessungen ab 1760 abweicht. Weiterhin kommt es in den Übergangsjahreszeiten durch die eingefügten Nullen zu einer Verzerrung zum Mittelwert hin. Die Jahrestemperaturen weisen jedoch diese Schwächen nicht gleichermaßen deutlich auf. Die Gütemaße für Sommer und Winter weisen akzeptable Werte auf, für die Übergangsjahreszeiten zeigen sie eine geringere Rekonstruktionsgüte auf. Jedoch weisen die Gütemaße für den Jahreswert gute Werte auf: $r=0.74$,

4.4. Anwendung auf historische Indizes

CE=0.92 und RMSE=0.59°C. Damit bestätigt sich, dass durch die Abdeckung aller Jahreszeiten in der Historischen Klimatologie die Einschränkungen durch die Reduktion auf sieben bzw. drei Stufen und die subjektive Prägung ausgeglichen wird. Für eine weitere Verifizierung des Modells ist jedoch eine Verbesserung der Datenlage in HisKliD 2.0 notwendig und bereits in Arbeit. Dann wird auch eine Fehlerabschätzung möglich werden. Momentan könnte näherungsweise der zweifache RMSE verwendet werden (Zorita u. a., 2010).

4.5. Das Regionalisierungsmodell im Überblick

In Abb. 4.14 ist die hier entwickelte Methode zur Regionalisierung von indizierten klimabezogenen Informationen schematisch dargestellt.

Für räumlich zufällig verteilte, indexbasierte Hinweise zur Temperatur wird in einem ersten Schritt deren räumliche Repräsentanz abgeschätzt. Hierfür wird für jeden Rasterpunkt unter Verwendung von Reanalysedaten das Gebiet bestimmt, für welches die Korrelation zu dem Rasterfeld mit einem vorhandenen Index über r_{index} liegt. Diesem Gebiet wird der Wert des jeweiligen Index zugewiesen. Sind mehrere, räumlich verteilte Indizes vorhanden, so wird aus der Überlagerung der jeweils repräsentativen Felder ein zusammenhängendes Indexfeld abgeleitet.

Wie in Kap. 3 gezeigt wurde, beschreiben Indizes Abweichungen in Einheiten der normierten Temperatur. Deshalb werden in einem nächsten Schritt aus den normierten Reanalysedaten durch HKA die vorherrschenden Muster der Temperaturverteilung der betrachteten Region des entsprechenden Monats abgeleitet. Durch multiple lineare Regression wird dem zuvor konstruierten Indexfeld eine Kombination dieser Temperaturverteilungsmustern zugeordnet. Das Ergebnis ist ein realistisches Muster der normierten Temperaturen. Die Größe des Gebietes, für welches die Rekonstruktion durchgeführt wird, kann wiederum über die Festlegung eines Schwellenwertes für den Korrelationskoeffizienten r_{repr} bestimmt werden. Aus den Reanalysedaten wird in einem letzten Schritt der Mittelwert sowie die Standardabweichung für jeden Rasterpunkt bestimmt. Damit wird aus den normierten Temperaturen eine Karte der Temperaturverteilung berechnet.

Mit dem RegMod wurde eine Methode geschaffen, um die besonderen Eigenschaften indexbasierter Klimainformationen zu berücksichtigen. Das Modell ist eigenständig in der Lage, durch den Vergleich mit modernen Reanalysedaten für das jeweilige Untersuchungsgebiet sowohl die räumliche Repräsentanz der Proxies abzuschätzen, als auch die jeweils vorherrschenden klimatischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Das Modell wurde an thermischen Indizes entwickelt und getestet, ist jedoch nicht darauf beschränkt. Die Anwendbarkeit auf andere Klimaelemente wird Teil weiterer Arbeiten sein.

4.5. Das Regionalisierungsmodell im Überblick

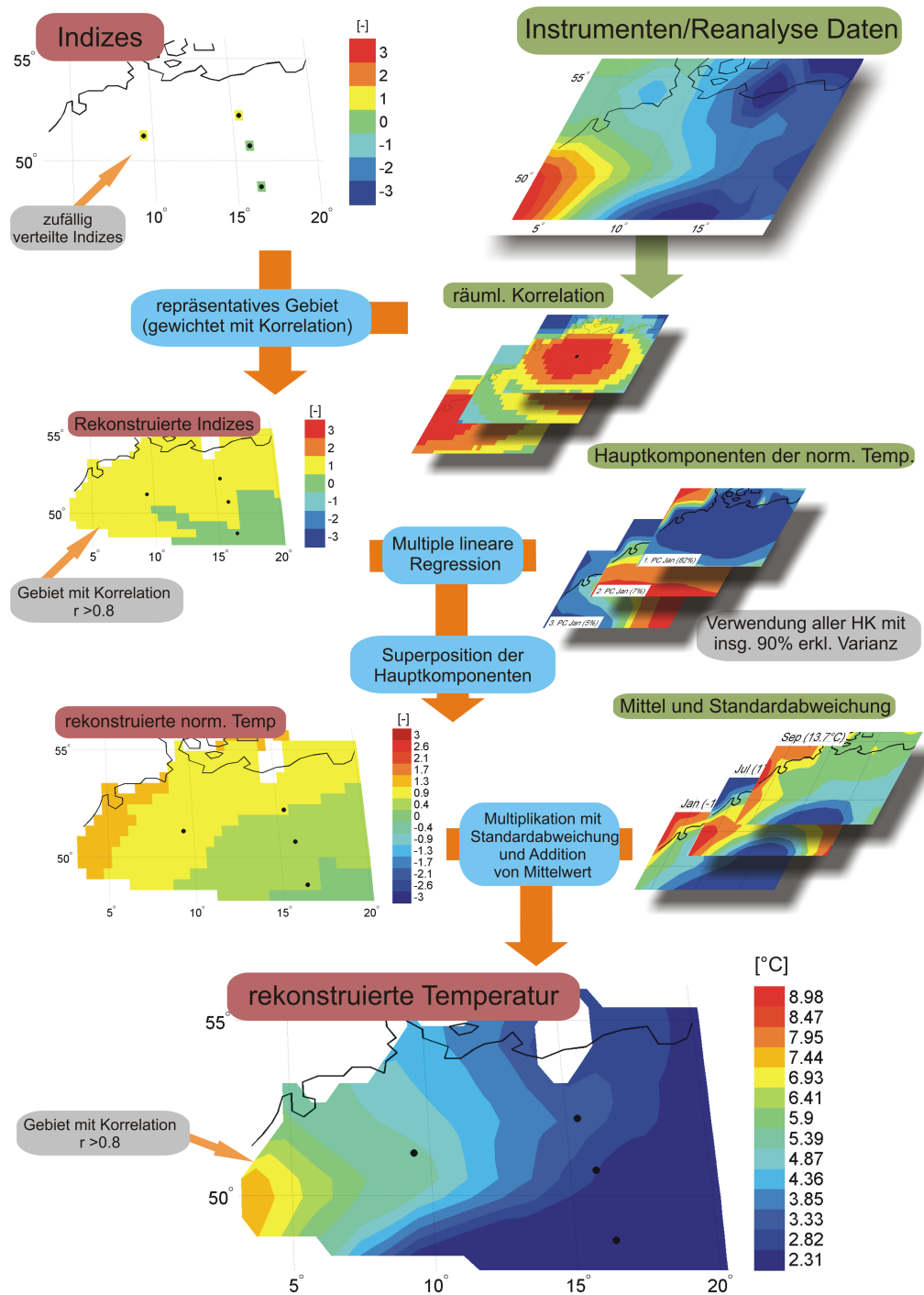


Abb. 4.14.: Schematische Darstellung des hier vorgestellten Regionalisierungsmodells (eigener Entwurf). Erläuterungen siehe Text.

5. Synthese und Diskussion der Ergebnisse

Die rekonstruierte Temperaturentwicklung für Mitteleuropa von Glaser u. Riemann (2009b) zeigt, dass Indizes aus historischen Quellen in der Lage sind, mittel- und langfristige Signale zu beschreiben. Der Vergleich im folgenden Kap. 5.1 mit anderen Rekonstruktionen zeigt sowohl für mittelfristige Veränderungen, als auch für den langfristigen Trend, eine hohe Übereinstimmung. Damit leistet diese Reihe einen wichtigen Beitrag zur paläoklimatischen Forschung, da sie ein regionales Signal in sehr hoher zeitlicher Auflösung bereitstellt.

In dieser Arbeit konnte weiterhin gezeigt werden, dass historische Quellen prinzipiell die Fähigkeit zur Beschreibung mittel- und langfristiger Veränderungen besitzen. Aus den besonderen Eigenschaften dieses Proxies leitet sich die Notwendigkeit einer eigenen Methodik ab, welche auch für den Umgang mit anderen Klimavariablen Möglichkeiten bietet. In einer integrierenden Analyse wird in Kap. 5.2 eine Multi-Proxy-Rekonstruktion für Mitteleuropa vorgestellt.

5.1. Vergleich mit anderen Rekonstruktionen

Der Vergleich mit anderen Rekonstruktionen und einer Klimasimulation zeigt eine gute Übereinstimmung im mittelfristigen sowie dem langfristigen Verlauf. In Abb. 5.1 ist dieser Vergleich dargestellt. Hierfür wurden die Reihen mit dem 101-jährig gleitenden Mittel geglättet, da bei den unterschiedlichen räumlichen Bezügen und verschiedenen Datentypen ein zeitlich hoch aufgelöster Vergleich nicht sinnvoll ist: Der Vergleich regionaler Reihen, welche kurzfristige akzentuierte Ausprägungen aufweisen, mit Reihen zur nördlichen Hemisphäre, welche durch die großräumige Mittelung diese kurzfristigen, starken Ausprägungen nicht aufweisen, macht eine zeitliche Mittelung notwendig. Außerdem bieten hoch aufgelöste Modelldaten keine vergleichbaren Daten an, sondern können erst im mittel- und langfristigen Verlauf für Vergleiche herangezogen werden.

5. Synthese und Diskussion der Ergebnisse

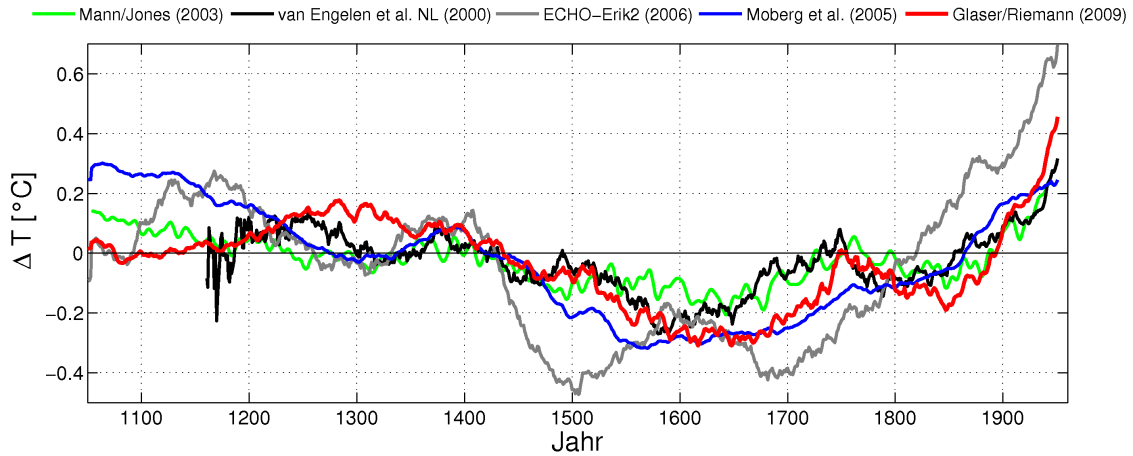


Abb. 5.1.: Vergleich der 101-jährig geglätteten Reihe mit anderen Rekonstruktionen. Die starken Fluktuationen vor 1200 in der Reihe von van Engelen et al. (2000) lassen sich auf Lücken in den Daten zurückführen. ΔT sind die Abweichungen gegenüber dem Jahrtausendmittel.

Bei dem in Abb. 5.1 dargestellten Vergleich fällt auf, dass alle Reihen für den Zeitraum 1400 – 1800 unterdurchschnittliche Temperaturen im Vergleich zum vergangenen Jahrtausend aufweisen. Spätestens ab 1850 weisen alle Reihen einen deutlichen Aufwärtstrend der Temperaturen auf, welche jedoch zumindest teilweise darauf zurückzuführen sein dürfte, dass ab dieser Zeit größtenteils Instrumentendaten Verwendung fanden, bzw. die Modelle für diese Zeit durch den Vergleich mit Instrumentendaten höhere Simulationsgüte aufweisen. Aus diesem Grund werden die in Tab. 5.1 dargestellten Korrelationen zwischen den Reihen nur für die Zeit vor 1900 berechnet, um nicht durch die hohe Übereinstimmung in dem markanten Anstieg nach 1900 eine insgesamt gute Korrelation vorzutäuschen.

Tab. 5.1.: Korrelation zwischen verschiedenen Rekonstruktionen und einer Simulation (101-jähriges Mittel, Pearson-Korrelation auf 95%-Signifikanz-Niveau). Verglichen wurden Reihen von Glaser u. Riemann (2009b, GRGER2009), Mann u. Jones (2003, MJNH2003), van Engelen u. a. (2000, EBNL2000), Moberg u. a. (2005, MEANH2005) und (González-Rouco u. a., 2006, ERIK2CE).

	GRGER2009	MJNH2003	MEANH2005	ERIK2CE	EBNL2000
GRGER2009	1,00	0,72	0,72	0,58	0,80
MJNH2003	0,72	1,00	0,92	0,70	0,74
MEANH2005	0,72	0,92	1,00	0,81	0,77
ERIK2CE	0,58	0,70	0,81	1,00	0,54
EBNL2000	0,80	0,74	0,77	0,54	1,00

Zwischen 1750 und 1850 weisen die Reihen von Glaser u. Riemann (2009b), Mann u. Jones (2003) und van Engelen u. a. (2000) einen Abfall auf, welcher in der Moberg u. a. (2005)-Reihe und den Simulationsdaten (González-Rouco u. a., 2006) nicht zu

sehen ist. Für die Zeit vor 1400 lassen sich zwar bei allen Reihen insgesamt positive Temperaturen im Vergleich zum letzten Jahrtausend feststellen, jedoch weisen sowohl die mittelfristigen Schwankungen als auch der Zeitraum des Übergangs in die Kleine Eiszeit deutliche Unterschiede auf. Der Abfall der Temperaturen bei der Glaser u. Riemann (2009b)-Reihe vor 1300 hin zum Beginn des Jahrtausends dürfte v.a. auf die Abnahme der Informationsdichte zurückzuführen sein. Die Reihe von van Engelen u. a. (2000), welche ebenfalls auf historischen Quellen basiert, bricht vor 1200 gänzlich ab. Insgesamt weisen jedoch fast alle Reihen für die Zeit vor 1100 eher durchschnittliche Temperaturen auf. Einzig die Reihe von Moberg u. a. (2005) zeigt für diese Zeit höhere Temperaturen an.

Der Vergleich der rekonstruierten Temperaturfelder mit anderen Rekonstruktionen (z.B. Luterbacher u. a., 2004) ist momentan aufgrund der Datenlage noch nicht möglich, jedoch in Arbeit (siehe Ausblick, Kap. 6.1). Im folgenden Kapitel wird aber ein einfacher Ansatz vorgestellt, welcher auf den gewonnenen Erkenntnissen basiert und eine Brücke zwischen verschiedenen Proxies schlägt.

5.2. Multi-Proxy-Analyse

Wie gezeigt wurde, können klimatische Signale als Änderungen der Frequenz gleichgerichteter Anomalien verstanden werden. Weiterhin wurde gezeigt, dass mit nur drei Bewertungsstufen auf jahreszeitlicher Basis die Beschreibung mittel- und langfristiger Änderungen möglich ist. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde eine Methode entwickelt, um Daten unterschiedlicher Auflösung integrieren zu können. Die zugrundeliegende Idee geht darauf zurück, dass es in historischen Quellen für besonders gut belegte Jahre eindeutige Hinweise auf ein spezielles Ereignis gibt. Sollten also fast alle Quellen in Mitteleuropa von einer Dürre in einem bestimmten Sommer berichten, so erscheint diese Aussage glaubwürdig und belastbar. Einzelne Quellen oder natürliche Proxies, die für diesen Sommer dieses Ereignis nicht anzeigen, können als fehlerhaft interpretiert werden und müssen ignoriert werden.

Da Proxies für die Temperatur in der Regel nur Veränderungen relativ zu den Standortbedingungen reflektieren, bietet sich der Vergleich mit normierten Temperaturen an. Wie bereits in Kap. 2.4 gezeigt wurde, kann Mitteleuropa für saisonale (normierte) Temperaturwerte als ein homogener Raum angenommen werden. Für den Winter beschreibt die erste HK 81% der kohärenten Temperaturveränderung, für den Sommer immer noch mehr als 60% (siehe Abb. 2.11). Deshalb wurden für

5. Synthese und Diskussion der Ergebnisse

diesen Raum verschiedene Reihen der rekonstruierten Sommer- und Wintertemperaturen für Mitteleuropa gewählt. Diese sind in Tab. 5.2 aufgeführt¹.

Tab. 5.2.: Aufstellung der verwendeten Daten für die Multi-Proxy-Analyse.

Reihe	Typ	Region	Sommer	Winter
Glaser u. Riemann (2009b)	hist. Quellen	Deutschland	X	X
Pfister u. Dietrich-Felber (2010)	hist. Quellen	Mitteleuropa	X	X
aktualisiert, nach van Engelen u. a. (2001)	hist. Indizes	Niederlande	X	X
Büntgen u. a. (2005)	Dendrochr.	Lötschental	X	
Leijonhufvud u. a. (2008)	hist. Quellen	Stockholm		X
Friedrich, M. (unveröff., pers. Komm.)	Dendrochr.	Franken		X
aktualisiert, nach Friedrich (1998), pers. Komm.	Dendrochr.	Dachstein	X	

In einem ersten Schritt wurden alle Reihen auf dreistufige Indexwerte reduziert. Für die Rekonstruktionen aus historischen Quellen liegen die Daten häufig bereits in dieser Form vor. Wo die Daten in siebenstufiger Auflösung vorlagen, wurden sie auf diese drei Stufen reduziert, wie in Kap. 2.3.1 dargestellt. Aus den dendrochronologischen Reihen wurden sogenannte Weiserjahre konstruiert. Dies sind Jahre, in welchen die in die dendrochronologische Reihe eingehenden Signale verschiedener Individuen ein deutliches Signal zeigen und somit einer bestimmten Klimabedingung zugewiesen werden können (Schweingruber u. a., 1990). Diese Reihen wurden entsprechend der in Kap. 3.5.1 vorgestellten Methode auf drei Stufen reduziert, d.h. die Reihen werden so reduziert, dass die Variabilität für längere Zeiträume erhalten bleibt. Das Ergebnis sind Zeitreihen für Sommer und Winter, mit nur drei möglichen Zuständen ($[-1 \ 0 \ 1]$). Diese Reduktion stellt die minimal notwendigen Informationen für einen eindeutigen Vergleich dar und ermöglicht eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Signale.

5.2.1. Ein demokratischer Ansatz

Durch den Vergleich dieser Reihen lässt sich ein gemeinsames Signal ableiten: bei einer Übereinstimmung von mindestens s der r Reihen in ihrem Signal², wurde dieses für das entsprechende Jahr als repräsentativ verwendet. Die Signale der übrigen Reihen des jeweiligen Jahres wurden ignoriert. Jahre, in welchen eine Übereinstimmung zwischen den Reihen nicht gegeben war, wurden vorerst nicht bewertet. Das

¹Die dendrochronologischen Daten für Dachstein und Franken wurden freundlicherweise von M. Friedrich, Universität Hohenheim zur Verfügung gestellt.

²Bei der hier vorgestellten Untersuchung mit fünf Reihen wurde für den Anteil (s von r) ein Wert von 60% verwendet, da (1) nur 20%-Schritte möglich sind, (2) mehr als die Hälfte der Reihen in ihrem Signal übereinstimmen müssen, um dem Majoritätsprinzip zu folgen und (3) eine ausreichende Datenmenge vorhanden sein muss, um ein gemeinsames Signal zu finden (was bei einem strengen Wert von 80% oder 100% nicht möglich ist).

Ergebnis dieses Verfahrens ist eine Zeitreihe für Mitteleuropa, mit Lücken für Jahre, in welchen kein eindeutiges Signal gefunden werden konnte (siehe Abb. 5.2 und Abb. 5.3). Es ist deutlich zu sehen, dass kohärente mittelfristige Änderungen in den eingehenden Reihen und ebenfalls in der Synthesereihe reflektiert werden.

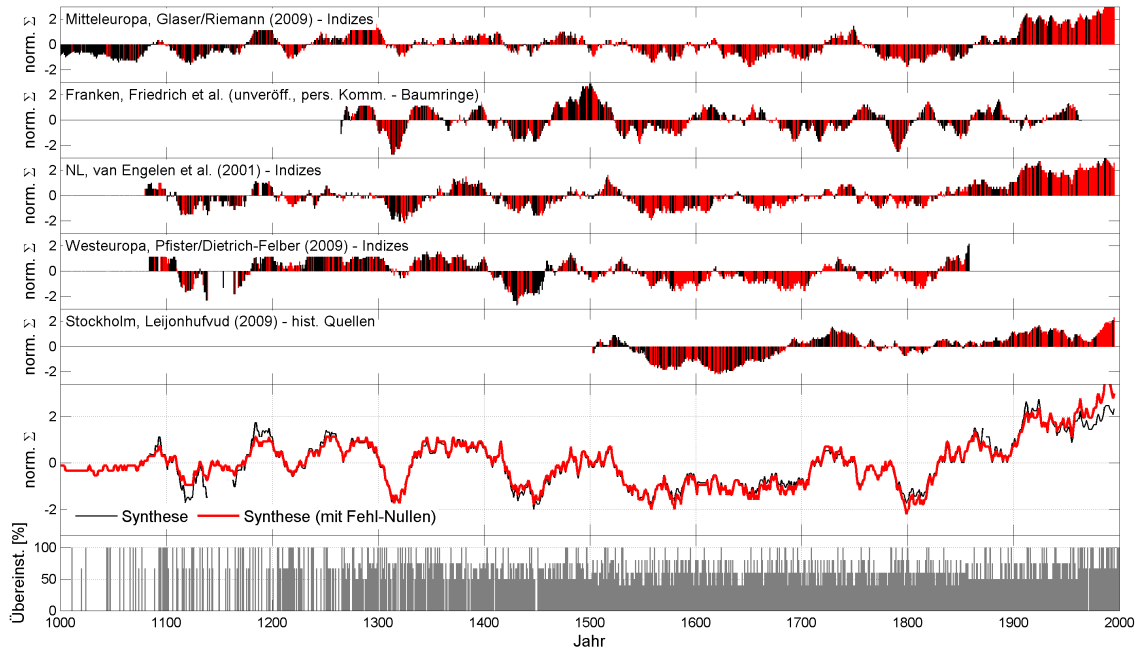


Abb. 5.2.: Normierte 31-jährig gleitende Summe ($\text{norm.}\Sigma$) der Indizes der ausgewählten Reihen sowie die daraus bestimmte Multi-Proxy-Reihe für den Winter. In den eingehenden Reihen sind die, für die Multi-Proxy-Reihe ausgewählten Jahre rot markiert. Die letzte Zeile gibt die Übereinstimmung der Signale zwischen den Reihen in % an. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Unter den Annahmen, dass uneindeutige Signale entweder auf undeutliche Ausprägung der Witterung oder regionale Unterschiede zurückzuführen sind, wurden die Fehlwerte mit dem Wert 0 aufgefüllt: das Signal war dann entweder nicht deutlich genug und somit *normal* oder aber würden die regionalen Unterschiede in der räumlichen Mittelung ohnehin zum Mittelwert hin geglättet werden. Durch das Einfügen von Nullen wird die Reihe in ihrer Amplitude geglättet und zum Mittelwert hin verzerrt. Der Unterschied zwischen den (geglätteten) Reihen mit Fehlwerten oder mit aufgefüllten Fehlwerten fällt allerdings sehr gering aus (siehe Abb. 5.2 und 5.3). In der letzten Reihe ist die Übereinstimmung zwischen den Reihen für jedes Jahr angegeben.

Die visuelle Prüfung zeigt bereits, dass das resultierende Synthesesignal nicht das Ergebnis einer zufälligen Kombination sein kann, da sowohl sichtbare gemeinsame mittel- als auch langfristige Veränderungen abgebildet werden. Darüber hinaus zei-

5. Synthese und Diskussion der Ergebnisse

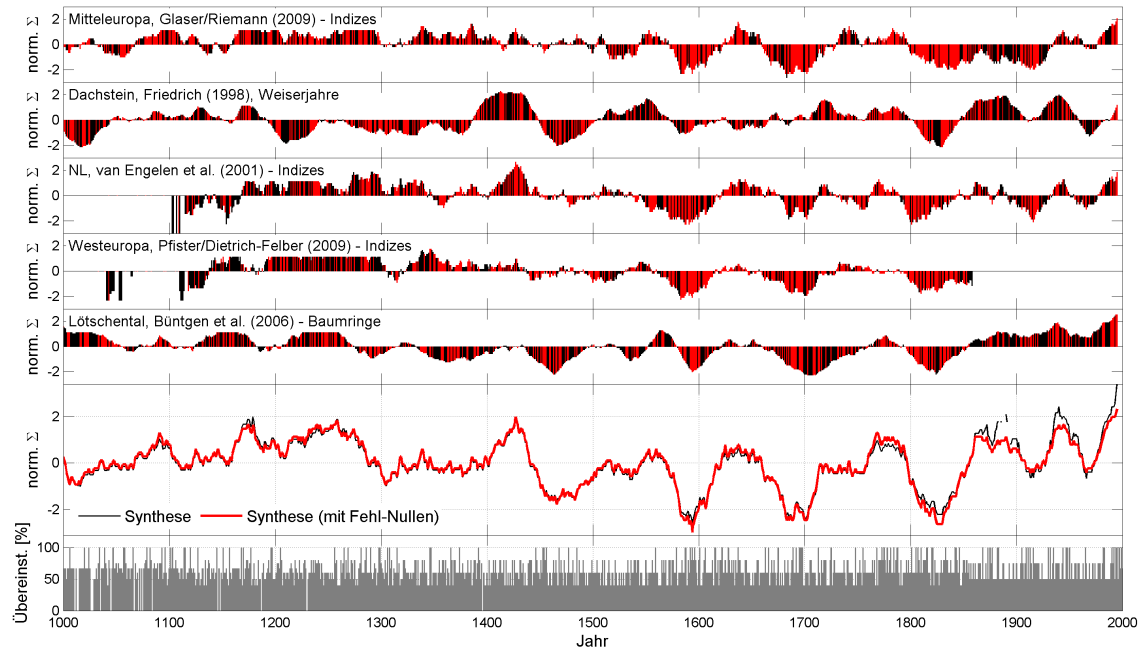


Abb. 5.3.: Multi-Proxy-Reihe für Sommer. Erläuterungen wie in Abb. 5.2.

gen die folgenden Überlegungen, dass das auf diese Weise gewonnene Signal nicht ein Zufallsprodukt ist.

Klimasignal oder Zufall?

Zur Überprüfung, ob das resultierende Signal das Ergebnis eines Zufallsprozesses ist, wird die folgende Frage beantwortet: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens s der insgesamt r Reihen für ein bestimmtes Jahr den gleichen Wert haben und ist die tatsächlich beobachtete Anzahl übereinstimmender Werte signifikant höher? Um diese Signifikanz zu überprüfen, wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des gemessenen Wertes bei zufällig verteilten Werten bestimmt.

Zur Lösung wird die Fragestellung verallgemeinert: Untersucht werden r Zeitreihen, die jeweils aus n Datenpunkten (Jahren) bestehen. Bei jeder Reihe wird jedem Datenpunkt einer von w , also drei möglichen Werten zugeordnet (in diesem Fall $[-1 \ 0 \ 1]$). Angenommen, dass diese Zuordnung einen reinen Zufallsprozess widerspiegelt, wie hoch ist dann die Wahrscheinlichkeit, dass die Anzahl von Fällen, in denen mindestens s von den r Reihen den gleichen Wert haben, mindestens so hoch ist, wie der beobachtete Wert a_s ? Beispielsweise: Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens drei von fünf Reihen den gleichen Wert haben bei 500 der 1000 Datenpunkte?

Wenn die Zuordnung rein zufällig geschieht, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Punkt in einer bestimmten Reihe einen bestimmten Wert annimmt gleich $1/w$. Für ein ausgewähltes Jahr lässt sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wert, in diesem Fall -1, 0 oder 1, in genau s der r Reihen gleich ist, berechnen durch

$$\binom{r}{s} \left(\frac{1}{w}\right)^s \left(\frac{w-1}{w}\right)^{r-s}. \quad (5.1)$$

Da es für den hier untersuchten Prozess unerheblich ist, welchen Zustand w annimmt, muss Gl. 5.1 noch mit der Anzahl Zustände w multipliziert werden, um die Wahrscheinlichkeit p_s berechnen zu können, dass genau s der r Reihen den gleichen Wert haben:

$$p_s = w \cdot \binom{r}{s} \left(\frac{1}{w}\right)^s \left(\frac{w-1}{w}\right)^{r-s} \quad (5.2)$$

Um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, dass *mindestens* s der r Reihen das gleiche Signal haben, müssen die Wahrscheinlichkeiten p_s aufsummiert werden:

$$p_{s,min} = \sum_{k=s}^r p_k \quad (5.3)$$

In Abb. 5.4 ist die so berechnete theoretische Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des gleichen Signals in mindestens s der r (hier $r = 5$) Reihen aufgetragen. Ebenfalls dargestellt ist die tatsächlich beobachtete Häufigkeit des Auftretens gleicher Signale für die hier untersuchten Reihen.

Es ist zu sehen, dass die tatsächlich beobachtete Übereinstimmung des Signals höher ist, als die bei einem Zufallsprozess erwartete Übereinstimmung. Vor allem für die Übereinstimmung von vier oder fünf Reihen liegen die beobachteten Werte deutlich über den theoretischen Erwartungswerten: In mehr als 10% der Jahre weisen alle Reihen das gleiche Signal auf, der Erwartungswert für zufällige Übereinstimmung liegt bei unter 1%.

Um nun die Signifikanz dieser Abweichung abzuschätzen, wird die theoretische Wahrscheinlichkeit P_j bestimmt, dass bei genau j der n Punkte mindestens s der r Reihen den gleichen Wert haben:

5. Synthese und Diskussion der Ergebnisse

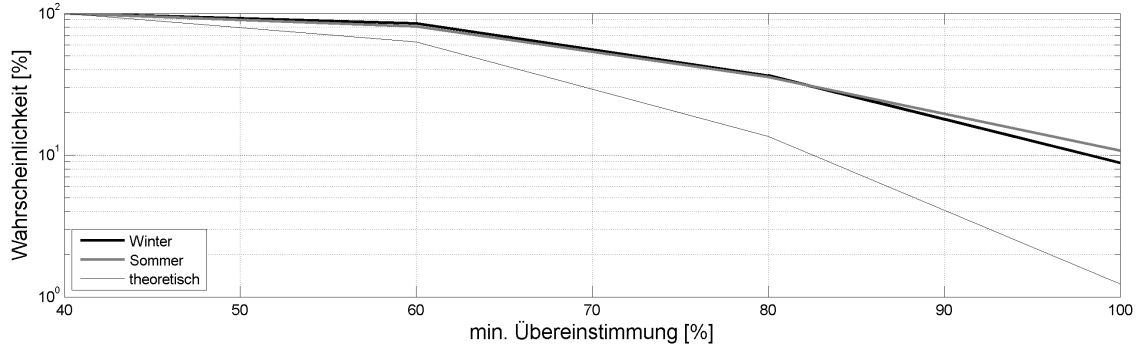


Abb. 5.4.: Vergleich der theoretischen Wahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung des Signals von mindestens s gleichen Zuständen bei r Reihen mit dem gemessenen Auftreten gleicher Signale für die Sommer- und Winter-Synthesereihe. Die *min. Übereinstimmung* gibt das Verhältnis von s/r an.

$$P_j = \binom{n}{j} p_{s,min}^j (1 - p_{s,min})^{n-j} \quad (5.4)$$

Wurden in Gl. 5.3 noch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten in Einzeljahren betrachtet, beantwortet Gl. 5.4 die Frage, wie hoch diese Wahrscheinlichkeit in Bezug auf die gesamte Zeitreihe ist. Damit lässt sich die Wahrscheinlichkeit berechnen, das die tatsächlich beobachtete Häufigkeit (a_s der n Jahre) das Ergebnis eines Zufallsproduktes ist. Da wiederum die Wahrscheinlichkeit $P_{\geq a_s}$ gesucht ist, dass bei *mindestens* a_s von den n Punkten genau s von den r Reihen den gleichen Wert haben ist, folgt

$$P_{\geq a_s} = \sum_{j=a_s}^n P_j \quad (5.5)$$

Werden in Gl. 5.5 die beobachteten Werte a_s für kohärente Signale im Sommer oder Winter eingesetzt, so ergeben sich Wahrscheinlichkeiten von näherungsweise Null³ für das zufällige Auftreten dieser Werte. Es kann deshalb angenommen werden, dass die resultierende Reihe ein Klimasignal darstellt und nicht das Ergebnis eines Zufallsprozesses ist.

³Die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens 60%, also mindestens drei der fünf Reihen in 1000 Jahren zufällig das gleiche Signal aufweisen, liegt bei $P_{\geq a_s} \leq 10^{-52}$.

5.2.2. Ein Multi-Proxy-Temperatursignal für Mitteleuropa

Die so bestimmten Reihen für Sommer und Winter wurden anschließend nach der in Kap. 3 entwickelten Methode in Temperaturen umgerechnet. Hierfür wurden die Reihen 31-jährig geglättet, normiert und anschließend auf die Variabilität der 31-jährig geglätteten Reihen im Referenzzeitraumes skaliert. Als Referenzwerte für die Abschätzung der Variabilität der Temperaturen in dieser Region wurde das GMD für den Zeitraum 1760 – 2009 verwendet. Aus dem Mittel von Sommer- und Wintertemperatur lässt sich abschließend die Mitteltemperatur der 31-jährigen Reihen abschätzen. Eine Berechnung der Jahresmitteltemperatur ist aufgrund des Fehlens von Angaben zu den Übergangszeiten leider nicht möglich, wäre methodisch jedoch ebenfalls möglich. Allerdings weist das Mittel aus Sommer und Winter einen Erklärungsanteil von 92% der Variabilität für die Temperaturen des gesamten Jahres⁴ auf und kann somit als repräsentativ für das gesamte Jahr verwendet werden.

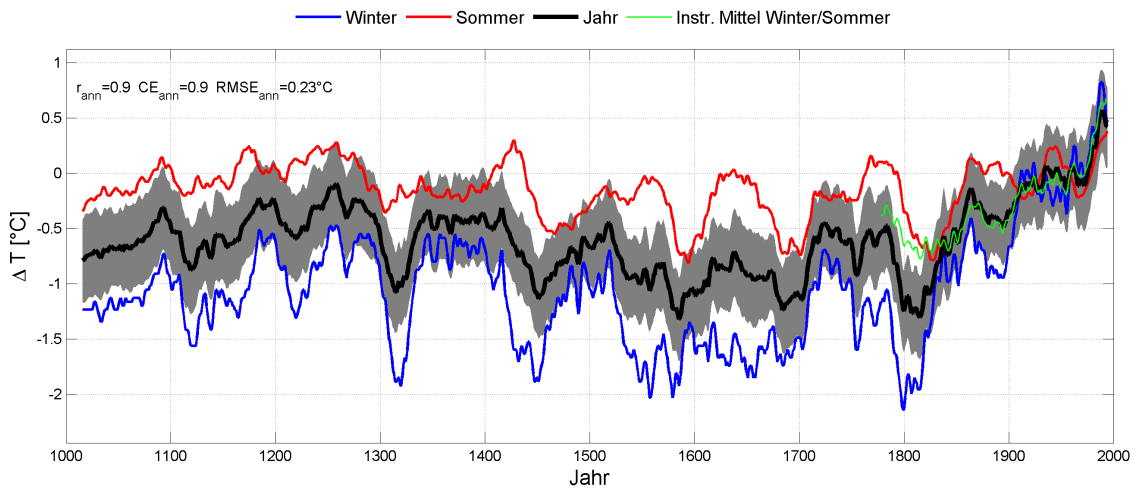


Abb. 5.5.: Multi-Proxy-Reihe für Mitteleuropa. Die Reihe ist 31-jährig geglättet. Die grau hinterlegte Fläche zeigt den Fehler, welcher aus der Unsicherheit bei der Indexbildung resultiert. Der Vergleich mit dem Mittel der Sommer und Wintertemperaturen des GMD zeigt eine hohe Übereinstimmung ($r=0.9$).

In Abb. 5.5 ist die Temperaturentwicklung für Mitteleuropa für die letzten 1000 Jahre dargestellt. Für Mittel der Temperaturen von Sommer und Winter wurde der Fehler, welcher sich aus der Unsicherheit der Indexbildung ergibt, durch MC-Simulation abgeschätzt. Hierzu wurden die Indizes für Sommer und Winter vor der

⁴Zur Ermittlung des Erklärungsanteils wurde die Korrelation zwischen dem Mittel der 31-jährigen Reihen für Sommer und Winter zu dem Mittel aus allen vier Jahreszeiten ermittelt. Aus dem Korrelationskoeffizienten von $r = 0.96$ lässt sich der Erklärungsanteil für die gemeinsame Varianz bestimmen zu $r^2 = 0.92$.

5. *Synthese und Diskussion der Ergebnisse*

Kalibrierung zufällig um eine Stufe variiert. Aus 1000 solcher Reihen wurden STDs für jedes Jahr berechnet. Der angegebene Unsicherheitsbereich umfasst die zweifache STDs.

Die Gütemaße weisen auf eine hohe Rekonstruktionsgüte im Vergleich mit dem GMD auf ($r=0.9$, $CE=0.9$ und $RMSE=0.23^{\circ}\text{C}$). Es fällt jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den Instrumentendaten und der Rekonstruktion um 1800 – 1820 auf. Dieser lässt sich vor allem auf ein ausgeprägtes negatives Wintersignal zurück führen, welches nach dieser Rekonstruktion für diese Zeit den absoluten Tiefpunkt des letzten Jahrtausends darstellt: Um 1800 waren die Winter im Mittel um 2.5°C kälter als um 2000. Grund hierfür dürfte u.a. das deutliche Signal in der Reihe zu Franken sein (Friedrich, M., unveröff., pers. Komm.). Diese Daten sind unveröffentlichte Rohdaten. Da die hier vorgestellten Arbeiten jedoch v.a. methodische Überlegungen betreffen, wurde diese Reihe, mangels Alternativen, in der Rekonstruktion belassen. Eine Verdichtung der Datenlage, d.h. die Bereitstellung mehrerer unabhängiger Datensätze für diese Jahreszeit in diesem Raum ist Ziel weiterer Arbeiten (siehe Ausblick).

Bei Betrachtung des Verlaufs der rekonstruierten Temperaturen fällt der Gegensatz zwischen Sommer- und Wintertemperaturen auf. Die Sommertemperaturen weisen eine hohe und konstante mittelfristige Variabilität auf, welche auch in den letzten 50 Jahren keinen auffälligen positiven Trend zeigt. Hingegen weisen die Wintertemperaturen deutlichere Unterschiede sowohl in der Stabilität der Variabilität als auch im langfristigen Verlauf auf. Vor allem der moderne Temperaturanstieg ist deutlich in den Wintertemperaturen zu sehen. Als Temperaturminimum der Jahrestemperaturen des letzten Jahrtausends fällt neben dem bekannten Maunderminimum um 1700 ein weiteres Minimum um 1600 auf, welches für die Multi-Proxy-Rekonstruktion die Phase der größten Abkühlung markiert.

Die methodischen Überlegungen, welche sich aus der besonderen Natur der historischen Quellen ergeben, können anderen paläoklimatischen Disziplinen helfen, durch Neubewertung der eigenen Daten deren Qualität zu verbessern. Ein wichtiger Perspektivenwechsel stellt die Abkehr von der Suche nach durchgängigen Zeitreihen hin zur Betrachtung von Einzelereignissen dar.

Die vorgestellte Multi-Proxy-Analyse zeigt, dass durch jahresweisen Vergleich unterschiedlicher Proxies die Ableitung einer durchgängigen Reihe und damit eine Beschreibung der mittel- und langfristigen Klimaänderungen möglich ist.

6. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der aktuellen Debatte um den möglichen Einfluss des Menschen auf die Prozesse der Erde gewinnt die Notwendigkeit eines möglichst umfassenden Verständnisses u.a. des Klimasystems an Bedeutung. Durch die Kenntnis möglichst langer, hoch aufgelöster Zeitreihen zu verschiedenen Klimaparametern kann die Güte der Prognosen durch Klimamodelle verbessert werden. Außerdem ermöglichen hoch aufgelöste Analysen eine bessere Abschätzung der regionalen Auswirkungen von Klimaänderungen. Vor diesem Hintergrund hat die Paläoklimatologie in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Mitteleuropa ist reich an schriftlichen Zeugnissen, welche für die letzten 500 Jahre in ausreichender Dichte und Qualität vorliegen, um für nahezu jeden Monat ein differenziertes Bild der Witterung, u.a. der thermischen und hygrischen Bedingungen, zeichnen zu können. Diese Differenzierung erlaubt die Zuordnung der Aussagen zu sieben Intensitätsklassen, welche für die thermischen Angaben von -3 für extrem kalt, über 0 für normale Bedingungen hin zu $+3$ für extrem warm reichen. Für den Zeitraum von $1000 - 1500$ ist eine jahreszeitliche Auflösung mit mindestens dreistufiger $[-1 \ 0 \ 1]$ Bewertung möglich. Diese indexbasierten Bewertungen für die letzten 1000 Jahre wurden durch Glaser (2008) zu einer durchgängigen Reihe zusammengestellt und bilden eine Grundlage der hier vorgestellten methodischen Arbeiten. Die Untersuchungen beziehen sich v.a. auf Hinweise zur Temperatur, die methodischen Überlegungen können jedoch auch auf andere indexbasierte Witterungsangaben erweitert werden.

Eine Ausgangsfrage dieser Arbeit war, ob klassifizierte Angaben aus historischen Quellen mittel- und langfristige Klimaänderungen beschreiben können. Die von Glaser (2008) abgeleitete Indexreihe weist eindeutig einen langfristigen Verlauf auf, in welchem sich bekannte Phasen wie das Mittelalterliche Optimum, die Kleine Eiszeit und der moderne Temperaturanstieg ausmachen lassen. Aus dieser Beobachtung leitet sich unmittelbar die Frage ab, warum sie dazu in der Lage sind, würde man intuitiv doch einen Verlust des langfristigen Signals erwarten, da sich die Wahrnehmung der Chronisten an veränderte Klimabedingungen anpassen würden. Dieser Einschätzung liegt jedoch eine streng statistische Betrachtungsweise zugrunde. In

6. Zusammenfassung

Phasen, deren mittelfristiges Temperaturmittel vom Jahrtausendmittel abweicht, verschieben sich im Mittel zwar statistisch die Temperaturbereiche, welche durch einen Indexschritt beschrieben werden. Werden jedoch die tatsächlichen Temperaturen betrachtet, so zeigt sich, dass die Verschiebung der Mitteltemperaturen für diese Zeitabschnitte bei unter 1°C innerhalb von ca. 50 Jahren liegt. Vor dem Hintergrund einer hohen interannuale Variabilität sowie der hohen Variabilität der Monatsmitteltemperaturen (STDs bis zu 3°C) kann davon ausgegangen werden, dass geringe Verschiebungen der Mitteltemperatur nicht immer wahrgenommen wurden: Ein kalter Winter wurde wohl immer als kalt wahrgenommen. Für das Untersuchungsgebiet kann angenommen werden, dass hier lebende Menschen schon in einem kurzen Zeitabschnitt fast alle möglichen meteorologischen Zustände erleben und sich gleichzeitig der hohen Variabilität bewußt sind. So wie wir heute auch ohne Messwerte durch vergleichende Beschreibungen ein realistisches Bild der Witterung über Raum und Zeit hinweg vermitteln können, waren auch schon früher die Menschen in der Lage, ein kollektives, objektivierbares Gedächtnis zu produzieren und relative Bezüge herzustellen.

Vielmehr ist eine Veränderungen der Sichtweise nötig, Schwankungen der Mitteltemperatur als eine retrospektive Konstruktion zu sehen. Werden mittel- und langfristige Klimaänderungen als Folge von Verschiebungen der Frequenz gleichgerichteter Witterungsanomalien in längeren Zeitabschnitten wahrgenommen, so verlieren die Unsicherheiten, z.B. durch mögliche Adaption der Wahrnehmung bei der Bewertung einzelner Monate oder Jahreszeiten an Bedeutung. Die Unsicherheiten verlieren zusätzlich an Bedeutung, da historische Quellen, anders als natürliche Proxies, Hinweise zu allen Monaten des Jahres liefern und damit eine große Datengrundlage schaffen. Diese Breite der Datenbasis wird durch die Vielzahl und Vielgestaltigkeit der verwendete Daten weiter verstärkt. Die Bewertungen einzelner Monate und Jahreszeiten basieren häufig auf unabhängigen Quellen und sind zudem vereinzelt auch objektivierbar durch die Kopplung der Beobachtungen an physikalisch basierte Hinweise wie das Zufrieren von Gewässern oder phänologische Angaben. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die deskriptiven Informationen ausreichend differenziert sind, um daraus belastbare Intensitätsklassen zu bilden. Diese gilt in besonderem Maße für Zeiten, in welchen viele verschiedene Quellen vorliegen und diese außerdem räumlich differenziert sind.

Eine wichtige Erkenntnis der Untersuchungen ist, dass es prinzipiell möglich ist, mit nur drei Bewertungsklassen in saisonaler Auflösung mittel- und langfristige Schwankungen zu beschreiben. Aus den in diesem Zusammenhang gewonnenen Ergebnissen wurde eine angepasste Methode zur Kalibrierung indexbasierter Informa-

tionen entwickelt: Die durch die Indizes beschriebene Variabilität für längere Zeitabschnitte wird an die gemessene Variabilität längerer Zeitabschnitte angepasst, das sog. *variance scaling*. Da Indizes meist unabhängig voneinander sind, erscheint die Kalibrierung in einem kurzen überlappenden Zeitraum unsinnig, würde dies doch voraussetzen, dass der für diesen Zeitraum zu diesem Datensatz gefundene Zusammenhang auf unabhängige Daten übertragen werden kann. Deshalb ist die Annahme der hier vorgestellten Kalibrierung, dass durch die Mengen an unterschiedlichen verfügbaren (unabhängigen) Quellen für länger Zeiträume die Variabilität des Klimas beschrieben wird. Mit der hierfür entwickelten allgemeinen mathematischen Vorschrift zur Kalibrierung von Indizes in Temperaturen kann umgekehrt auch eine quantitative Abschätzung erfolgen, welchem Temperaturunterschied ein Indexschritt im Mittel entspricht. Durch MC-Simulation wurde u.a. die Unsicherheit abgeschätzt, welche sich durch den Prozess der Indexbildung ergibt. Dabei zeigt sich, dass selbst bei einer Fehldeutung einzelner Monate oder Jahreszeiten um einen Indexschritt das langfristige Signal unberührt bleibt. Da für den Untersuchungsraum sehr hohe monatliche bzw. saisonale Variabilität sowie eine hohe interannuale Variabilität vorliegen, würden Indexfehler durch adaptierte Wahrnehmung nur einzelne Monate oder Jahreszeiten treffen, sicherlich jedoch nicht für alle Monate oder Jahreszeiten eines längeren Zeitraumes zutreffen.

Das Ergebnis der kalibrierten Indexreihe ist eine Rekonstruktion der Temperaturentwicklung für Mitteleuropa für die letzten 1000 Jahre. Darin lassen sich die bekannten klimatischen Phasen wiederfinden und quantifizieren. Danach übersteigen die Jahresmittel seit ca. 1980 die Temperaturen des letzten Jahrtausends. Auffällig ist dabei jedoch, dass dieser Anstieg vor allem auf eine Zunahme der Wintertemperaturen zurückzuführen ist. Die Sommertemperaturen weisen für das letzte Jahrtausend eine gleichbleibende hohe mittelfristige Variabilität auf, welche auch in der Zeit seit ca. 1980 keinen ungewöhnlichen Anstieg aufweist. Ohnehin tragen die Sommertemperaturen aufgrund der kleineren Amplitude ihrer Schwankungen gegenüber den Wintertemperaturen deutlich weniger zum Jahressignal bei. Die Stärke der beobachteten kurz- und mittelfristigen Schwankungen sind keine Besonderheit der Moderne, der langfristige Trend ab ca. 1900 ist jedoch in seiner Stärke einmalig für das letzte Jahrtausend.

Die Möglichkeit zur quantitativen Abschätzung der Aussagekraft einzelner Indizes erlaubte die Entwicklung eines Modells zur Regionalisierung der räumlich verteilten vorliegenden Angaben. Durch diese räumliche Analyse kann die Rekonstruktionsgüte für den gesamten Raum deutlich erhöht werden, da die rekonstruierten Felder klimatische Muster widerspiegeln und es auf diese Weise möglich ist, Informationen

6. Zusammenfassung

verschiedener Regionen so einzubeziehen, dass sie physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Das Modell ist in der Lage, die Größe des Gebietes, für welches die Felder rekonstruiert werden, an die Datenlage und die Repräsentanz der jeweiligen Informationen anzupassen und ist somit auf verschiedene geographische Räume und Klimaparameter anwendbar. Mit dem Regionalisierungsmodell ist ein zusätzliches Werkzeug zur Verifizierung der in den Quellen beschriebenen Angaben verfügbar, welches zudem den Brückenschlag zu natürlichen Proxies ermöglichen kann. Durch die Regionalisierung ist eine präzise Bestimmung der Temperaturen für ausgewählte Räume möglich. Die bei Abschluss dieser Arbeit in der Datenbank HisKliD 2.0 verfügbaren Daten erlauben momentan noch nicht die Ableitung einer belastbaren durchgängigen Temperaturreihe durch Abfrage dieser Datenbank.

Wie gezeigt werden konnte, lässt sich aus der Zusammenführung von dreistufig klassifizierten Hinweisen in saisonaler Auflösung, ein langfristiges Klimasignal ableiten. Diese Möglichkeit der indexbasierten Rekonstruktion wurden in einer Multi-Proxy-Studie auf natürliche Proxies erweitert. Hierfür wurden dendrochronologische Daten sowie quellenbasierte Daten auf dreistufige saisonal aufgelöste Indizes reduziert und durch ein Majoritätsprinzip ein gemeinsames Signal bestimmt. Damit ist es möglich, ein durchgängiges Klimasignal für Mitteleuropa abzuleiten, welches auf einer breiten Datenbasis verschiedener Klimazeiger basiert. Die resultierende Reihe zeigt dabei ebenfalls die bekannten klimatischen Phasen wie das Mittelalterliche Wärmeoptimum, die kleine Eiszeit und den modernen Temperaturanstieg.

Bei der Erstellung von Zeitreihen zur Temperaturentwicklung aus historischen Quellen für mehrere Jahrhunderte ist vorerst die hermeneutische Ableitung nötig, da eine automatische Aggregation bei der aktuellen Datenlage nicht möglich ist. Durch die Einbindung von verschiedenen Proxies, kann die Datendichte deutlich erhöht werden. Wie in der Multi-Proxy-Studie gezeigt wurde, können damit zudem Unsicherheiten, wie die Veränderung der Quellendichte mit der Zeit und die mögliche Anpassung der subjektiven Wahrnehmung an veränderte Klimabedingungen relativiert werden.

Aus der Erkenntnis, dass Indizes ausreichend differenzierte Angaben liefern, um damit sowohl langfristige Veränderungen als auch räumliche Muster abzubilden, lässt sich eine möglicherweise notwendige Veränderung in der paläoklimatischen Forschung für die hier untersuchten Zeiträume formulieren: Die Abkehr von der Suche nach durchgängigen Zeitreihen hin zur Bestimmung glaubhafter Aussagen zu einzelnen Jahreszeiten. Eindeutige Aussagen zu den Bedingungen in den Jahreszeiten ausgewählter Jahre, wie Dürren oder sehr kalte Winter sind für eine Klimarekonstruktion hilfreich, der Rest vieler Signale ist unspezifisches Rauschen.

6.1. Ausblick

Schwerpunkt der Arbeit war die Erstellung eines Methodenwerkes zum Umgang mit indexbasierte Klimainformationen. Um die entwickelten Verfahren anwenden, testen und weiterentwickeln zu können, ist eine Erweiterung der Datengrundlage wichtige Voraussetzung. Die Anbindung von HisKliD 2.0 an andere Datenbanksysteme und die Implementierung in einer Institution, welche den dauerhaften Fortbestand und Pflege der Daten sicherstellt ist eine weitere unbedingte Zielvorgabe, um den wertvollen Datenbestand zu sichern. Für die Verwaltung der bibliographischen Angaben bietet sich der Anschluß an ein Bibliothekensystem an, für die Verwaltung der räumlichen Angaben kann der Anschluss an entsprechende Datenbanken relevant sein.

Um die Rekonstruktionsgüte der Kalibrierung nach Kriterien der paläoklimatischen Forschung quantifizieren zu können, müssen die Indexreihen eine lange Überlappung mit modernen Instrumentendaten aufweisen. Hierfür ist die Verlängerung der Indexreihen zur Temperatur für Mitteleuropa bis mindestens 1900 notwendig. Der in HisKliD 2.0 vorhandene Datenbestand muss ebenfalls erweitert werden, um kontinuierliche Reihen abfragen zu können und diese mit Hilfe des entwickelten Regionalisierungsmodells zusammenzuführen zu können. Die Erweiterung auf andere geographische Räume (Alpen, England, Naher Osten) ist eine weitere Herausforderung, v.a. da für Gebiete mit deutlich anderer klimatischer Prägung als in Mitteleuropa die Annahmen zur wahrgenommenen Variabilität des Klimas überprüft werden müssen.

Durch Erweiterung des Datenbestandes um Proxies anderer Disziplinen können Weiserjahre definiert werden und damit eine Zusammenführung unterschiedlicher Proxies mit Hilfe der vorgestellten Multi-Proxy-Synthese oder des Regionalisierungsmodells ermöglicht werden. Nach entsprechender Bereitstellung einer ausreichend breiten Datenbasis, lassen sich dann die Fehler der Multi-Proxy-Synthesereihe und des Regionalisierungsmodells besser abschätzen.

Obschon in dieser Arbeit nur Angaben zur Temperatur Verwendung fanden, sind die vorgestellten Methoden prinzipiell in der Lage, mit Informationen zum Niederschlag umzugehen. Für monatliche oder saisonal aufgelöste hygrische Angaben lassen sich ebenfalls ähnliche Eigenschaften der Häufigkeitsverteilung feststellen. Weitere Arbeiten hierzu sind aber notwendig, v.a. da die räumlichen Bezüge der Informationen häufig deutlich kleiner sind.

6.2. Summary

Against the backdrop of the current debate on the size of the anthropogenic contributions to a range of natural processes, the task of gaining a comprehensive understanding of the global climate system assumes an especial urgency. By exploiting information derived from long-term, high-resolution time series representing a range of climate parameters, the predictive power of climate models can be improved. Moreover, high resolution analyses enable improved estimates of the regional effects of climate change. In this context, the discipline of Paleoclimatology has played an increasingly significant role in recent times.

The ubiquity and quality of text-based historical sources in Central Europe enables a very fine-timescale description of local weather conditions for the last 500 years (comprising, for example, thermal and hygric information), almost without exception down to a monthly resolution. The sources in this period are sufficiently rich in content to permit a summary into seven temperature classes, ranging from -3 (extremely cold) to 0 (normal), to $+3$ (extremely warm). For the earlier period 1000-1500, the data is more sparse and only a yearly resolution is possible in general; nonetheless, individual sources can sensibly be assigned one of the three index values $[-1, 0, 1]$ (corresponding to „cold“, „normal“ and „hot“). This collection of index values was integrated by Glaser (2008) into a continuous time series, which represents the fundamental data source of the present work. Although the investigations are principally devoted to temperature reconstruction, the methods developed herein are quite general, and can equally be used to reconstruct other weather parameters from corresponding index values.

One of the initial questions of this thesis was whether such historical sources can provide an adequate medium- and long-term description of climate change. In the index series derived by Glaser (2008), one observes long-term behaviour clearly corresponding to certain well-known climatic phases, such as the Mediaeval Optimum, Little Ice Age and modern temperature increase. But why are such historical sources at all in a position to describe long-term signals? If anything, one would intuitively expect a loss of long-term signal, on the assumption that the perceptions of chroniclers would adapt to the prevailing temperatures of the day (Thus for example, a winter recorded as „warm“ in a cold period may be in terms of average temperature equivalent to a winter described as „cold“ in a warm period). This expectation, however, is based on a strictly statistical approach. In periods in which the average temperature value deviates from the total average over the whole millennium, the statistically defined boundaries of the temperature classes that are described by one

index step may be shifted on average. If, however, one considers the absolute temperature values, then it turns out that the shift in average temperature value for these time intervals is on average less than 1°C . Given both the high interannual and average monthly temperature variabilities (STDs of up to 3°C), we can assume that the shift in average temperature was not always noticed: A cold winter has always been perceived as a cold winter throughout the millennium.

In fact a change in outlook is necessary in order to view fluctuations in average temperature as a retrospective construction. If one perceives medium- and long-term climate changes as a consequence of fluctuations in the frequency of unidirectional temperature anomalies over a longer time period, then uncertainties in the index values of particular months or years are qualified. Statistical uncertainty is further diminished by the fact that historical sources, in contrast to other climate proxies, frequently contain explicit references to all individual months in a given year, which multiplies the amount of data available. The extensiveness of the data set is further enhanced by the multitude of sources it contains, as well as their diverse provenance - the values attached to individual years and months are frequently derived from several independent sources. Moreover, even from individual sources it is often possible to derive rough objective estimates of temperature from descriptions of physical events such as the freezing of a body of water, or phenological details. It is therefore concluded that the climate descriptions contained in the historical sources are sufficiently finely differentiated that one can characterise them with index values in a reasonably systematic manner. This assertion is especially valid for those periods in which numerous sources from a wide spread of regions are available. We can moreover assume that the inhabitants of the region under investigation experienced within a relatively short time span more or less the full gamut of weather conditions, and were therefore aware of the high variability in average temperature.

An important finding of the present investigation is the realisation that one can describe medium- and long-term climate fluctuations with only three seasonally resolved index classes. In this context, a suitable method for the calibration of index data was used: specifically, the index variability over longer-term periods was scaled to match measured variability for the same periods, a process known as *variance scaling*. A general mathematical rule was derived, which in turn also allows a quantitative estimate of the temperature anomalies related to one index step. The uncertainty arising from this transition to index classes can be estimated by means of MC-simulations. This estimation demonstrates that the long-term signal remains clearly recognisable, even in the presence of spurious index values for individual years or months. Due to the very high monthly and seasonal variabilities of the

6. Zusammenfassung

region of investigation, as well as the high interannual variability, erroneous index values resulting from adapted perceptions of the chroniclers will apply perhaps to individual years and months, but by no means to all data points over a long time period.

The result of the calibrated index series is a temperature reconstruction for Central Europe for the last 1000 years, in which the major climate trends can be recognised and quantified. For example, it is evident from this reconstruction that the yearly average temperature in the region since 1980 has consistently exceeded the average across the millennium. It is however noteworthy that this increase is primarily attributable to a growth in winter temperatures. The summer temperatures over the last thousand years exhibit a consistently high variability, a pattern which is also to be found in the period since 1980. Nonetheless, summer temperature anomalies contribute significantly less than winter temperature anomalies to the overall signal, owing the lower amplitude of their variability. Measured with respect to the magnitude of temperature fluctuations, the temperature increase since 1900 is unparalleled. The size of the observed short- and medium-term fluctuations are however by no means unique to modern times.

The quantitative estimation in °C of the information given by individual indices opens up the possibility of developing a statistical model to regionalize index-based climate information for Central Europe, reflecting the spatial distribution of the data sources. Moreover, the accuracy of the reconstructed signal for the entire area can be substantially increased, because the reconstructed fields are a more faithful reflection of realistic climatic patterns. In this way it is possible to realistically incorporate information from different regions and thereby more precisely determine the temperatures of selected regions. Therefore, the model can be also used to verify the statements made in the historical sources using climatological criteria. At the time of writing, there is no query function available in the HisKliD 2.0 database enabling the construction of a continuous index series. Although such a model could in future play a role in bridging the various sub-disciplines of climate reconstruction, this aspect is not considered due to the present limitations of the database.

The viability of index-based climate reconstruction is examined by means of a multi-proxy study, in which several sets of dendrochronological and historical source-based data sets are each reduced to a time series consisting of three-valued, seasonally resolved indices. A common signal is then extracted from the time series by means of a majority principal: it is assumed for example to be warm when most of the time series agree this is so. In this manner a continuous climate signal was derived

for Central Europe, based on a broad data set comprising several different climate indicators.

Indices represent a sufficiently variegated source of information to describe not only long-term climate change on a region-wide basis, but also accurately represent localised weather patterns. This result has possible ramifications for paleoclimatological research for time periods of millennial length: armed with this information as a basis, research efforts can be shifted away from the accrual of new data to construct continuous time series, to more targeted investigations aiming to verify or discredit assertions derived from time series about weather at particular points in time. Taken collectively, such distinctive individual events enable the derivation of a long-term climate signal. Distinctive descriptions of seasonal conditions in a chosen year, like for example the presence of droughts or very cold winters, are very helpful for climate reconstruction, while much of the rest of the signal is simply noise.

Literaturverzeichnis

- ADRIAN, G.: Die neue Modellkette des DWD. In: *Promet* 27 (2002), Nr. 3/4, S. 105–185
- ALEXANDRE, P.: *Le climat en Europe au Moyen Âge*. Paris : Éditions de l'Ecole des Hautes Études en Sciences Sociales, 1987
- ARISTOTELES; THE UNIVERSITY OF ADELAIDE LIBRARY (Hrsg.): *Meteorology (translated by E. W. Webster)*. Adelaide : Kessinger Pub. Co., 2004
- BAHRENBERG, G.; GIESE, E.; MEVENKAMP, N.; NIPPER, J.: *Statistische Methoden in der Geographie*. Bd. 1+2. Berlin, Stuttgart : Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2008
- BARD, E.; RAISBECK, G.; YIOU, F.; JOUZEL, J.: Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides. In: *Tellus* 52B (2000), S. 985–992
- BARRIENDOS, M.; LLASAT, M. C.: The case of the Maldá-anomaly in the Western Mediterranean Basin (AD 1760–1800): An example of a strong climatic variability. In: *Climatic Change* 61 (2003), S. 191–216
- BECK, C.: Zirkulationsdynamische Variabilität im Bereich Nordatlantik-Europa seit 1780. In: BÖHN, D.; HAGEDORN, H.; JÄGER, H.; WAGNER, H.-G. (Hrsg.): *Würzburger Geographische Arbeiten* Bd. 95. Würzburg : Selbstverlag des Instituts für Geographie der Universität Würzburg, 2000
- BEHRINGER, W.: *Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung*. München : Beck, 2007
- BEHRINGER, W.; LEHMANN, H.; PFISTER, C.: *Kulturelle Konsequenzen der „Kleinen Eiszeit“*. Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 2005
- BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A.: *A manual for EOF and SVD analysis of climate data*. Montreal: Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Centre for Climate and Global Change Research, McGill University, 1997

Literaturverzeichnis

- BÜNTGEN, U.; ESPER, J.; FRANK, D. C.; NICOLUSSI, K.; SCHMIDHALTER, M.: A 1052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures. In: *Climate Dynamics* 25 (2005), S. 141–153
- BRADLEY, R.: Palaeoclimatology. In: *International Geophysics Series* Bd. 64. London : Academic Press, 1999
- BRADLEY, R. S.; JONES, P. D.: *Climate since A.D. 1500*. London, New York : Routledge, 1995
- BÜRGER, G.: On the verification of climate reconstructions. In: *Climate of the Past* 3 (2007), S. 349–409
- BÜRGER, K.; SEIDEL, J.; GLASER, R.; SUDHAUS, D.; DOSTAL, P.; MAYER, H.: Extreme floods of the 19th century in southwest Germany. In: *La Houille Blanche* 1 (2007), S. 67–73
- BRUMME, B.: Methoden zur Bearbeitung historischer Meß- und Beobachtungsdaten Berlin und Mitteldeutschland 1683-1770. In: *Meteorology and Atmospheric Physics* 29 (1981), Nr. 1-2, S. 191–210
- BRÁZDIL, R.; PFISTER, C.; WANNER, H.; STORCH, H. von; LUTERBACHER, J.: Historical Climatology in Europe – the state of the art. In: *Climatic Change* 70 (2005), S. 363–430
- CAMUFFO, D.: Analysis of the sea surges at Venice from A.D. 782 to 1900. In: *Theoretical and Applied Climatology* 47 (1993), S. 1–14
- CAMUFFO, D.: History of the long series of daily air temperature in Padova (1725-1998). In: *Climatic Change* 53 (2004), S. 7–75
- CAMUFFO, D.; ENZI, S.: The climate of Italy from 1675 to 1715. In: FRENZEL, B. (Hrsg.): *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715* Bd. 8. Stuttgart : Fischer Verlag, 1994, S. 243–254
- CAMUFFO, D.; ENZI, S.: Climatic features during the Spörer and Maunder minima. In: FRENZEL, B. (Hrsg.): *Solar Output and Climate during the Holocene*. Stuttgart : Fischer Verlag, 1995, S. 105–125
- CAMUFFO, D.; ENZI, S.: The analysis of two bi-millenary series: Tiber and Po river floods. In: JONES, P. D.; BRADLEY, R. S.; JOUZEL, J. (Hrsg.): *Climatic variations and forcing mechanism of the last 2000 years* Bd. 41. Stuttgart : Springer Verlag, 1996, S. 433–450

- COMMITTEE ON SURFACE TEMPERATURE RECONSTRUCTIONS FOR THE LAST 2000 YEARS: *Surface temperature reconstructions for the last 2,000 years*. Washington: National Academy of Sciences, 2006
- COOK, E. R.; MEKO, D. M.; STAHLE, D. W.; CLEAVELAND, M. K.: Drought Reconstructions for the Continental United States. In: *Journal of Climate* 12 (1999), S. 1145–1162
- CORTI, S.; MOLteni, F.; PALMER, T. N.: Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. In: *Nature* 398 (1999), Nr. 6730, S. 799–802
- DEUTSCH, M.; GLASER, R.; PÖRTGE, K.-H.; BÖRNGEN, M.; DRESCHER, A.; MARTIN, B.; RIEMANN, D.; SCHÖNBEIN, J.: Historische Hochwasserereignisse in Mitteleuropa. In: *Geographische Rundschau* 3 (2010), S. 18–24
- DIAMOND, J.: *Collapse. How societies choose to fail or succeed*. New York : Viking Press, 2005
- DOBROVOLNÝ, P.; MOBERG, A.; PFISTER, C.; BRÁDZIL, R.; GLASER, R.; WILSON, R.; ENGELN, A. van; LIMANÓWKA, D.; KISS, A.; HALÍCKOVÁ, M.; MACKOVÁ, J.; RIEMANN, D.; LUTERBACHER, J.; BÖHM, R.: Monthly and seasonal temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. In: *Climatic Change* 101 (2009), S. 69–107
- DOSTAL, P.; BÜRGER, K.; SEIDEL, S.; GLASER, R.; MAYER, H.; IMBERY, F.; RIEMANN, D.: Lernen aus der Vergangenheit: Historische Hochwasseranalyse – ein Beitrag für den heutigen Hochwasserschutz. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde* 81 (2007), Nr. 3, S. 233–245
- DWD: *Die Großwetterlagen Europas*. <http://www.dwd.de/GWL>. Version: 1.7. 2010
- EASTON, C.: *Les hivers dans l'Europe occidentale*. Leyden : Royal Academy of Science of Amsterdam, 1928
- ENDLICHER, W.; GERSTENGARBE, F. W.: *Der Klimawandel*. Berlin : Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut, 2007
- ENGELN, A. F.; BUISMAN, J.; IJNSEN, F.: Reconstruction of the Low countries temperature series AD 764-1998. In: MIKAMI, T. (Hrsg.): *International Conference on Climate Change and Variability - Past, Present and Future*. Tokyo : Tokyo Metropolitan University, 2000, S. 151–157

Literaturverzeichnis

- ENGELN, A. F.; BUISMAN, J.; IJNSEN, F.: A millennium of weather, winds and water in the Low Countries. In: JONES, P. D.; OGILVIE, A. E. J.; DAVIES, T. D.; BRIFFA, K. R. (Hrsg.): *History and climate: Memories of the future?* New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001, S. 101–124
- ESPER, J.; WILSON, R.; FRANK, D.; MOBERG, A.; WANNER, H.; LUTERBACHER, J.: Climate: past ranges and future changes. In: *Quaternary Science Reviews* 24 (2005), S. 2164–2166
- FRIEDRICH, M.: Dendrochronologische Datierung von Almen des östlichen Dachsteinplateaus. In: CERWINKA, G.; MANDL, F. (Hrsg.): *Dachstein. Vier Jahrtausende Almen im Hochgebirge* Bd. 2. Haus i. E., 1998 (Mitteilungen der ANISA), S. 71–94
- GE, Q.; ZHENG, J.; FANG, X.; ZHANG, X.; ZHANG, P.: Winter half-year temperature reconstruction for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China, during the past 2000 years. In: *Holocene* 13 (2003), S. 933–940
- GE, Q.; ZHENG, J.; ZHANG, X.: 2000 Years of Temperature History in China. In: *PAGES Newsletter* 10 (2002), S. 18–21
- GEBHARDT, H.; GLASER, R.; RADTKE, U.; REUBER, P.: *Geographie - Physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2006
- GLASER, R.: *Klimageschichte Mitteleuropas: 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Bd. 1. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2001
- GLASER, R.: *Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Darmstadt : Primus Verlag, 2008
- GLASER, R.: *Historische Klimadatenbank Deutschland (HisKliD)*. <http://www.hisklid.de>. Version: 1.7. 2010
- GLASER, R.; BECK, C.; STANGL, H.: Zur Temperatur- und Hochwasserentwicklung der letzten 1000 Jahre in Deutschland. In: *DWD Klimastatusbericht 2003* (2004), S. 55–67

- GLASER, R.; RIEMANN, D.: Klimageschichte im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit in Südwestdeutschland im Kontext mitteleuropäischer Klimaentwicklung. In: LORENZ, S.; RÜCKERT, P. (Hrsg.): *Landnutzung und Landschaftsentwicklung im deutschen Südwesten - zur Umweltgeschichte im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit*. Stuttgart : W. Kohlhammer Verlag, 2009 (Reihe B), S. 219–232
- GLASER, R.; RIEMANN, D.: A thousand-year record of climate variations for Germany and Central Europe based on documentary data. In: *Journal of Quaternary Science* 24 (2009), S. 437–449
- GLASER, R.; RIEMANN, D.; SCHÖNBEIN, J.; BARRIENDOS, M.; BRÁZDIL, R.; BERTOLIN, C.; CAMUFFO, D.; DEUTSCH, M.; DOBROVOLNÝ, P.; ENGELEN, A. van; ENZI, S.; HALÍCKOVÁ, M.; KOENIG, S.; KOTYZA, O.; LIMANÓWKA, D.; MACKOVÁ, J.; SGHEDONI, M.; MARTIN, B.; HIMMELSBACH, I.: The variability of European floods since AD 1500. In: *Climatic Change* 101 (2010), S. 235–256
- GLASER, R.; RIEMANN, D.; SCHÖNBEIN, J.; FRIEDRICH, M.; LAND, A.: Klimawandel im 15. und 16. Jahrhundert im deutschen Südwesten im Kontext von Gesellschafts- und Naturarchiven. In: SCHOLKMANN, B.; FROMMER, S.; VOSSLER, C.; WOLF, M. (Hrsg.): *Zwischen Tradition und Wandel - Archäologie des 15. und 16. Jahrhunderts*. Tübingen : Dr. Faustus, 2008 (Tübinger Forschungen zur historischen Archäologie), S. 493–500
- GLASER, R.; STANGL, H.: Historical floods in the Dutch Rhine Delta. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3 (2003), S. 605–613
- GONZÁLEZ-ROUCO, J. F.; BELTRAMI, H.; ZORITA, E.; STORCH, H. von: Simulation and inversion of borehole temperature profiles in surrogate climates: Spatial distribution and surface coupling. In: *Geophysical Research Letters* 33 (2006), S. L01703
- GROTZFELD, H.: Klimageschichte des Vorderen Orients 800-1800 A.D. nach arabischen Quellen. In: *Würzburger Geographische Arbeiten* 80 (1991), S. 21–43
- HELLMANN, G.: *Repertorium der deutschen Meteorologie: Leistungen der Deutschen in Schriften, Erfindungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Meteorologie und des Erdmagnetismus von den ältesten Zeiten bis zum Schlusse des Jahres 1881*. Leipzig : Engelmann, 1883
- HENSE, A.: Klimavariabilität durch interne Wechselwirkungen. In: *Promet* 28 (2002), Nr. 3/4, S. 108–116

Literaturverzeichnis

- HUTH, R.: An intercomparison of computer-assisted circulation classification methods. In: *International Journal of Climatology* 16 (1996), S. 893–922
- JACOBET, J.; DÜNKELOH, A.: Zirkulationsdynamik mediterraner Niederschlagschwankungen - kanonische Korrelationsanalyse für das Winterhalbjahr seit Mitte des 20. Jahrhunderts. In: CHMIELEWSKI, F.-M.; FOKEN, T. (Hrsg.): *Beiträge zur Klima- und Meeresforschung*. Berlin, Bayreuth, 2003, S. 39–49
- JACOBET, J.; GLASER, R.; LUTERBACHER, J.; WANNER, H.: Links between flood events in Central Europe since AD 1500 and large-scale atmospheric circulation modes. In: *Geophysical Research Letters* 30 (2002), Nr. 4, S. 21.1–21.4
- JACOBET, J.; WANNER, H.; KOSLOWSKI, G.; GUDD, M.: European surface pressure patterns for months with outstanding climatic anomalies during the sixteenth century. In: *Climatic Change* 43 (1999), S. 201–221
- JONES, P. D.; BRIFFA, K. R.; OSBORN, T. J.; LOUGH, J. M.; OMMEN, T. D.; VINTHER, B. M.; LUTERBACHER, J.; WAHL, E. R.; ZWIERS, F. W.; MANN, M. E.; SCHMIDT, G. A.; AMMANN, C. M.; BUCKLEY, B. M.; COBB, K. M.; ESPER, J.; GOOSSE, H.; GRAHAM, N.; JANSEN, E.; KIEFER, T.; KULL, C.; KUTTEL, M.; MOSLEY-THOMPSON, E.; OVERPECK, J.T.; RIEDWYL, N.; SCHULZ, M.; TUDHOPE, A. W.; VILLALBA, R.; WANNER, H.; WOLFF, E.; XOPLAKI, E.: High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. In: *The Holocene* 19 (2009), Nr. 1, S. 3–49
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F.: World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. In: *Meteorologische Zeitschrift* 15 (2006), S. 259–263
- KÜTTEL, M.; XOPLAKI, E.; GALLEGÓ, D.; LUTERBACHER, J.; GARCÍA-HERRERA, R.; ALLAN, R.; BARRIENDOS, M.; JONES, P.; WHEELER, D.; WANNER, H.: The importance of ship log data: reconstructing North Atlantic, European and Mediterranean sea level pressure fields back to 1750. In: *Climate Dynamics* 34 (2009), S. 1115–1128
- LAMB, H. H.: *Climate: Present, past and future*. Bd. 2. London : Methuen, 1977
- LAMB, H. H.; LINNEPE, E. (Hrsg.): *Klima und Kulturgeschichte : der Einfluß des Wetters auf den Gang der Geschichte*. Reinbek bei Hamburg : Rowohlt-Taschenbuch-Verl., 1989

- LE ROY LADURIE, E.: *Les paysans de Languedoc*. Flammarion, 1966
- LE ROY LADURIE, E.: *Histoire du climat depuis l'an mil*. Paris : Flammarion, 1983 (Nouvelle Bibliothèque scientifique)
- LEIJONHUFVUD, L.; WILSON, R.; MOBERG, A.; SÖDERBERG, J.; RETSÖ, D.; SÖDERLIND, U.: Five centuries of winter/spring temperatures in Stockholm reconstructed from documentary evidence and instrumental observations. In: *Climatic Change* 101 (2008), S. 109–141
- LESER, H.: *Wörterbuch Allgemeine Geographie*. München : dtv, 1997
- LORENZ, E.: *Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction*. Cambridge : Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Meteorology, 1956
- LORENZ, E.: Problem to deduce the climate from the governing equations. In: *Tellus* XVI (1964), S. 1–11
- LUTERBACHER, J.; DIETRICH, D.; XOPLAKI, E.; GROSJEAN, M.; WANNER, H.: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. In: *Science* 303 (2004), S. 1499–1503
- LUTERBACHER, J.; KOENIG, S.; FRANKE, J.; VAN DER SCHRIER, G.; ZORITA, E.; MOBERG, A.; JACOBET, J.; DELLA-MARTA, P.; KÜTTEL, M.; XOPLAKI, E.; WHEELER, D.; RUTISHAUSER, T.; STÖSSEL, M.; WANNER, H.; BRÁZDIL, R.; DOBROVOLNÝ, P.; CAMUFFO, D.; BERTOLIN, C.; ENGELEN, A. van; GONZALEZ-ROUCO, F.; WILSON, R.; PFISTER, C.; LIMANÓWKA, D.; NORDLI, Ø.; LEIJONHUFVUD, L.; SÖDERBERG, J.; ALLAN, R.; BARRIENDOS, M.; GLASER, R.; RIEMANN, D.; HAO, Z.; ZEREFOS, C.: Circulation dynamics and its influence on European and Mediterranean January-April climate over the past half millennium: results and insights from instrumental data, documentary evidence and coupled climate models. In: *Climatic Change* 101 (2010), S. 201–234
- LUTERBACHER, J.; XOPLAKI, E.; DIETRICH, D.; JONES, P. D.; DAVIES, T. D.; PORTIS, D.; GONZALEZ-ROUCO, J. F.; STORCH, H. von; GYALISTRAS, D.; CASTY, C.; WANNER, H.: Extending North Atlantic oscillation reconstructions back to 1500. In: *Atmospheric Science Letters* 2 (2001), Nr. 1-4, S. 114–124
- LUTERBACHER, J.; XOPLAKI, E.; DIETRICH, D.; RICKLI, R.; JACOBET, J.; BECK, C.; GYALISTRAS, D.; SCHMUTZ, C.; WANNER, H.: Reconstruction of sea level pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500. In: *Climate Dynamics* 18 (2002), Nr. 7, S. 545–561

Literaturverzeichnis

- MANN, M. E.; JONES, P. D.: Global surface temperatures over the past two millennia. In: *Geophysical Research Letters* 30 (2003), S. 5.1–5.5
- MAUELSHAGEN, F.: *Klimageschichte der Neuzeit*. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2010 (Geschichte Kompakt)
- MEIER, N.; RUTISHAUSER, T.; PFISTER, C.; WANNER, H.; LUTERBACHER, J.: Grape harvest dates as a proxy for Swiss April to August temperature reconstructions back to AD 1480. In: *Geophysical Research Letters* 34 (2007), S. L20705
- MILITZER, S.; GLASER, R.: Die Thüringische Sintflut von 1613. Szenarium - Schadensbild - Katastrophenmanagement. In: *Zeitschrift des Vereins für thüringische Geschichte* 48 (1994), S. 69–92
- MITCHELL, D.; JONES, P. D.: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. In: *International Journal of Climatology* 25 (2005), Nr. 6, S. 693–712
- MOBERG, A.; DMITRY, M.; SONECHKIN, K.; HOLMGREN, N.; DATSENKO, M.; WIBJÖRN, K.: Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. In: *Nature* 433 (2005), Nr. 7026, S. 613–617
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.: River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. In: *Journal of Hydrology* 10 (1970), S. 282–290
- NEW, M.; HULME, M.; JONES, P.: Representing twentieth-century space? Time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. In: *Journal of Climate* 13 (2000), S. 2217–2238
- NOAA: *National Oceanic and Atmospheric Administration: Paleoclimatology*. <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/>. Version: 1.7. 2010
- NORLIND, A.: Einige Bemerkungen über das Klima der historischen Zeit nebst einem Verzeichnis mittelalterlicher Witterungserscheinungen. In: *Lunds Universitets Arsskrift* 10 (1914), S. 8–9
- PAULING, A.; LUTERBACHER, J.; CASTY, C.; WANNER, H.: Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. In: *Climate Dynamics* 26 (2006), S. 387–405
- PERTZ, G. H.: *Monumenta Germaniae Historica*. Bd. 1–3. Hannover : Verlag Weidmann, 1826

- PETERSON, T. C.; VOSE, R.; SCHMOYER, R.; RAZUVAËV, V.: Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data. In: *International Journal of Climatology* 18 (1998), S. 1169–1179
- PFISTER, C.: *Wetternachhersage*. Bern : Haupt, 1999
- PFISTER, C.; BRÁDZIL, R.; GLASER, R.: Climatic variability in sixteenth century Europe and its social dimension. In: *Climatic Change* 43 (1999), S. 5–53
- PFISTER, C.; DIETRICH-FELBER, U.: *Euro-Climhist. A Data-Base on past Weather and Climate in Europe and its Human Dimension*. <http://www.euroclimhist.com>. Version: 1.7. 2010
- PILGRAM, A.: *Untersuchungen über das Wahrscheinliche der Wetterkunde durch vieljährige Beobachtungen*. Wien : Kurzbeck, 1788
- PÖTZSCH, C. G.: *Chronologische Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbstroms seit tausend und mehr Jahren*. Bd. 1. Dresden : Walther, 1786
- RAHMSTORF, S.: Das ungeliebte Weder-Noch. In: *Die Zeit* 7 (2005), S. 33
- RAPP, J.: *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*. Bd. 212: *Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland*. Offenbach : Deutscher Wetterdienst, 2000
- RAPP, J.; SCHÖNWIESE, C.-D.: Niederschlags- und Temperaturtrends in Baden-Württemberg 1955-1994 und 1895-1994. In: LEHN, H. (Hrsg.): *Wasser - Die elementare Ressource* Bd. 52. Stuttgart : Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, 1995
- SCHÖNWIESE, C.-D.: *Globaler und regionaler Klimawandel. Eine aktuelle wissenschaftliche Übersicht*, 2005
- SCHÖNWIESE, C.-D.; JANOSCHITZ, R.: Klima-Trendatlas Deutschland 1901-2000. In: *Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main*. Frankfurt : Eigenverlag des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main, 2005
- SCHWEINGRUBER, F.; ECKSTEIN, D.; SERRE-BACHET, F.; BRÄKER, O.: Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. In: *Dendrochronologia* 8 (1990), S. 9–39

Literaturverzeichnis

- SENN, M. A.: Die Sorge ums Klima wird überverkauft. In: *Neue Züricher Zeitung* (2003), 31. August, S. 28–29
- SIROCKO, F.: *Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung*. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2009
- SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L.: *The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press, 2007
- STERN, N.: *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge : Cambridge University Press, 2007
- STORCH, H. von; GÜSS, S.; HEIMANN, M.: *Das Klimasystem und seine Modellierung*. Berlin : Springer, 1999
- STORCH, H. von; NAVARRA, A.: *Analysis of climate variability: Applications of statistical techniques*. Berlin : Springer, 1999
- STORCH, H. von; ZWIERS, F. W.: *Statistical analysis in climate research*. Bd. 1. Cambridge : University Press, 1999
- STURM, K.; GLASER, R.; JACOBET, J.; DEUTSCH, M.; BRÁZDIL, R.; PFISTER, C.; LUTERBACHER, J.; WANNER, H.: Hochwasser in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 145 (2001), Nr. 6, S. 18–27
- WANG, P.; ZHANG, D.: In introduction into some historical governmental weather records of China. In: *American Meteorological Society* 1969 (1988), S. 753–758
- WATTENBACH, W.; DÜMLER, E.; HUF, F.: *Deutschlands Geschichtsquellen im Mittelalter*. Bd. 1 + 2: *Frühzeit und Karolinger*. Essen : Magnus, 1991
- WILSON, R. A.; BROHAN, P.; BRIFFA, K.; OSBORN, T.; TETT, S.: Two-hundred-fifty years of reconstructed and modeled tropical temperatures. In: *Journal of Geophysical Research* 111 (2006), S. C10007
- YARNAL, B.: *Synoptic climatology in environmental analysis*. London : Belhaven Press, 1993

ZORITA, E.; MOBERG, A.; LEIJONHUFVUD, L.; WILSON, R.; BRÁZDIL, R.; DOBROVOLNÝ, P.; LUTERBACHER, J.; BÖHM, R.; PFISTER, C.; RIEMANN, D.; GLASER, R.; SÖDERBERG, J.; GONZALEZ-ROUCO, F.: European temperature records of the past five centuries based on documentary/instrumental information compared to climate simulations. In: *Climatic Change* 101 (2010), S. 143–168

Anhang

A. Statistische Gütemaße

Für die folgenden Darstellungen wird angenommen, dass y_i der (gemessene) Wert zum Zeitpunkt t und $\hat{y}_i$ der rekonstruierte Wert zu diesem Zeitpunkt ist.

Mittlerer quadratischer Fehler

Der mittlere quadratische Fehler, engl. *mean squared error* (MSE) wird wie folgt berechnet:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist der Zeitraum, über welchen summiert wird entweder die Kalibrierungs- oder die Verifizierungsphase mit insgesamt N Zeitpunkten. Der MSE liefert die Information, inwieweit die rekonstruierten Werte im Durchschnitt von den gemessenen Werten abweichen, ohne dass sich dabei die positiven und negativen Abweichungen gegenseitig ausgleichen können (Committee on surface temperature reconstructions for the last 2000 years, 2006). Der ideale Wert wäre folglich 0. Dabei werden größere Abweichungen stärker gewichtet als kleinere Abweichungen.

Der **RMSE** ist die Wurzel aus dem MSE und wird häufig als Standardfehler (*standard error* SE) verwendet (Zorita u. a., 2010). Er wird in Einheiten der untersuchten Werte ausgedrückt.

Korrelation

Der *Korrelationskoeffizient* (nach Pearson) ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen (Bahrenberg u. a., 2008).

$$r = \frac{\sum_i^N (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_i^N (y_i - \bar{y})^2 (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}} \quad (\text{A.2})$$

Er kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Bei einem Wert von $+1$ (bzw. -1) besteht ein vollständig positiver (bzw. negativer) linearer Zusammenhang. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert 0 aufweist, besteht kein linearer Zusammenhang, es kann jedoch eine nicht-lineare Beziehung bestehen.

Bei einfacher Regression kann das als Bestimmtheitsmaß bezeichnete r^2 berechnet werden:

$$r^2 = \frac{\left[\sum_i^N (y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}) \right]^2}{\sum_i^N (y_i - \bar{y})^2 (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2} \quad (\text{A.3})$$

Das Bestimmtheitsmaß r^2 ist der durch die Regression von $\hat{y}$ nach y „erklärte“ Varianzteil von Y Bahrenberg u. a. (2008). Der Koeffizient kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, dabei wird bei optimaler Korrelation der Wert 1.0 angenommen. Es ist anzumerken, dass eine optimale Korrelation auch bei unterschiedlichen Mittelwerten (y und x) erreicht werden kann. Dies bedeutet, auch bei parallel verschoben Kurven auf der Ordinate wird das höchste Maß erreicht.

Coefficient of efficiency

Die Modelleffizienz *coefficient of efficiency* (CE) wurde von Nash u. Sutcliffe (1970) vorgeschlagen und hat sich als ein gängiges Gütekriterium durchgesetzt. Der CE kann als „Ausdruck des wahren r^2 einer Regressionsgleichung, welche auf neue Daten angewendet wird“ (Wilson u. a., 2006) verstanden werden:

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist $\bar{y}$ der Mittelwert der gemessenen Werte in der Verifizierungsperiode. Der CE vergleicht die Summe der quadrierten Residuen (Reste) gegenüber der Rekonstruktion (also die Differenz zwischen Instrumentendaten und Rekonstruktion) mit der Summe der quadrierten Residuen gegenüber dem Mittelwert der Instrumentenmessung im Validierungszeitraum. Er reicht von $-\infty$ bis 1, was für perfekte Vorhersage steht. Ein Wert von Null bedeutet, dass die Abweichungen zwischen Rekonstruktion und Validierungsdaten ebenso groß sind, wie wenn als Referenzwert der Mittelwert verwendet würde. Das bedeutet, dass statt der Rekonstruktion ebenso der Mittelwert verwendet werden könnte. Positive Werte bedeuten somit Rekonstruktionsfähigkeit.

Der CE wird in der Verifizierungsperiode verwendet, für die Kalibrierungsperiode findet der *reduction of error* (RE) Anwendung (Cook u. a., 1999; Bürger u. a., 2007).

Reduktion of error

Der *reduction of error* (RE) wird berechnet:

$$RE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist $\bar{y}$ der Mittelwert der gemessenen Werte in der Kalibrierungsphase. Der RE ist ein Maß, um zu testen, ob die Rekonstruktion besser ist, als einfach nur den Mittelwert in der Kalibrierungsphase anzunehmen. RE ist einheitenlos und kann Werte von $-\infty$ bis 1 annehmen, was eine perfekte Rekonstruktion bedeuten würde (Wilson u. a., 2006).

B. HK aller Monate

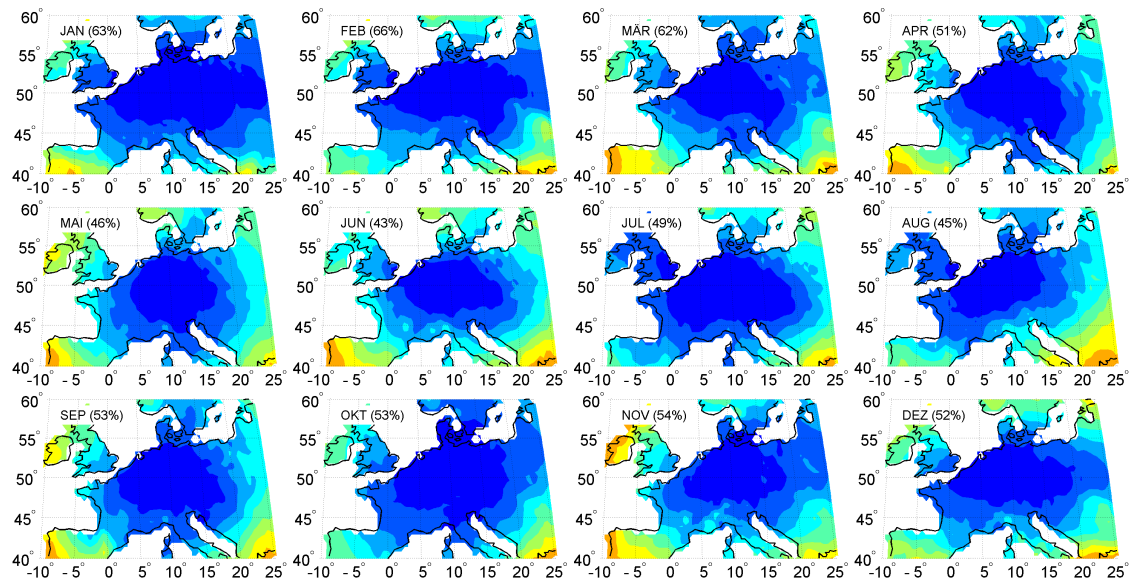


Abb. B.1.: Die jeweils erste Hauptkomponente jeden Monats unter Verwendung normierter Temperaturen für Mitteleuropa gewonnen aus Reanalysedaten (CRU) für den Zeitraum 1901 – 2000. In Klammern ist der jeweilige Erklärungsanteil des Musters angegeben.

C. Mathematische Umsetzung der HKA

Für die Hauptkomponentenanalyse werden die Daten in eine zweidimensionale Matrix überführt. Da viele klimatologische Daten als dreidimensionales Feld vorliegen (zwei Raumkoordinaten sowie die zeitliche Entwicklung der Werte an diesem Ort), müssen diese entsprechend umorganisiert werden. So können die verschiedenen Raumpunkte den Spalten der Matrix zugeordnet werden, die Zeilen repräsentieren die verschiedenen Messungen (siehe Gl. C.6). Ebenfalls könnte jede Spalte beispielsweise Zeitreihen der Temperatur an verschiedenen Orten darstellen.

$$\bar{X} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,N} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,N} \\ \vdots & \vdots & x_{j,i} & \vdots \\ x_{T,1} & x_{T,2} & \cdots & x_{T,N} \end{pmatrix} \quad (\text{C.6})$$

Dabei ist N die Anzahl der Variablen und T die Anzahl der Messungen (z.B. Zeitschritte). Vor Durchführung der HKA wird die Matrix spaltenweise normiert, um den Koordinatenursprung wie gefordert zu verschieben.

Die HKA sucht Faktoren, aus welchen sich durch Linearkombination alle Varianz der ursprünglichen Datenmatrix darstellen lässt, also jede Variable $\vec{x}_i$ ($i = [1..N]$) in der folgenden Form dargestellt werden kann:

$$\vec{x}_i = \sum_{k=1}^N l_{i,k} \cdot \vec{s}_k \quad (\text{C.7})$$

Mit $\vec{s}_i$ als den *scores* und $l_{i,k}$ als den i-ten Ladungen der N Hauptkomponenten¹. Das Ergebnis wäre für das Beispiel der Temperaturreihen an zwei Orten, die Rekonstruktion ebendieser Zeitreihen. Umgekehrt kann entsprechend jede Messung $\vec{x}_j$ ($j = [1..T]$) dargestellt werden als:

$$\vec{x}_j = \sum_{k=1}^N s_{j,k} \cdot \vec{l}_k \quad (\text{C.8})$$

¹In Matrizenschreibweise lässt sich $\bar{X}$ vereinfacht schreiben als $\bar{X} = \bar{S} \cdot \bar{L}^T$, mit $\bar{S}$ als einer Matrix mit den *scores* jeder Variablen in jeder Spalte und $\bar{L}$ als der Matrix mit den *loadings* jeder Hauptkomponente in jeder Spalte.

Anhang

Mit $s_{j,k}$ als den *scores* der j-ten Messung und $\vec{l}_k$ als den N Hauptkomponenten. Gl. C.8 beschreibt somit die Superposition der Hauptkomponenten der Messung j. Für eine Karte bedeutet dies, dass durch entsprechende Überlagerung der durch $s_{j,k}$ entsprechend gewichteten Grundmuster jede der ursprünglich eingegangenen Karten rekonstruiert werden kann.

Zur Bestimmung der Transformationsvorschrift wird die Kovarianzmatrix der Datenmatrix $\bar{C} = COV(\bar{X})$ verwendet. Durch sie wird die Forderung definiert, dass zwischen den Punkten in den neuen Koordinaten keine Kovarianz mehr besteht, indem die Kovarianzmatrix diagonalisiert wird, somit alle Elemente außerhalb der Hauptdiagonalen Null sind. Auf der Hauptdiagonalen stehen die Varianzen der verschiedenen Zufallsvariablen in den neuen Koordinaten (die Eigenwerte der Kovarianzmatrix). Sie sind die Varianzen der neuen Koordinatenrichtungen. In den anderen Elementen der Matrix stehen die Kovarianzen zwischen den verschiedenen Zufallsvariablen. Durch die Forderung, dass diese Elemente Null sein sollen, wird der Bedingung entsprochen, dass die neuen Koordinaten linear unabhängig sind, also nicht miteinander korrelieren. Die zur diagonalisierten Kovarianzmatrix gehörenden Eigenvektoren sind eine Linearkombination der alten Basisvektoren und beschreiben somit den Zusammenhang zwischen neuen und alten Koordinaten und weisen die Richtung der neuen Hauptachsen aus. Es müssen also die Eigenwerte λ der Kovarianzmatrix $\bar{C}$ gefunden werden, was durch Lösen der folgenden Gleichung erreicht wird.

$$\det(\bar{C} - \lambda \bar{E}) = 0 \quad (\text{C.9})$$

Dabei ist $\bar{E}$ die Einheitmatrix. Mit den aus Gl. C.9 gewonnenen Eigenwerten lassen sich dann die Eigenvektoren $\vec{e}_i$ durch Lösung folgender Gleichung bestimmen:

$$(\bar{C} - \lambda_i \bar{E}) \cdot \vec{e}_i = 0 \quad (\text{C.10})$$

Die n-te Komponente des i-ten Eigenvektors ist das Gewicht, mit dem die n-te Variable in die i-te Hauptkomponente des gedrehten Systems eingeht. Die Lösung dieses Eigenwertproblems und die Ausgabe der entsprechenden Hauptkomponenten (Ladungen), Zeitkoeffizienten (*scores*) und Eigenwerte (erklärte Varianz) kann inzwischen durch die meiste gängige Analyse-Software ausgeführt werden. Eine ausführliche Beschreibung der mathematischen Eigenschaften findet sich bei von Storch u. Zwiers (1999).

D. HisKliD 2.0

In Folgenden sind die in HisKliD 2.0. verwendeten Spalten der Tabelle *coding* aufgelistet, welche in kodierter Form die klimabezogenen Informationen aus historischen Quellen enthalten. Der Name des Schlüssels, über welchen die kodierten Informationen mit den jeweils zugehörigen Tabellen verknüpft ist, ist *kursiv* dargestellt. Die jeweils zulässigen Werte sind unterhalb aufgelistet. In **fett** sind der Datentyp und gegebenenfalls die Zwangsbedingung (engl. *constraint*) angegeben.

D.1. Felder in HisKliD 2.0

- Feld 01** *id_coding* Unique-Schlüssel einer komplett kodierten Zeile **Primary Key, Integer**
- Feld 02** *year* kein Verweis, das Jahr beziehungsweise das Jahr des Beginns des Zeitabschnitts des kodierten Ereignis **Integer**
- Feld 03** *year_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**
- Feld 04** *year_end* kein Verweis, das letzte Jahr des Zeitabschnitts **Integer**
- Feld 05** *year_end_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**
- Feld 06** *id_month* Verweis auf die Tabelle *month*, zusätzlich zu den normalen numerischen Monatsangaben kommen folgende Werte hinzu **Integer**
- 13** Winter
 - 14** Frühjahr
 - 15** Sommer
 - 16** Herbst
- Feld 07** *id_month_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**
- Feld 08** *id_month_end* Verweis auf die Tabelle *month* (s. o.) **Integer**
- Feld 09** *id_month_end_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**
- Feld 10** *id_day* Verweis auf die Tabelle *day*, zusätzlich zu den normalen numerischen Tagesangaben kommen folgende Werte hinzu **Integer**
- 32** 1. Pentade
 - 33** 2. Pentade
 - 34** 3. Pentade
 - 35** 4. Pentade
 - 36** 5. Pentade
 - 37** 6. Pentade

Anhang

38 1. Dekade

39 2. Dekade

40 3. Dekade

41 Anfang

42 Mitte

43 Ende

Feld 11 *id_day_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**

Feld 12 *id_day_end* Verweis auf die Tabelle *day* (s. o.) **Integer**

Feld 13 *id_day_end_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**

Feld 14 *id_hour* Verweis auf die Tabelle *hour*, zusätzlich zu den normalen numerischen Tagesangaben kommen folgende Werte hinzu **Integer**

25 morgens

26 vormittags

27 mittags

28 nachmittags

29 abends

30 nachts

Feld 15 *id_hour_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**

Feld 16 *id_hour_end* Verweis auf die Tabelle *hour* (s. o.) **Integer**

Feld 17 *id_hour_end_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**

Feld 18 *id_location* Verweis auf die Tabelle *location*, über diese Verknüpfung wird auch der Name des Ortes an dem das Ereignis stattgefunden hat festgelegt **Foreign Key (location), Integer**

Feld 19 *location_certain* Sicherheitsflag für die Bewertung der Qualität der Eingabe **Boolean**

Feld 20 *id_temp* Verweis auf die Tabelle *temp*, für Indexierung der interpretierten Temperaturwerte -3 bis $+3$ **Foreign Key (temp), Integer**

Feld 21 *id_temp_spec* Verweis auf die Tabelle *temp_spec*, für konkrete Hinweise auf die Temperatur **Foreign Key (temp_spec), Integer**

2 Eisbildung auf Seen

3 Zufrieren von Seen

4 tragbare Eisdecke auf Seen (Hasen, Enten, allg. Tiere)

6 Eisbildung in Flüssen

- 7 Mitführen von Eisschollen im Fluß, evtl. mit Schäden
- 8 Überfrieren von Flüssen
- 9 tragfähige Eisdecke auf Flüssen („zogen über das Eis“, Jahrmarkt auf dem Eis, Fässer-
bauen auf dem Eis, Preisschießen auf dem Eis, etc.)
- 10 Eisbildungen an der Küste, nicht näher spezifiziert
- 11 Treibeis, Eisschollen etc. vor der Küste
- 12 Küste mit Eis besetzt
- 13 geschlossene Eisdecke
- 14 tragfähige Eisdecke an der Küste
- 15 Stadtgräben, Brunnen zugefroren
- 16 Bäche zugefroren
- 17 Eis (...in der Stadt, Straße zugefroren, Glatteis, duftig, tuftig)
- 30 Tauwetter, Schmelzen von Eis
- 31 Reif, Raureif
- 40 Frost
- 41 Frühfrost
- 42 Spätfrost

Feld 22 *id_precip* Verweis auf die Tabelle *precip*, für Indexierung der interpretierten Niederschlagswerte -3 bis +3 **Foreign Key (precip), Integer**

Feld 23 *id_precip_spec* Verweis auf die Tabelle *precip_spec*, für konkrete Hinweise auf den Niederschlag **Foreign Key (precip_spec), Integer**

- 1 Regen
- 2 vereinzelte Regentage, regnete vielmal einen ganzen Tag, hörte wieder auf, regnete wieder
- 3 leichter Regen, einige Regentropfen, sanfter Regen, gelinder Regen, süß und milder Regen, wenig Regen, etwas Regen, regnerisch, bisweilen/mitunter Regen, Regen mit Unterbrechungen
- 4 viel Regen, andauernder Regen, Landregen, beständig Regen, den ganzen Tag Regen, von morgens bis mittags Regen.
- 5 starker Regen (Schauer), heftiger Regen, (ggf. mit Anschwellen der Flüsse), Wassergüsse, Regenschauer
- 6 Starkregen (mit Folgewirkungen wie Verspülungen, Erosionswirkung, Schluchtenreißen, Schäden etc.),
- 7 Gewitterschauer (heftig und stark), Platzregen bei Gewitter
- 8 Hagelschauer
- 9 Hagel, Schloßen, Kiesel
- 10 Tau

Anhang

- 11** Sprühregen (Staubregen), feiner Regen, Nieselregen, Strichregen
- 12** Regen und Schnee, mit Regen vermischter Schnee
- 13** einige Schneeflocken, etwas Schnee, sparsamer Schnee, sparsame Schneeflocken (entspricht leichtem Schneefall mit Unterbrechungen) - v.a. in täglichen Wetteraufzeichnungen
- 14** leichter Schnee, leichter Schneefall (entspricht leichtem Schneefall ohne Unterbrechungen) - v.a. in täglichen Wetteraufzeichnungen
- 15** Schnee
- 16** starker Schneefall, oft auch „tiefer“ oder „großer“ Schnee, ggf. Behinderung der Wege, Schneebruch, viel Schnee (ganzes Jahr), fußhoch Schnee, ziemlicher Schnee im Zusammenhang mit Schäden an der Agrarfläche etc.
- 17** vereinzelte Schneetage, eingestreute Schneetage
- 18** tiefe Schneedecke
- 19** Lawinenabgänge
- 20** Ausaperung
- 21** Schneetreiben
- 22** Graupel
- 23** Schneeschmelze
- 24** abwechselnd Regen und Sonnenschein, eine Stunde Regen, mäßiger Regen mit Unterbrechungen
- 30** Nebel, nebelicht, Nebeldunst
- 31** feuchte Luft
- 32** Bodennebel
- 33** Hochnebel (Heerr Rauch, heerr Rauchig)
- 40** allgemein Überschwemmungen/ Hochwasser, nicht näher erläutert, Flüsse hoch angeschwollen, am Meer erreicht Wasser die Deichhöhe
- 41** kleineres, saisonales und regionales Hochwasser - einmaliges Hochwasser, kurz
- 42** kleineres, saisonales und überregionales Hochwasser
- 43** überdurchschnittliches regionales Hochwasser (kleinere Schäden an Gebäuden, Brücken und Mühlen, Holz weggeführt - keine Menschenverluste, sehr hoch angeschwollen, ziemlicher Schaden)
- 44** überdurchschnittliches überregionales Hochwasser
- 45** regionales Jahrhunderthochwasser (schwere Schäden und Zerstörungen: beispielsweise sind Brücken weggerissen, Mühlen komplett zerstört (weggespült) etc., die Jahrhunderthochwassermarken werden erreicht)
- 46** überregionales Jahrhunderthochwasser (schwere Schäden und Zerstörungen: beispielsweise sind Brücken weggerissen, Mühlen weggespült, Gärten- und Wiesen zerstört, Menschenverluste etc.)
- 50** Sturmflut, nicht näher spezifiziert

- 51 Sturmflut mit Deichschäden und Überschwemmungen
- 52 Sturmflut mit Deichschäden und Überschwemmungen sowie Menschen- und Viehverlusten

Feld 24 *id_wind_force* Verweis auf die Tabelle *wind_force*, für Angaben über die Windstärke
Foreign Key (wind_force), Integer

- 0 still - spiegelglatte See - Windstille (Flaute)
- 1 leiser Zug - Kleine schuppenförmige Kräuselwellen ohne Schaumkämme - sehr leichte Brise
- 2 leichte Brise - Kleine Wellen, noch kurz aber ausgeprägter. Die Kämme sehen glasig aus und brechen sich nicht - bewegte Blätter
- 3 schwache Brise - Die Kämme beginnen sich zu brechen. Schaum überwiegend glasig, ganz vereinzelt können kleine weiße Schaumköpfe auftreten - bewegte Zweige
- 4 mäßige Brise - Wellen sind noch klein, werden aber länger. Weiße Schaumköpfe treten schon ziemlich verbreitet auf - bewegt dünne Äste.
- 5 frische Brise - Mäßige Wellen, die eine ausgeprägtere lange Form annehmen. Überall weiße Schaumkämme - bewegt mittlere Äste, starker Luftzug, fele Wind, windig, Wind
- 6 starker Wind - Die Bildung großer Wellen beginnt; Kämme brechen und hinterlassen größere weiße Schaumflächen; etwas Gischt - bewegt dicke Äste - wehet der Wind so sehr, kräftiges Wehen, sehr windig
- 7 steifer Wind - See türmt sich; der beim Brechen entstehende weißer Schaum beginnt sich in Streifen in die Windrichtung zu legen - schüttelt Bäume, viele starke kalte Winde, große Winde, äußerst windig, scharffer Wind
- 8 stürmischer Wind - Mäßig hohe Wellenberge mit Kämmen von beträchtlicher Länge. Von den Kanten der Kämme beginnt Gischt abzuwehen. Der Schaum legt sich in gut ausgeprägten Streifen in die Windrichtung - knickt Zweige, ungestüm Wetter, ging der Wind so stark, wait es vast, wait a grothe Wind, groß Wetter (Unwetter), sehr starker Wind, vielmahlen großer Wind, Sturmwind
- 9 Sturm - Hohe Wellenberge; dichte Schaumstreifen in Windrichtung. „Rollen“ der See beginnt. Der Gischt kann die Sicht schon beeinträchtigen - hebt Dachziegel ab, knickt Äste, weht es gar vast (Schiffahrt beeinträchtigt), Wind war grausam stark (außerordentliches Unwetter), grausames Wetter, schreckliches Ungewitter, groth sturm Wind, allergrößt Wind
- 10 schwerer Sturm - Sehr hohe Wellenberge mit langen überbrechenden Kämmen. See weiß durch Schaum. Rollen der See schwer und stoßartig. Sicht durch Gischt beeinträchtigt - entwurzelt Bäume und beschädigt Häuser, groth Sturm, außerordentlicher Sturm, wirkliche Sturmwetter, großer Sturm, schrecklicher Sturm, harter Sturm, erschrecklicher Sturm
- 11 orkanartiger Sturm - Außergewöhnlich hohe Wellenberge. Die Kanten der Wellenkämme werden überall zu Gischt zerblasen. Die Sicht ist herabgesetzt - gestrenge ungeheure mächtige große Sturmwind (mit schweren Schäden), entwurzelt viele Bäume
- 12 Orkan - Luft mit Schaum und Gischt angefällt. See vollständig weiß. Die Sicht ist sehr stark herabgesetzt; jede Fernsicht hört auf - wirft Bäume und freistehende Leichtbauten um

Anhang

Feld 25 *id_wind_direction* Verweis auf die Tabelle *wind_direction*, für Angaben über die Windrichtung **Foreign Key (wind_direction), Integer**

- 1 Nord oder überwiegend aus nördliche Richtungen
- 2 Nordost oder überwiegend aus nordöstlichen Richtungen
- 3 Ost oder überwiegend aus östlichen Richtungen
- 4 Südost oder überwiegend aus südöstlichen Richtungen
- 5 Süd oder überwiegend aus südlichen Richtungen
- 6 Südwest oder überwiegend aus südwestlichen Richtungen
- 7 West oder überwiegend aus westlichen Richtungen
- 8 Nordwest oder überwiegend aus nordwestlichen Richtungen
- 9 umlaufende Winde - blies der Wind aus allen Richtungen

Feld 26 *id_cloud_cover* Verweis auf die Tabelle *cloud_cover*, für Angaben über die Himmelsbedeckung **Foreign Key (cloud_cover), Integer**

- 1 (Bedeckungsgrad 0): sonnig/ klar: heller Sonnenschein, keine Wolke am Himmel, ganz klare Luft und Sonnenschein, sternenhell, heller Sonnenschein, Sonnenschein (Sonnenschein immer nur in Verbindung mit Gesamtsituation), reiner und heller Tag, vortrefflich Wetter, reinster Tag, sternenklar, helle gestirnt, helle mit Sonnenschein
- 2 (Bedeckungsgrad 1/4): meist sonnig/ überwiegend klar: sehr heiter, helle Luft, helle Wetter, heller Tag, gut Wetter, ganz heitere Luft, helle, schön
- 3 (Bedeckungsgrad 1/2): teils bewölkt: gedeckte, doch helle Luft; etwas wolkig, Sonnenschein mit abwechselnden Wolken, veränderlich, unstet;
- 4 (Bedeckungsgrad 3/4): meist, vorwiegend bewölkt, sehr bewölkt, einige Sonnenblicke, trübe mit einigen Sonnenblicken, Wolken, wolkig, Schnee-, Regen-, Gewitterwolken, Schnee- und Regenwolken, gewulckt, gewölckt.
- 5 (Bedeckungsgrad 4/4): völlig bedeckt: trübe gedeckte Luft, trübe Luft, dicke Luft, dicke Schneewolken, dunkel, schummrig Wetter, den ganzen Tag dunkel, dunkel Wetter, trübe, trübe.

Feld 27 *id_phenomena* Verweis auf die Tabelle *phenomena*, für Angaben über die Himmelserscheinungen **Foreign Key (phenomena), Integer**

- 11 Aurora Borealis - Polar- und Nordlichter - Chasma - Feuerzeichen
- 12 Nebensonnen, Haloerscheinungen, Nebenmonde
- 13 Dunstschleier, stark eingeschränkte Sicht durch Luftbeimengungen (kein Nebel!)
- 14 Kometen
- 15 Wetterleuchten, Blitze
- 16 Gewitter, tonitrua et fulgura
- 17 Gewitter mit Hagel
- 18 Donner
- 19 Regenbogen

- 20 Sonnenfinsternis (eklipsis solis)
- 21 Mondfinsternis
- 22 blutrote Sonne, extremes Abend- oder Morgenrot, roter Himmel
- 23 ungeklärte Himmelserscheinung (feurige Erscheinungen)
- 24 Feuerzeichen (möglicherweise Nordlicht), (feurige ungeklärte Erscheinung)
- 25 Morgenrot
- 26 Abendrot

Feld 28 *id_natural_event* Verweis auf die Tabelle *natural_event*, für Angaben über Natuereignisse **Foreign Key (natural_event), Integer**

- 1 Erdbeben, Erdbibben, Erdbidem, terrae motus
- 2 (Erd)Rutschungen
- 3 vulkanische Erscheinungen
- 4 Brände
- 5 Blutsregen, Wasser in Stadtgräben wie Blut gesehen
- 6 schlagartige und außergewöhnliche Tierpopulationen
- 10 Heuschrecken
- 11 Meteoriten

Feld 29 *id_phenol_object* Verweis auf die Tabelle *phenol_object*, für Angaben über das Subjekt einer phänologischen Beobachtung **Foreign Key (phenol_object), Integer**

- 1 Wein
- 2 Roggen
- 3 Dinkel
- 4 Hafer
- 5 Weizen
- 6 Gerste
- 7 Buchweizen
- 8 Mischgetreide
- 9 Korn, Getreide
- 10 Feldfrüchte
- 12 Kartoffel, Erdbirnen, Grundbirnen, „Grumbirn“
- 13 Erdbeeren
- 14 Aprikosen
- 15 Nuß
- 16 Kirsche
- 17 Apfel

Anhang

- 18 Birne
- 19 Bäume
- 20 Obst, Früchte, nicht weiter spezifiziert
- 21 Eiche
- 22 Buche
- 23 Tanne
- 24 Fichte
- 25 Weide
- 26 Linde
- 31 Rosen
- 32 Schlüsselblumen
- 33 Veilchen
- 34 Kornblumen
- 35 Heu
- 36 Zeitrose
- 40 Vögel
- 41 Fische

Feld 30 *id_phenol_phase* Verweis auf die Tabelle *phenol_phase*, für Angaben über die Qualität einer phänologischen Beobachtung **Foreign Key (phenol_phase), Integer**

- 1 Beginn der Bestellung
- 2 Aussaat
- 3 Ende der Feldarbeiten, Ende der Kelterarbeiten
- 4 Ernte/Lese
- 5 Schnitt
- 6 Austreiben der Blätter, Schießen
- 11 Beginn der Blüte
- 12 Vollblüte, zweite Blüte
- 13 Ende der Blüte
- 14 Blüte ausgefallen
- 15 Herbstfärbung
- 16 Laubfall
- 18 Verfrühung der Vegetation
- 19 Verspätung der Vegetation
- 20 keine Ernte (wegen Mangel an Arbeitskräften, wegen kriegesischen Ereignissen oder Seuchen), alles erfrohren - Ernte lohnt sich nicht
- 21 sehr gute Ernte / Jahrhundertergebnis

- 22 gute Ernte / Vollernte
- 23 mittlere Ernte
- 24 geringer Ertrag/ halbe Ernte
- 25 Mißwachs
- 26 Eichelmast
- 27 Buchelmast
- 31 sehr guter Wein
- 32 guter Wein
- 33 mittelmäßiger Wein
- 34 schlechter Wein
- 35 sehr schlechter Wein
- 41 Raupenbefall
- 42 extremes Auftreten von Nagetieren wie Mäusen, Hamstern etc. (i.S.v. Plage)
- 44 Schneckenplage
- 50 Brutbeginn

Feld 31 *id_impact* Verweis auf die Tabelle *impact*, für Angaben über die Auswirkungen einer Beobachtung **Foreign Key (impact), Integer**

- 1 Hungersnot
- 2 Pest
- 3 Seuchen
- 4 Massensterben
- 5 Fieber

Feld 32 *id_price* Verweis auf die Tabelle *price*, für Angaben über eine mit der Beobachtung zusammenhängende Teuerung **Foreign Key (price), Integer**

- 1 Preisangabe vorhanden

Feld 33 *id_source* Verweis auf die Tabelle *source*. Hier wird die Quelle zugeordnet. Diese Spalte soll mittelfristig entfallen, da die *id_source* auch in *text* enthalten ist **Foreign Key (source), Integer**

Feld 34 *id_text_old* Verweis auf die alte *id* aus *public.text*. Diese Spalte soll mittelfristig gelöscht werden.

Feld 35 *id_text* Verweis auf die Tabelle *text*. Hier ist das Zitat aus dem der Eintrag entnommen wurde kodiert **Foreign Key (text), Integer**

E. Verwendete historische Indizes

In den Spalten zwei bis fünf stehen die saisonal aufgelösten Indizes mit einem Wertebereich von $[-1 \ 0 \ 1]$ für den Zeitraum von 1000 – 1500. In den letzten zwölf Spalten befinden sich die monatlichen Indizes in siebenstufiger Auflösung $[-3 \ .. \ +3]$ für die Zeit von 1500 – 2009. Die Daten können über den Server der NOAA (2010) bezogen werden.

Tab. E.1.: *Verwendete historische Indizes zur Temperatur*

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1000	0	0	1	0	1500	-2	-1	-1	0	-1	1	1	-1	0	0	-3	-2
1001	0	0	-1	0	1501	1	1	0	0	1	0	-1	-2	0	-1	-1	0
1002	0	0	0	0	1502	-2	-2	-1	0	-3	2	0	3	0	0	0	0
1003	-1	0	0	0	1503	-2	-2	-2	0	1	2	3	3	0	0	0	0
1004	-1	0	0	0	1504	-1	-1	-1	2	1	2	2	1	0	0	0	2
1005	0	0	0	0	1505	2	0	0	0	0	-1	-1	0	1	1	0	0
1006	0	0	0	0	1506	3	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1007	0	0	0	0	1507	1	2	-1	1	0	-1	-1	0	0	0	0	-1
1008	0	0	0	0	1508	-1	-1	-2	-2	0	0	-1	-1	1	0	0	-1
1009	-1	0	0	0	1509	-1	-1	0	0	0	0	1	2	1	-1	0	0
1010	0	0	0	0	1510	0	1	-2	0	-1	0	-1	0	0	0	-1	-1
1011	-1	1	0	0	1511	-1	-2	-1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-2
1012	0	0	-1	0	1512	-1	-2	-1	0	1	0	1	1	-1	0	1	-1
1013	0	0	0	0	1513	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-3	-1	-2
1014	-1	1	1	0	1514	-2	-1	-1	-2	0	-2	0	1	0	-1	-1	0
1015	0	0	0	0	1515	1	2	-2	-1	-1	0	-1	1	1	-1	0	1
1016	0	0	0	0	1516	1	0	-1	1	0	1	0	1	1	1	-2	-1
1017	0	0	0	0	1517	-2	-2	-1	1	1	1	0	0	-1	1	-1	0
1018	0	0	-1	0	1518	-1	0	0	1	0	-2	1	-1	0	-1	-1	0
1019	-1	0	0	0	1519	-1	1	1	0	-1	2	0	-1	0	-1	0	0
1020	-1	0	-1	0	1520	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-2	0	0	2
1021	0	0	0	0	1521	1	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
1022	0	1	1	0	1522	-2	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	2
1023	0	0	1	0	1523	0	1	-1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
1024	0	0	0	0	1524	2	1	0	0	-2	-1	0	0	0	0	0	-2
1025	0	0	0	0	1525	0	-1	-1	0	0	0	1	0	1	1	1	-1
1026	0	0	0	0	1526	-1	-2	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0
1027	0	0	0	0	1527	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	0
1028	0	0	0	0	1528	1	0	0	-1	0	0	0	-1	1	0	0	0
1029	-1	0	0	0	1529	-1	-1	0	0	0	-2	-1	-2	-1	0	0	1
1030	0	0	1	0	1530	2	1	0	-1	0	0	0	-2	0	-1	0	0
1031	0	0	-1	0	1531	1	1	-3	-1	-2	-2	0	-1	2	2	0	-1
1032	0	0	1	0	1532	0	2	0	-1	0	0	0	3	0	0	0	-2
1033	-1	0	1	0	1533	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1
1034	0	0	0	0	1534	-2	-1	0	2	1	2	2	3	0	-2	0	0
1035	0	0	0	0	1535	-1	0	-1	-1	-2	1	2	2	0	0	0	0
1036	-1	0	0	0	1536	-1	-1	0	0	2	3	3	2	1	1	0	-1
1037	0	0	0	0	1537	1	2	-1	0	-2	-2	-2	0	0	0	2	3
1038	0	0	1	0	1538	1	0	-2	-2	0	1	0	1	0	0	0	2
1039	0	0	1	0	1539	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	0
1040	-1	0	0	0	1540	0	3	1	1	2	1	3	3	2	1	0	0
1041	0	0	0	0	1541	-1	-2	-1	0	0	1	-1	-1	0	0	-1	0
1042	-1	0	0	0	1542	1	1	-2	-1	-2	-1	-2	-2	0	0	0	-1
1043	0	0	-1	0	1543	-2	-2	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	1	0	-1
1044	-1	0	-1	0	1544	-2	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	-1	0
1045	0	0	-1	0	1545	1	2	1	0	0	0	2	2	1	1	0	-2
1046	-1	0	0	0	1546	-1	-2	-1	0	-2	0	0	0	0	0	0	-2
1047	-1	0	0	0	1547	0	0	0	-1	0	1	1	0	0	0	0	0
1048	0	0	-1	0	1548	-3	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0

E. Verwendete historische Indizes

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1049	-1	-1	-1	0	1549	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	-2
1050	0	0	0	0	1550	-1	0	-2	0	-1	0	0	-1	0	-1	-2	-1
1051	0	0	0	0	1551	2	-2	-1	0	-1	-1	1	0	0	-1	0	-1
1052	0	0	-1	0	1552	2	1	0	0	0	0	-1	-1	0	1	1	0
1053	0	0	-1	0	1553	0	-1	-2	-1	0	0	0	0	1	1	1	0
1054	0	0	0	0	1554	-2	-3	0	1	0	-1	0	2	-1	0	0	0
1055	0	0	0	0	1555	0	0	-1	0	0	-1	-1	0	1	-1	-1	0
1056	1	0	0	0	1556	2	0	0	0	0	2	1	2	0	0	-2	-3
1057	-1	-1	0	1	1557	-1	0	-1	0	0	1	1	0	3	1	0	-1
1058	0	0	0	0	1558	1	1	1	2	0	1	2	0	0	1	0	-1
1059	-1	0	1	0	1559	-1	0	0	-1	0	0	2	1	0	0	0	1
1060	-1	0	-1	0	1560	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	-2	-2
1061	0	0	0	0	1561	-2	-1	0	-1	0	0	2	0	0	0	2	0
1062	0	0	0	0	1562	1	1	0	0	-1	0	0	1	1	0	0	-1
1063	-1	-1	1	0	1563	-1	1	-2	-1	0	-2	-2	-1	0	-1	1	1
1064	-1	0	0	0	1564	-2	-2	0	1	-1	2	-1	0	1	0	-2	-2
1065	-1	0	0	0	1565	-3	-2	-2	0	-1	0	2	2	0	0	0	1
1066	1	0	0	0	1566	0	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0
1067	-1	0	1	0	1567	2	0	0	0	-2	3	1	2	1	1	-1	2
1068	0	0	-1	0	1568	-1	-1	0	0	1	2	0	-1	0	-1	-2	-3
1069	-1	0	0	0	1569	-2	-2	-1	0	-2	-2	-2	0	-2	-1	0	0
1070	-1	0	1	1	1570	0	1	1	-1	0	1	-1	-1	0	0	0	-1
1071	1	0	0	0	1571	-1	-1	0	2	0	-1	-1	-1	0	1	-1	0
1072	-1	0	0	0	1572	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-2	-2
1073	0	0	0	0	1573	-2	-3	-1	-2	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1
1074	-1	0	0	0	1574	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0
1075	-1	0	0	0	1575	0	0	0	-1	0	1	2	1	0	0	-2	-2
1076	0	-1	-1	-1	1576	0	0	0	-1	-1	-2	-1	0	-1	-1	0	1
1077	-1	-1	0	0	1577	2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1078	0	1	1	0	1578	0	-3	0	-2	0	1	0	1	0	0	-1	0
1079	-1	0	0	0	1579	0	1	1	-2	0	-1	-3	-1	-1	-2	-2	0
1080	-1	0	0	0	1580	0	1	-2	0	0	0	0	2	-1	0	0	0
1081	0	0	0	0	1581	0	0	-1	1	0	0	-1	0	1	-1	-1	-2
1082	0	0	0	0	1582	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	1
1083	0	0	1	0	1583	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
1084	0	0	0	0	1584	1	0	-2	0	0	1	0	-1	1	0	0	0
1085	0	0	0	0	1585	1	1	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	-1
1086	0	1	1	0	1586	-2	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	2	-3	-2
1087	0	0	0	0	1587	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	1
1088	1	0	0	0	1588	0	-1	-2	0	-1	0	0	-1	-1	-1	0	-1
1089	0	0	0	0	1589	-1	-2	-1	-1	0	-1	1	2	1	0	0	-1
1090	0	0	1	0	1590	-2	-1	-1	0	-1	3	3	2	1	0	0	-1
1091	0	0	0	0	1591	-1	-1	0	2	1	0	-1	-1	0	-1	0	-1
1092	0	-1	0	0	1592	2	-1	-1	1	-2	-2	-1	1	0	-1	-1	-1
1093	-1	0	0	0	1593	-1	0	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-1	0
1094	1	1	0	0	1594	1	0	-1	-1	-3	0	-1	-1	0	0	-2	-2
1095	0	-1	1	1	1595	-2	-2	-1	-3	0	-2	-2	-1	1	1	1	1
1096	-1	0	0	0	1596	1	1	1	0	1	-2	-2	-1	1	1	1	3
1097	1	0	0	0	1597	2	0	-2	-1	0	0	0	-2	-2	-1	-1	-2
1098	1	0	1	0	1598	0	0	2	-2	-1	-2	-1	0	1	-1	0	-1
1099	0	0	0	0	1599	-2	-2	1	2	0	1	1	2	1	-1	-1	-2
1100	-1	0	0	0	1600	-3	-2	-2	-2	0	0	-3	-2	-1	0	0	0
1101	0	-1	0	0	1601	0	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-1	-1	-1
1102	1	-1	0	0	1602	2	2	2	-1	-1	1	0	0	0	0	0	-1
1103	0	0	0	0	1603	0	0	0	0	-1	1	1	0	0	0	1	2
1104	-1	0	1	0	1604	1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1
1105	-1	0	0	0	1605	1	1	0	-1	0	1	0	-1	1	0	1	-1
1106	0	1	1	0	1606	0	0	1	-1	0	0	-3	-1	-2	0	0	2
1107	1	0	1	0	1607	2	2	0	-1	0	-1	-2	1	2	-1	1	-2
1108	-1	-1	0	0	1608	-3	-3	-2	1	0	-2	-1	-2	-1	-1	1	1
1109	-1	0	0	0	1609	2	2	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	1	0
1110	-1	0	0	0	1610	1	1	-1	-1	-2	2	1	0	2	1	0	1
1111	0	0	0	0	1611	-1	-1	0	1	-1	2	2	1	-2	0	0	-1
1112	-1	0	1	0	1612	-2	-1	-2	0	0	0	0	2	0	0	0	1
1113	-1	-1	1	0	1613	2	0	0	1	0	-1	1	0	1	0	-2	-2
1114	0	-1	0	0	1614	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0	0
1115	-1	0	0	-1	1615	-1	-2	-1	-2	-2	1	2	0	0	0	2	0

Anhang

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1116	0	-1	1	0	1616	-2	-2	0	2	0	3	2	1	1	0	0	1
1117	1	1	0	0	1617	2	2	-1	1	1	-2	-1	-1	0	1	0	0
1118	-1	-1	0	0	1618	0	0	0	0	-1	-2	0	0	-1	0	1	-1
1119	-1	0	0	0	1619	1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	-1	0	0
1120	0	0	0	0	1620	-1	0	0	0	-1	0	0	1	1	0	0	-2
1121	1	0	-1	0	1621	-2	-1	0	0	1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1
1122	-1	1	0	0	1622	-2	-1	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1
1123	0	-1	0	0	1623	1	1	0	0	-2	0	1	1	0	0	-1	-1
1124	-1	-1	-1	0	1624	-2	-2	-2	2	2	1	2	2	2	0	0	-1
1125	-1	-1	-1	0	1625	3	2	0	0	-1	0	1	-1	-2	-1	0	0
1126	-1	-1	-1	0	1626	1	3	0	0	-1	-2	-1	0	2	0	0	1
1127	0	-1	0	0	1627	-2	-1	-1	-2	-2	-3	-2	-1	-2	0	0	1
1128	-1	-1	-1	-1	1628	0	1	1	-1	0	-2	-2	0	0	-1	2	2
1129	1	-1	0	0	1629	1	1	0	-1	2	1	2	0	2	0	0	0
1130	-1	0	1	0	1630	2	1	0	0	-2	2	0	0	0	0	0	-1
1131	0	0	1	0	1631	-1	-1	0	-1	0	2	2	0	2	1	0	-1
1132	-1	0	0	0	1632	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0
1133	0	0	1	0	1633	2	1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	0	0	-2
1134	0	0	1	0	1634	1	0	0	-1	-1	0	0	2	-1	-1	0	-2
1135	-1	0	1	1	1635	-3	-2	-2	0	-2	0	-1	0	0	-1	0	0
1136	0	0	1	0	1636	-1	0	-1	-1	1	2	0	-1	-1	-2	1	-2
1137	-1	1	1	1	1637	-2	-1	-2	0	2	2	-1	1	-1	0	-2	-1
1138	0	0	0	0	1638	0	2	-1	0	2	-1	2	1	-1	-2	0	0
1139	0	0	0	0	1639	-1	0	0	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1
1140	-1	0	0	0	1640	-1	-1	-1	-2	-1	1	0	0	-1	-2	-2	-1
1141	1	1	-1	0	1641	-2	-1	-2	0	1	0	-2	1	-1	-1	0	-1
1142	-1	0	0	0	1642	1	0	0	-1	-2	1	1	1	-1	0	0	0
1143	-1	0	-1	0	1643	2	1	-2	-2	-1	2	0	0	-2	-1	-2	0
1144	1	0	-1	0	1644	-1	1	0	-1	1	1	2	0	2	-1	0	0
1145	0	0	0	0	1645	0	1	1	1	0	1	1	0	-1	-1	0	-2
1146	0	0	-1	0	1646	-2	-1	-1	1	1	0	2	2	-1	-1	1	1
1147	0	0	0	0	1647	-1	-1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
1148	-1	0	0	0	1648	0	0	-2	1	1	0	0	1	1	-1	1	-2
1149	0	1	0	-1	1649	-1	-1	-1	1	-1	2	1	0	-1	-1	-1	-2
1150	-1	-1	-1	0	1650	0	2	-1	0	0	2	1	1	0	-1	0	-1
1151	-1	0	-1	-1	1651	1	-1	-1	0	-1	0	0	1	-2	-1	1	1
1152	1	0	0	-1	1652	-1	2	0	-1	1	0	1	2	-1	0	2	0
1153	1	0	0	0	1653	0	-1	-1	0	2	-1	0	-1	-2	1	0	1
1154	0	0	0	0	1654	1	0	-2	1	0	0	-1	0	2	0	-2	-2
1155	-1	0	-1	-1	1655	-1	0	0	-1	1	-1	0	1	0	1	0	-1
1156	0	1	1	-1	1656	-1	-1	-1	0	-1	-1	1	0	0	-1	0	-1
1157	0	-1	1	1	1657	1	2	0	1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2	-2
1158	1	0	1	0	1658	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	1	-1
1159	-1	-1	-1	-1	1659	1	-1	-1	0	0	0	-2	0	-1	1	0	-1
1160	-1	-1	0	0	1660	-2	-2	-1	0	0	-2	0	2	2	-2	-1	0
1161	0	0	0	0	1661	1	2	1	2	-1	0	2	0	0	0	2	2
1162	0	0	0	0	1662	1	2	1	1	-2	0	-1	-1	-1	0	0	-2
1163	-1	0	-1	-1	1663	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	0	-1	0	1
1164	0	0	0	0	1664	0	0	0	-1	0	1	1	-1	-1	-1	-2	-1
1165	-1	0	1	0	1665	-3	-2	-3	0	0	0	0	-1	0	-2	0	0
1166	0	0	0	0	1666	-1	0	-2	2	2	2	2	0	-2	0	0	0
1167	-1	-1	1	-1	1667	-2	2	0	-1	-1	0	2	-1	0	0	-2	0
1168	-1	1	1	0	1668	1	2	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	2	2	2
1169	1	0	0	0	1669	-1	1	-1	0	-1	2	2	1	1	1	0	-1
1170	1	0	1	1	1670	-3	-2	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	0
1171	-1	0	1	-1	1671	2	2	1	1	2	0	1	1	0	1	-1	0
1172	1	1	0	0	1672	-2	-2	1	-1	0	0	-2	-1	-1	0	0	0
1173	-1	0	1	0	1673	2	2	0	0	-1	-2	2	1	-1	-1	0	1
1174	-1	-1	-1	-1	1674	-2	-2	-2	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	1
1175	0	0	1	0	1675	2	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-2	1
1176	-1	0	1	0	1676	2	2	-2	-2	-1	1	0	-1	0	-1	-2	-2
1177	0	0	1	0	1677	0	-1	0	-1	-2	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
1178	-1	0	-1	-1	1678	2	1	-1	0	1	0	2	2	2	0	-1	0
1179	-1	-1	1	1	1679	-2	-1	-2	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0
1180	0	0	0	0	1680	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	-2
1181	0	-1	1	0	1681	-2	-2	-1	1	-2	0	0	0	0	0	1	-2
1182	1	-1	-1	0	1682	2	1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1

E. Verwendete historische Indizes

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1183	-1	0	0	0	1683	0	1	-1	0	0	1	0	-2	1	-2	-2	-1
1184	0	-1	1	0	1684	-3	-2	-2	-1	1	3	2	3	1	0	-2	-1
1185	1	0	1	-1	1685	-2	-1	-2	0	-1	-2	-2	0	-1	0	0	1
1186	1	1	1	0	1686	2	1	0	0	3	1	0	-1	0	-1	0	0
1187	1	-1	-1	-1	1687	0	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
1188	0	0	1	0	1688	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	0	-1
1189	0	0	1	0	1689	-1	0	-2	0	0	-1	0	0	-1	-1	-2	0
1190	1	0	1	0	1690	2	1	-1	0	-1	-1	0	0	-2	0	0	0
1191	0	0	0	0	1691	-2	-2	0	-2	-2	0	-1	0	-1	0	-2	-1
1192	0	0	1	1	1692	-3	-2	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	-2
1193	0	0	0	-1	1693	0	2	-1	0	-2	2	-1	-1	-1	-2	0	-2
1194	0	1	1	0	1694	-2	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2
1195	1	-1	-1	0	1695	-3	-3	-2	-1	-2	-1	-2	-1	0	0	0	0
1196	0	1	-1	1	1696	2	2	-2	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	1	-1
1197	1	1	-1	0	1697	-3	-2	0	-1	0	0	0	-1	-1	0	-1	-1
1198	1	-1	1	0	1698	-2	-1	-1	-1	0	-1	0	0	-1	0	-1	0
1199	0	0	0	0	1699	1	0	0	-1	0	0	0	1	2	-1	0	0
1200	0	1	0	0	1700	-1	0	-1	1	2	1	0	0	0	-1	0	0
1201	0	1	-1	-1	1701	0	0	0	-2	0	0	1	0	0	-1	0	0
1202	0	0	0	0	1702	2	1	2	-1	0	0	0	0	0	0	-2	1
1203	1	0	0	0	1703	-2	0	-1	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	1
1204	-1	0	1	-1	1704	-2	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
1205	-1	-1	1	-1	1705	-2	-1	-1	0	-2	-2	0	2	0	0	-1	1
1206	1	1	1	0	1706	-1	-1	-1	0	0	2	0	1	1	0	2	1
1207	1	-1	-1	0	1707	1	0	0	2	0	2	1	1	0	-1	0	2
1208	0	1	1	0	1708	2	2	0	0	0	0	-1	-1	0	-2	-2	-3
1209	-1	0	-1	0	1709	-3	-3	-1	1	-1	0	0	-1	0	0	0	0
1210	-1	-1	1	0	1710	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	1	3
1211	-1	0	1	0	1711	2	0	0	0	3	3	2	0	-1	-1	0	0
1212	-1	-1	1	-1	1712	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-2	0	0	0
1213	0	-1	0	-1	1713	-1	2	-1	-2	-2	-1	-2	0	1	0	-2	1
1214	0	-1	0	0	1714	0	-1	-1	-2	-1	-2	0	-1	0	0	0	0
1215	-1	-1	0	0	1715	-1	2	1	2	0	1	0	0	-1	0	0	-2
1216	-1	0	1	0	1716	-3	0	0	0	0	-1	0	-1	-2	-1	-1	0
1217	-1	-1	1	0	1717	-1	2	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	-2	0
1218	1	0	0	-1	1718	-1	-1	0	0	0	0	2	0	0	-1	0	0
1219	-1	-1	-1	-1	1719	0	0	0	-2	0	0	2	2	0	-1	0	0
1220	1	0	0	0	1720	0	0	-1	-1	0	-2	0	-2	0	-1	0	0
1221	-1	-1	0	0	1721	1	-1	-2	0	-1	0	-1	0	0	-1	0	1
1222	0	0	-1	0	1722	2	2	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	1
1223	-1	-1	-1	-1	1723	1	0	1	0	0	2	2	1	0	0	2	1
1224	-1	1	0	-1	1724	3	2	0	-1	0	1	-1	2	1	-1	0	0
1225	-1	-1	1	-1	1725	0	2	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	-2	1
1226	0	0	0	-1	1726	-2	-2	-2	-1	3	0	1	-2	0	0	0	-1
1227	-1	0	0	0	1727	1	0	-2	-1	2	0	1	2	2	1	-1	0
1228	1	1	1	0	1728	1	-1	2	0	1	1	1	2	1	0	-2	-2
1229	-1	0	0	0	1729	-2	-2	-2	-1	-1	1	1	1	2	1	0	1
1230	-1	0	0	0	1730	1	2	-1	0	-1	0	-1	-1	0	-2	2	-1
1231	0	0	1	0	1731	-1	-1	-2	-1	-1	1	1	1	0	2	1	0
1232	1	0	1	0	1732	0	0	1	1	0	-2	-2	0	-1	1	-1	-1
1233	1	0	0	0	1733	-2	0	0	-1	-1	-2	2	1	-1	-1	0	2
1234	-1	0	0	0	1734	1	2	0	2	2	1	2	1	-1	0	-2	0
1235	-1	0	0	0	1735	1	0	2	2	-2	1	-1	1	1	-2	-1	1
1236	1	0	1	0	1736	2	0	-1	0	-1	-1	1	1	1	0	0	1
1237	1	0	-1	0	1737	2	1	-1	-2	1	0	2	-2	-1	0	0	0
1238	0	0	0	0	1738	0	0	0	0	-2	1	1	1	1	0	-2	1
1239	1	0	0	0	1739	0	1	-2	-1	0	-1	1	-1	0	-3	-3	0
1240	0	0	0	0	1740	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-2	2	-2	-2	0
1241	-1	0	1	0	1741	0	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	0
1242	0	0	0	0	1742	1	1	-1	-2	-2	0	-1	-2	-2	-1	0	-1
1243	0	0	0	0	1743	0	2	0	-3	0	0	0	0	0	-1	2	1
1244	0	0	1	0	1744	-2	-2	-1	1	-1	0	1	-1	-1	-1	1	1
1245	-1	0	1	0	1745	-2	-1	-2	-1	0	0	1	1	0	1	1	-1
1246	0	0	1	0	1746	2	0	-2	-2	1	0	2	0	0	-1	-1	1
1247	0	0	1	0	1747	1	3	-2	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
1248	0	0	0	1	1748	0	-1	-2	-2	-1	2	2	2	1	1	2	2
1249	1	-1	-1	0	1749	2	0	-2	-2	0	-2	1	2	0	1	1	1

Anhang

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1250	-1	0	-1	0	1750	0	1	2	0	0	0	1	0	1	-1	-1	0
1251	1	0	0	0	1751	0	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0
1252	0	-1	-1	0	1752	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
1253	-1	0	-1	0	1753	-2	0	1	-1	0	1	0	-2	0	0	-1	1
1254	0	-1	0	0	1754	0	0	-2	-1	0	0	-1	0	0	0	1	0
1255	0	-1	-1	0	1755	-2	-2	-1	2	-1	1	0	-1	-1	-1	0	1
1256	-1	0	0	0	1756	1	1	0	-1	-1	1	1	-1	1	0	-1	-1
1257	1	-1	1	0	1757	-1	0	0	1	0	0	2	0	-2	-3	1	0
1258	-1	0	0	-1	1758	-1	0	0	-1	1	0	-2	0	-1	-1	0	0
1259	0	0	1	0	1759	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	-2	-1
1260	1	-1	0	0	1760	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	1
1261	1	0	1	0	1761	0	1	1	0	1	1	-1	1	1	-2	0	-2
1262	-1	0	1	0	1762	1	0	-2	2	1	0	0	-1	0	-2	-1	-2
1263	-1	0	0	0	1763	-2	1	-1	-1	-1	0	0	1	-1	-1	0	1
1264	0	0	0	0	1764	1	1	-1	-1	1	0	1	-1	-2	-1	-1	0
1265	0	0	0	0	1765	1	-2	1	0	-1	0	-1	0	-1	1	0	-1
1266	1	0	0	0	1766	-1	-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	-1
1267	-1	0	1	0	1767	-2	1	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	2	-1
1268	1	1	1	0	1768	-1	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	1	0
1269	0	-1	0	0	1769	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-3	0	0
1270	-1	-1	1	0	1770	0	0	-2	-2	0	-1	-1	0	1	0	0	1
1271	1	0	1	-1	1771	0	-1	-2	-3	2	0	0	-1	0	0	-1	1
1272	0	0	0	-1	1772	0	0	0	-1	-2	1	0	0	1	2	1	0
1273	0	1	1	1	1773	1	-1	0	0	0	0	-1	0	1	1	0	1
1274	1	-1	0	1	1774	0	0	1	1	0	1	0	0	-1	0	-3	-1
1275	-1	-1	-1	0	1775	0	1	1	-1	-1	2	0	1	1	0	-1	0
1276	-1	1	1	1	1776	-3	1	1	0	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-1
1277	0	-1	1	1	1777	-1	-1	0	-2	0	-1	-1	0	-1	0	1	-1
1278	-1	-1	1	1	1778	0	-1	0	1	1	0	2	1	-1	-1	1	2
1279	1	-1	1	0	1779	-1	1	1	2	1	-1	0	1	2	2	1	1
1280	1	0	0	0	1780	-1	-1	2	-1	1	0	0	1	0	1	0	-1
1281	-1	-1	-1	0	1781	0	0	1	1	1	2	1	2	2	0	0	0
1282	-1	1	1	1	1782	1	-2	-1	-1	0	1	1	0	1	-1	-2	0
1283	1	1	1	0	1783	1	1	-1	1	1	1	2	1	1	1	0	-1
1284	0	1	1	1	1784	-2	-2	-1	-2	1	1	0	0	1	-2	0	-1
1285	1	0	0	0	1785	0	-1	-3	-2	0	-1	-1	-1	2	0	0	0
1286	-1	1	0	-1	1786	0	0	-2	1	-1	1	-2	-1	-1	-2	-3	0
1287	1	0	1	0	1787	-1	0	1	-1	-1	1	-1	0	0	1	0	1
1288	1	-1	-1	1	1788	1	0	0	0	1	1	1	-1	1	0	-2	-3
1289	1	1	1	1	1789	-1	1	-3	0	2	-1	0	0	0	0	0	1
1290	1	0	-1	-1	1790	0	1	0	-1	1	1	-1	0	-1	0	-1	1
1291	1	1	-1	0	1791	1	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0	-1	0
1292	1	-1	0	0	1792	0	-1	0	1	-1	0	0	1	-1	-1	-1	0
1293	-1	0	1	0	1793	-1	1	0	-1	-1	-1	1	1	-1	1	0	1
1294	-1	1	1	0	1794	0	1	2	2	0	1	2	0	-1	0	0	-1
1295	0	-1	1	0	1795	-3	0	-1	1	-1	1	-2	0	1	2	-1	1
1296	1	0	0	0	1796	2	0	-2	0	1	0	0	1	2	0	-1	-1
1297	0	1	1	1	1797	0	0	-1	1	1	-1	1	1	1	0	0	1
1298	0	0	0	0	1798	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	-2
1299	1	1	0	0	1799	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-2
1300	0	0	0	0	1800	0	-1	-2	3	2	-2	-1	1	1	-1	1	0
1301	1	-1	1	0	1801	1	0	1	0	1	-1	-1	0	1	1	0	0
1302	1	0	-1	0	1802	-1	0	0	0	-1	0	-1	2	0	2	0	0
1303	0	1	1	0	1803	-2	-2	-1	2	-2	-1	1	1	-2	-1	0	0
1304	1	1	1	-1	1804	1	-1	-2	-1	1	0	0	-1	1	0	-2	-2
1305	-1	-1	0	-1	1805	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	0	-3	-2	0
1306	-1	-1	0	0	1806	1	1	0	-2	1	-1	-1	0	0	-1	1	2
1307	0	0	0	0	1807	0	0	-2	-1	1	-1	1	3	-1	1	0	0
1308	-1	0	0	0	1808	0	-1	-3	-2	2	-1	1	1	0	-2	-1	-2
1309	1	-1	0	0	1809	-1	1	-1	-3	1	-1	-1	0	0	-1	-1	1
1310	-1	-1	-1	-1	1810	-1	-1	0	-1	-1	-2	-1	0	2	-1	0	1
1311	-1	0	-1	0	1811	-2	0	1	0	3	3	1	0	0	2	1	0
1312	0	0	1	0	1812	-1	0	-1	-1	0	0	-2	-1	-1	1	-2	-3
1313	0	0	-1	-1	1813	-1	1	0	1	0	-1	-1	-2	-1	-1	-1	0
1314	-1	0	-1	0	1814	-1	-3	-2	1	-2	-2	0	-1	-2	-1	0	1
1315	0	-1	-1	-1	1815	-1	1	1	0	1	0	-2	-1	-1	0	-1	-1
1316	0	0	0	0	1816	0	-1	-1	0	-1	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-1

E. Verwendete historische Indizes

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1317	-1	-1	0	0	1817	1	1	0	-3	-1	1	-1	-1	1	-2	1	0
1318	-1	0	0	0	1818	1	0	0	1	-1	1	0	-1	0	0	1	-1
1319	0	0	0	0	1819	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
1320	0	0	0	0	1820	-2	0	-1	1	1	-2	-1	1	-1	0	-2	-1
1321	0	0	0	0	1821	0	-1	0	2	-1	-3	-2	0	1	0	2	1
1322	-1	-1	-1	-1	1822	1	1	2	1	1	2	0	0	0	1	1	-1
1323	-1	1	1	-1	1823	-3	0	0	-1	1	-1	-1	1	0	0	0	1
1324	0	1	0	0	1824	1	1	0	-1	0	-1	0	0	1	0	1	2
1325	0	0	1	1	1825	1	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
1326	-1	0	0	0	1826	-2	0	0	0	-1	1	2	3	1	1	0	1
1327	0	0	0	0	1827	0	-2	1	1	1	1	1	-1	0	1	-2	1
1328	1	1	1	0	1828	0	-1	0	1	0	1	1	-1	0	0	0	1
1329	1	1	0	0	1829	-2	-2	-1	0	0	-1	0	-2	-1	-1	-2	-3
1330	-1	-1	1	-1	1830	-3	-2	0	1	0	0	0	0	-1	-1	1	0
1331	1	1	1	-1	1831	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	2	0	0
1332	0	1	1	1	1832	0	0	0	0	-1	-1	-1	1	-1	0	-1	0
1333	-1	0	1	1	1833	-1	1	-1	-1	2	1	-1	-3	-1	0	0	2
1334	-1	-1	-1	0	1834	2	0	0	-1	2	1	2	2	2	0	0	0
1335	0	0	-1	-1	1835	0	1	0	-1	0	0	1	0	0	-1	-2	-1
1336	0	0	1	0	1836	0	0	2	0	-2	0	0	-1	-1	0	0	1
1337	0	0	1	0	1837	0	0	-2	-2	-2	0	-1	1	-1	0	0	0
1338	0	-1	-1	-1	1838	-3	-2	0	-2	0	0	-1	-2	0	-1	-1	0
1339	-1	0	0	0	1839	0	0	-1	-2	-1	1	0	-1	0	1	1	0
1340	-1	-1	0	-1	1840	0	0	-2	1	0	0	-2	-1	0	-2	1	-3
1341	1	-1	1	-1	1841	0	-2	1	1	2	-1	-2	-1	1	1	0	1
1342	-1	-1	-1	0	1842	-1	-1	0	-1	0	0	-1	2	0	-2	-2	0
1343	1	-1	-1	0	1843	1	1	-1	0	-1	-2	-1	0	0	0	0	1
1344	0	-1	1	0	1844	0	-1	-1	1	0	0	-2	-2	0	0	1	-2
1345	1	0	1	-1	1845	0	-2	-3	0	-2	1	0	-2	-1	0	1	1
1346	-1	-1	-1	-1	1846	1	1	1	0	0	1	1	2	1	1	-1	-1
1347	0	0	-1	-1	1847	-1	-1	-1	-2	1	-2	0	1	-2	-1	0	-1
1348	1	0	1	1	1848	-3	1	1	1	0	1	-1	-1	-1	0	0	0
1349	0	1	0	1	1849	0	1	-1	-1	0	0	-1	-2	-1	0	-1	-1
1350	1	1	1	1	1850	-2	1	-1	0	-1	0	-1	-1	-2	-2	1	0
1351	-1	1	1	0	1851	0	0	0	0	-2	0	-1	0	-2	1	-2	0
1352	-1	0	1	1	1852	1	0	-1	-2	0	0	1	0	0	-1	2	2
1353	0	-1	1	1	1853	1	-1	-3	-2	-1	0	0	0	-1	0	-1	-2
1354	-1	0	1	0	1854	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2	1
1355	-1	-1	0	0	1855	-1	-2	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	1	-1	-2
1356	1	0	-1	0	1856	0	1	-1	1	-1	0	-2	0	-1	1	-2	0
1357	1	1	1	0	1857	0	-1	0	0	0	0	1	2	1	1	-1	1
1358	0	-1	-1	-1	1858	-1	-2	-1	0	-1	3	-1	0	1	0	-3	0
1359	-1	1	-1	-1	1859	0	1	1	0	0	1	2	2	0	1	-1	-1
1360	1	1	1	-1	1860	1	-1	-1	-1	0	0	-2	-1	-1	-1	-1	-1
1361	0	1	1	0	1861	-2	1	1	-1	-2	1	0	1	0	1	0	0
1362	-1	-1	1	0	1862	0	0	1	1	1	-1	-1	-1	0	1	0	0
1363	0	-1	1	-1	1863	1	1	1	0	0	0	-1	1	-1	1	0	1
1364	-1	-1	-1	0	1864	-2	-1	1	-1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-2
1365	0	1	-1	0	1865	0	-2	-2	2	2	-1	1	-1	1	0	1	0
1366	-1	-1	-1	0	1866	1	1	0	1	-2	2	-1	-2	1	-1	0	0
1367	-1	-1	0	0	1867	0	2	-1	0	-1	0	-1	0	1	-1	-1	-1
1368	1	0	1	-1	1868	0	1	0	0	3	1	1	1	2	0	-1	2
1369	0	-1	-1	0	1869	0	2	-1	2	0	-2	1	-1	1	-1	0	0
1370	-1	0	-1	-1	1870	0	-2	-1	0	0	0	1	-1	-1	0	1	-2
1371	1	-1	1	1	1871	-2	0	1	0	-2	-2	0	1	0	-2	-2	-2
1372	1	-1	1	1	1872	0	0	1	1	0	0	1	-1	1	1	2	1
1373	0	0	1	1	1873	1	0	1	-1	-2	0	1	1	-1	1	1	0
1374	1	0	-1	1	1874	1	0	0	1	-2	0	2	-1	1	1	-1	-1
1375	0	1	1	0	1875	1	-2	-1	0	1	1	0	1	0	-1	-1	-1
1376	1	0	1	1	1876	-1	0	0	1	-3	0	0	1	-1	1	-2	1
1377	-1	-1	-1	-1	1877	1	1	-1	-1	-2	2	0	1	-2	-1	1	0
1378	-1	-1	0	0	1878	0	1	0	1	0	0	-1	0	1	1	0	-1
1379	-1	-1	1	0	1879	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	0	0	0	-2	-3
1380	0	0	0	1	1880	-1	0	1	1	-1	-1	0	0	1	-1	0	2
1381	1	-1	1	-1	1881	-1	0	0	-2	0	-1	1	-1	-1	-3	1	0
1382	-1	1	-1	1	1882	0	1	2	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0
1383	1	1	1	-1	1883	0	1	-2	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0

Anhang

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1384	-1	1	1	0	1884	2	1	1	-1	0	-2	1	0	1	0	-1	1
1385	1	1	1	0	1885	-1	1	0	1	-2	1	0	-2	-1	-1	0	0
1386	1	0	-1	1	1886	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	2	1	1	0
1387	-1	0	-1	1	1887	-1	-1	-1	0	-2	0	1	-1	-1	-2	0	-1
1388	0	1	1	1	1888	0	-1	-1	-1	0	0	-2	-1	0	-2	0	0
1389	-1	-1	0	-1	1889	-1	-1	-2	0	2	2	-1	-1	-2	0	0	-1
1390	-1	0	0	1	1890	1	-1	1	0	1	-1	-1	0	0	-1	0	-3
1391	1	0	1	0	1891	-1	0	0	-2	0	-1	-1	-1	0	1	-1	1
1392	0	-1	-1	-1	1892	0	0	-1	0	0	-1	-1	1	0	-1	0	-1
1393	-1	1	1	0	1893	-2	0	1	1	0	0	0	0	-1	1	-1	0
1394	-1	-1	1	-1	1894	0	1	1	2	-1	-1	0	-1	-2	-1	1	0
1395	1	0	0	0	1895	-1	-3	-1	1	0	0	0	0	2	-1	1	0
1396	-1	0	0	1	1896	0	0	1	-1	-1	1	0	-2	0	0	-1	0
1397	1	1	1	-1	1897	-1	0	1	0	-1	1	0	0	-1	-1	-1	0
1398	0	0	1	0	1898	1	0	0	0	-1	-1	-2	1	0	0	1	1
1399	-1	-1	1	-1	1899	1	1	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	2	-1
1400	0	-1	1	0	1900	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	0	0	1	1
1401	1	1	-1	0	1901	-1	-2	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
1402	1	1	0	0	1902	1	-1	0	0	-3	0	-1	-2	-1	-1	-1	-1
1403	0	-1	-1	0	1903	1	2	1	-2	0	0	-1	-1	0	1	1	0
1404	1	-1	-1	-1	1904	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	0	0	1
1405	-1	0	-1	1	1905	0	0	1	-1	0	1	1	0	0	-3	0	0
1406	1	0	-1	0	1906	1	0	0	0	1	-1	0	0	-1	1	2	-1
1407	0	0	1	-1	1907	0	-1	0	-1	0	-1	-2	-1	0	2	0	0
1408	-1	0	-1	0	1908	-1	0	0	-1	1	1	0	-2	-1	0	-1	0
1409	1	-1	0	-1	1909	0	-1	-1	0	-1	-1	-2	0	-1	1	-1	1
1410	0	-1	1	1	1910	1	1	0	0	0	1	-1	-1	-1	1	-1	1
1411	0	0	-1	-1	1911	0	0	1	0	1	-1	2	2	1	0	1	1
1412	0	0	1	1	1912	0	1	2	0	0	0	1	-2	-3	-2	-1	1
1413	-1	0	1	0	1913	0	0	2	0	0	-1	-2	-2	0	1	2	1
1414	1	-1	1	-1	1914	-1	1	1	2	-1	-1	0	1	-1	0	0	1
1415	0	-1	0	0	1915	0	0	-1	0	1	2	-1	-1	-1	-2	-1	1
1416	1	0	0	-1	1916	2	0	0	0	1	-3	-1	-1	-1	0	1	1
1417	-1	0	0	-1	1917	-1	-2	-2	-2	2	3	0	0	1	-1	1	-1
1418	-1	-1	1	0	1918	1	1	0	1	1	-2	-1	-1	0	-1	0	2
1419	0	-1	-1	-1	1919	1	0	0	-1	0	-1	-2	-1	1	-2	-2	0
1420	0	1	1	1	1920	1	1	2	1	1	-1	0	-2	0	-1	-1	0
1421	-1	0	0	0	1921	2	0	2	0	1	-1	1	0	0	2	-2	0
1422	-1	0	0	0	1922	0	-1	0	-1	1	0	-1	-1	-2	-3	-1	1
1423	-1	0	-1	-1	1923	1	0	1	-1	-1	-3	1	-1	0	1	-1	-1
1424	1	0	0	1	1924	-1	-1	-1	-1	1	0	-1	-2	0	1	0	0
1425	1	1	0	1	1925	1	1	-1	0	1	0	1	0	-2	0	-1	0
1426	1	1	1	-1	1926	0	2	1	1	-1	-2	0	0	1	-1	2	0
1427	0	0	0	0	1927	1	0	1	0	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1
1428	1	-1	-1	0	1928	1	1	0	0	-2	-1	1	0	-1	0	2	0
1429	-1	-1	-1	0	1929	-1	-3	0	-2	1	-1	0	0	2	1	1	1
1430	-1	-1	0	0	1930	1	0	1	1	0	2	-1	0	0	0	2	0
1431	-1	1	1	1	1931	0	-1	-2	-1	2	0	0	-1	-3	-1	1	0
1432	-1	-1	1	1	1932	1	-1	-1	0	0	-1	1	2	2	0	0	0
1433	-1	1	-1	1	1933	-1	0	1	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	-2
1434	1	-1	1	0	1934	1	0	1	2	1	1	1	0	2	1	0	2
1435	-1	-1	1	-1	1935	0	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0
1436	0	1	0	1	1936	2	0	1	-1	0	0	0	0	0	-2	0	1
1437	-1	-1	1	0	1937	0	1	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0
1438	-1	-1	1	0	1938	1	0	2	-1	-1	1	0	1	1	0	2	-1
1439	0	0	0	0	1939	1	1	-1	1	-1	1	0	1	0	-1	1	-1
1440	0	0	0	-1	1940	-3	-2	0	0	0	1	-1	-2	-1	-1	1	-1
1441	-1	0	1	0	1941	-2	0	0	-1	-2	1	1	-1	-1	0	-1	1
1442	1	-1	1	-1	1942	-3	-3	-1	0	0	-1	-1	1	2	2	0	1
1443	-1	-1	-1	0	1943	0	1	2	1	1	-1	0	1	0	1	0	0
1444	1	0	0	0	1944	2	0	-1	1	0	-1	0	3	0	0	1	0
1445	0	0	-1	0	1945	-1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
1446	-1	-1	0	-1	1946	0	1	0	2	1	-1	1	0	1	-1	0	-1
1447	0	-1	1	1	1947	-1	-3	0	1	2	2	1	2	3	-1	1	0
1448	1	-1	1	1	1948	2	0	2	2	1	0	-1	0	0	0	0	0
1449	1	0	-1	1	1949	1	1	0	2	0	-1	1	0	3	2	0	1
1450	0	0	0	0	1950	0	1	1	0	1	2	1	1	0	0	1	-1

E. Verwendete historische Indizes

Jahr	Wi	Fr	So	He	Jahr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1451	0	1	0	-1	1951	1	1	0	0	0	0	0	1	1	-1	2	1
1452	-1	-1	0	0	1952	1	0	0	2	0	0	1	1	-2	-1	-1	0
1453	0	0	-1	-1	1953	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	1	1
1454	-1	-1	-1	-1	1954	-1	-2	1	-1	0	1	-2	-1	0	1	0	1
1455	0	-1	-1	-1	1955	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	1
1456	-1	0	-1	-1	1956	1	-3	0	-1	0	-2	0	-2	1	0	-1	1
1457	1	0	1	1	1957	1	2	2	0	-2	1	1	-1	-1	1	1	0
1458	-1	-1	-1	0	1958	0	1	-2	-1	1	-1	0	0	1	1	1	1
1459	-1	-1	-1	0	1959	0	0	2	1	0	1	2	1	1	0	0	1
1460	-1	1	0	0	1960	0	0	1	0	1	1	-1	-1	0	0	2	0
1461	1	-1	0	0	1961	0	2	2	2	-1	1	-1	-1	3	2	0	0
1462	1	-1	1	-1	1962	1	0	-2	1	-2	-1	-2	-1	-1	1	-1	-2
1463	0	-1	0	1	1963	-2	-2	0	1	0	0	1	0	1	0	3	-1
1464	-1	1	1	0	1964	0	0	-1	1	1	1	1	0	0	-1	1	0
1465	-1	-1	1	-1	1965	1	-1	0	0	-1	0	-2	-1	0	0	-1	1
1466	-1	1	-1	-1	1966	-1	1	0	1	1	1	-1	-1	0	2	-1	1
1467	1	-1	1	1	1967	1	1	1	-1	0	-1	1	0	1	2	0	0
1468	0	-1	-1	-1	1968	0	0	1	1	-1	1	-1	0	0	1	0	-1
1469	1	-1	-1	-1	1969	1	-1	-1	0	1	-1	1	0	1	1	1	-2
1470	-1	-1	1	1	1970	-1	-1	-1	-1	-1	2	-1	0	0	0	2	0
1471	1	1	1	1	1971	0	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	0	2
1472	1	1	1	1	1972	0	1	1	0	-1	-1	1	-1	-2	-1	1	0
1473	0	1	1	0	1973	0	0	1	-1	0	1	0	1	1	-1	0	0
1474	-1	-1	0	0	1974	2	1	1	1	-1	-1	-1	1	0	-2	1	2
1475	0	-1	1	0	1975	2	1	0	0	0	-1	1	2	2	-1	0	0
1476	0	-1	0	-1	1976	1	0	-1	0	1	2	2	0	0	1	1	-1
1477	-1	-1	-1	1	1977	1	1	2	-1	0	0	0	-1	-1	1	1	1
1478	1	1	1	-1	1978	1	-1	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0
1479	1	-1	1	-1	1979	-1	-1	0	-1	0	1	-1	-1	0	0	0	2
1480	1	-1	0	-1	1980	-1	1	0	-1	-1	-2	0	1	0	0	0	0
1481	-1	-1	-1	-1	1981	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	1	-1
1482	1	1	1	1	1982	0	0	1	0	0	1	2	1	2	1	2	1
1483	1	0	1	0	1983	2	-1	1	1	-1	1	3	1	0	1	0	0
1484	-1	-1	-1	-1	1984	1	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	1	1	0
1485	0	-1	-1	-1	1985	-2	-1	0	0	1	-2	0	0	0	0	-2	2
1486	1	-1	-1	-1	1986	0	-3	0	-1	1	0	0	0	-2	1	2	1
1487	0	-1	0	-1	1987	-2	0	-2	1	-2	-1	0	-1	1	1	1	1
1488	0	1	-1	-1	1988	2	1	0	1	2	0	0	0	0	1	0	1
1489	0	1	-1	1	1989	1	1	2	0	1	0	1	0	1	2	0	1
1490	-1	-1	-1	-1	1990	1	2	2	0	1	0	0	2	-1	1	1	0
1491	-1	-1	-1	0	1991	1	-1	2	0	-2	-2	2	1	2	0	0	0
1492	-1	-1	0	0	1992	1	1	1	0	2	2	1	2	0	-1	1	1
1493	0	-1	1	0	1993	1	-1	0	2	2	0	-1	-1	-1	0	-2	1
1494	1	0	1	0	1994	2	0	2	1	0	0	3	1	0	0	3	2
1495	-1	0	0	0	1995	1	2	0	1	0	-1	3	2	0	3	0	-1
1496	-1	-1	1	-1	1996	-1	-1	-1	1	-1	0	-1	1	-2	1	1	-1
1497	1	1	1	0	1997	0	2	2	-1	0	0	0	3	1	0	0	1
1498	-1	1	1	-1	1998	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	0
1499	-1	-1	0	0	1999	1	0	1	1	1	0	1	1	3	1	0	1
1500	1	-1	1	-1	2000	1	2	1	2	2	1	-1	1	1	2	2	1
					2001	1	1	1	0	2	-1	1	2	-1	3	0	0
					2002	1	2	1	1	1	2	1	2	0	0	1	0
					2003	0	-1	1	1	1	3	2	3	1	-2	2	1
					2004	0	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	0
					2005	1	0	0	1	0	1	1	-1	2	2	1	0
					2006	-1	0	-1	0	1	1	3	-1	3	3	3	2
					2007	2	2	2	3	1	2	0	0	0	0	0	1
					2008	2	2	1	0	2	1	1	1	-1	1	1	0
					2009	0	0	1	3	1	-1	1	2	1	0	3	0

F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung

Die hier abgedruckten Daten sind das 11-jährig gleitende Mittel der Temperaturanomalien gegenüber dem Referenzzeitraum 1760–1970, so wie in Abb. 3.6 dargestellt. Aus Platzgründen wurden die Zeiträume 1005 – 1499 und 1500 – 2001 nebeneinander gedruckt. Die Spalte dT gibt die Temperaturanomalie in °C an, die Spalten uF und oF geben den unteren und oberen Fehlerbereich an. Die Daten können über den Server der NOAA (NOAA, 2010) bezogen werden.

Tab. F.2.: *Rekonstruierte Temperaturentwicklung*

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	ΔT	uF	oF
1005	-0,162	-0,521	0,197	1500	-0,157	-0,492	0,179
1006	-0,206	-0,564	0,152	1501	-0,018	-0,344	0,309
1007	-0,206	-0,572	0,161	1502	0,105	-0,218	0,428
1008	-0,206	-0,565	0,154	1503	-0,11	-0,429	0,209
1009	-0,134	-0,48	0,211	1504	-0,115	-0,422	0,193
1010	-0,08	-0,425	0,264	1505	-0,157	-0,361	0,046
1011	-0,08	-0,437	0,276	1506	-0,141	-0,339	0,057
1012	-0,08	-0,464	0,303	1507	-0,192	-0,393	0,008
1013	-0,111	-0,502	0,279	1508	-0,306	-0,502	-0,11
1014	-0,165	-0,553	0,223	1509	-0,4	-0,604	-0,196
1015	-0,196	-0,562	0,17	1510	-0,453	-0,657	-0,25
1016	-0,196	-0,55	0,158	1511	-0,477	-0,682	-0,272
1017	-0,111	-0,469	0,246	1512	-0,656	-0,854	-0,458
1018	-0,05	-0,398	0,298	1513	-0,714	-0,904	-0,524
1019	-0,05	-0,409	0,309	1514	-0,61	-0,8	-0,419
1020	-0,067	-0,424	0,289	1515	-0,581	-0,765	-0,397
1021	-0,067	-0,409	0,275	1516	-0,444	-0,635	-0,253
1022	-0,067	-0,404	0,27	1517	-0,372	-0,563	-0,182
1023	-0,067	-0,41	0,275	1518	-0,292	-0,485	-0,099
1024	-0,09	-0,461	0,28	1519	-0,115	-0,301	0,071
1025	-0,006	-0,398	0,387	1520	-0,011	-0,199	0,177
1026	0,048	-0,344	0,441	1521	-0,08	-0,271	0,11
1027	0,079	-0,314	0,472	1522	-0,101	-0,296	0,094
1028	-0,015	-0,4	0,369	1523	-0,032	-0,227	0,162
1029	-0,046	-0,428	0,335	1524	-0,056	-0,253	0,141
1030	-0,046	-0,43	0,337	1525	-0,04	-0,232	0,152
1031	-0,1	-0,457	0,256	1526	-0,097	-0,285	0,091
1032	-0,1	-0,483	0,282	1527	-0,167	-0,356	0,022
1033	-0,069	-0,471	0,332	1528	-0,136	-0,33	0,058
1034	-0,039	-0,442	0,365	1529	-0,149	-0,348	0,05
1035	-0,039	-0,423	0,346	1530	-0,162	-0,357	0,033
1036	-0,069	-0,452	0,313	1531	-0,101	-0,3	0,098
1037	-0,093	-0,446	0,261	1532	0,018	-0,186	0,222
1038	-0,154	-0,511	0,203	1533	0,045	-0,16	0,249
1039	-0,216	-0,562	0,13	1534	-0,007	-0,209	0,194
1040	-0,247	-0,595	0,102	1535	0,232	0,028	0,435
1041	-0,301	-0,629	0,028	1536	0,134	-0,07	0,339
1042	-0,301	-0,622	0,02	1537	0,096	-0,104	0,297
1043	-0,331	-0,66	-0,003	1538	-0,039	-0,24	0,162
1044	-0,488	-0,828	-0,147	1539	-0,133	-0,329	0,063
1045	-0,519	-0,851	-0,186	1540	-0,069	-0,266	0,128
1046	-0,465	-0,81	-0,119	1541	-0,163	-0,355	0,029
1047	-0,495	-0,824	-0,167	1542	-0,209	-0,397	-0,02
1048	-0,472	-0,825	-0,12	1543	-0,275	-0,46	-0,089
1049	-0,441	-0,807	-0,076	1544	-0,318	-0,504	-0,132
1050	-0,357	-0,736	0,023	1545	-0,379	-0,563	-0,195
1051	-0,272	-0,648	0,104	1546	-0,595	-0,777	-0,414
1052	-0,277	-0,634	0,08	1547	-0,46	-0,646	-0,273

F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1053	-0,223	-0,581	0,136	1548	-0,407	-0,593	-0,222
1054	-0,215	-0,532	0,102	1549	-0,36	-0,544	-0,176
1055	-0,174	-0,474	0,125	1550	-0,299	-0,483	-0,115
1056	-0,174	-0,494	0,146	1551	-0,371	-0,553	-0,189
1057	-0,174	-0,494	0,146	1552	-0,254	-0,436	-0,072
1058	-0,207	-0,529	0,114	1553	-0,174	-0,354	0,006
1059	-0,23	-0,538	0,077	1554	-0,149	-0,326	0,029
1060	-0,284	-0,615	0,046	1555	-0,202	-0,377	-0,026
1061	-0,23	-0,585	0,124	1556	-0,122	-0,299	0,054
1062	-0,308	-0,678	0,063	1557	-0,054	-0,23	0,122
1063	-0,28	-0,64	0,081	1558	-0,171	-0,355	0,014
1064	-0,334	-0,708	0,041	1559	-0,249	-0,434	-0,064
1065	-0,298	-0,657	0,062	1560	-0,247	-0,433	-0,062
1066	-0,159	-0,5	0,182	1561	-0,156	-0,341	0,029
1067	-0,213	-0,544	0,118	1562	-0,061	-0,245	0,122
1068	-0,213	-0,542	0,116	1563	-0,157	-0,338	0,025
1069	-0,203	-0,536	0,13	1564	-0,401	-0,586	-0,215
1070	-0,203	-0,543	0,138	1565	-0,418	-0,604	-0,232
1071	-0,257	-0,59	0,076	1566	-0,379	-0,572	-0,185
1072	-0,405	-0,761	-0,049	1567	-0,451	-0,647	-0,255
1073	-0,311	-0,677	0,056	1568	-0,642	-0,83	-0,454
1074	-0,334	-0,672	0,005	1569	-0,579	-0,763	-0,395
1075	-0,334	-0,666	-0,001	1570	-0,505	-0,694	-0,317
1076	-0,347	-0,69	-0,003	1571	-0,479	-0,672	-0,285
1077	-0,4	-0,745	-0,056	1572	-0,519	-0,714	-0,325
1078	-0,316	-0,676	0,044	1573	-0,686	-0,88	-0,492
1079	-0,316	-0,683	0,052	1574	-0,673	-0,874	-0,472
1080	-0,262	-0,631	0,108	1575	-0,516	-0,705	-0,328
1081	-0,136	-0,506	0,234	1576	-0,564	-0,748	-0,38
1082	-0,029	-0,414	0,356	1577	-0,511	-0,696	-0,327
1083	0,12	-0,262	0,502	1578	-0,385	-0,573	-0,196
1084	0,048	-0,338	0,435	1579	-0,217	-0,414	-0,02
1085	0,133	-0,286	0,553	1580	-0,25	-0,439	-0,061
1086	0,187	-0,222	0,596	1581	-0,339	-0,52	-0,159
1087	0,146	-0,265	0,557	1582	-0,412	-0,591	-0,232
1088	0,092	-0,341	0,526	1583	-0,514	-0,694	-0,334
1089	0,156	-0,269	0,582	1584	-0,516	-0,697	-0,335
1090	0,182	-0,238	0,603	1585	-0,454	-0,638	-0,27
1091	0,128	-0,272	0,529	1586	-0,497	-0,686	-0,308
1092	0,111	-0,276	0,498	1587	-0,498	-0,685	-0,311
1093	0,196	-0,169	0,561	1588	-0,588	-0,775	-0,402
1094	0,142	-0,214	0,497	1589	-0,719	-0,908	-0,53
1095	0,088	-0,261	0,436	1590	-0,83	-1,014	-0,646
1096	0,016	-0,335	0,367	1591	-0,708	-0,897	-0,519
1097	0,029	-0,313	0,372	1592	-0,672	-0,862	-0,481
1098	0,07	-0,258	0,398	1593	-0,6	-0,791	-0,409
1099	0,101	-0,235	0,437	1594	-0,554	-0,751	-0,357
1100	-0,048	-0,375	0,279	1595	-0,688	-0,877	-0,5
1101	-0,002	-0,351	0,346	1596	-0,847	-1,026	-0,668
1102	0,136	-0,201	0,474	1597	-0,738	-0,919	-0,556
1103	-0,012	-0,356	0,331	1598	-0,635	-0,822	-0,449
1104	-0,151	-0,472	0,17	1599	-0,623	-0,808	-0,438
1105	-0,205	-0,534	0,124	1600	-0,495	-0,684	-0,306
1106	-0,151	-0,488	0,186	1601	-0,4	-0,594	-0,205
1107	-0,133	-0,478	0,211	1602	-0,464	-0,656	-0,272
1108	-0,21	-0,547	0,127	1603	-0,53	-0,711	-0,35
1109	-0,251	-0,599	0,096	1604	-0,437	-0,618	-0,256
1110	-0,318	-0,632	-0,004	1605	-0,335	-0,515	-0,154
1111	-0,274	-0,582	0,034	1606	-0,159	-0,344	0,026
1112	-0,251	-0,548	0,046	1607	-0,028	-0,216	0,159
1113	-0,43	-0,711	-0,149	1608	-0,091	-0,284	0,102
1114	-0,389	-0,674	-0,105	1609	-0,244	-0,435	-0,053
1115	-0,336	-0,627	-0,044	1610	-0,239	-0,435	-0,044
1116	-0,258	-0,552	0,035	1611	-0,24	-0,442	-0,038
1117	-0,272	-0,57	0,027	1612	-0,173	-0,369	0,024
1118	-0,289	-0,593	0,015	1613	-0,238	-0,433	-0,043
1119	-0,351	-0,689	-0,013	1614	-0,112	-0,302	0,079

Anhang

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1120	-0,436	-0,769	-0,102	1615	-0,201	-0,393	-0,009
1121	-0,471	-0,794	-0,149	1616	-0,376	-0,569	-0,182
1122	-0,502	-0,795	-0,209	1617	-0,454	-0,647	-0,261
1123	-0,758	-1,036	-0,481	1618	-0,403	-0,599	-0,208
1124	-0,65	-0,93	-0,371	1619	-0,419	-0,615	-0,222
1125	-0,619	-0,905	-0,334	1620	-0,262	-0,461	-0,063
1126	-0,589	-0,87	-0,307	1621	-0,14	-0,337	0,057
1127	-0,666	-0,941	-0,391	1622	-0,319	-0,513	-0,125
1128	-0,622	-0,912	-0,331	1623	-0,344	-0,547	-0,14
1129	-0,55	-0,849	-0,251	1624	-0,22	-0,421	-0,02
1130	-0,412	-0,75	-0,073	1625	-0,166	-0,365	0,034
1131	-0,255	-0,614	0,103	1626	-0,124	-0,323	0,074
1132	-0,076	-0,416	0,263	1627	-0,057	-0,253	0,139
1133	-0,036	-0,377	0,306	1628	0,02	-0,172	0,212
1134	0,126	-0,226	0,477	1629	-0,02	-0,216	0,176
1135	0,059	-0,29	0,407	1630	-0,156	-0,347	0,035
1136	0,146	-0,203	0,495	1631	-0,278	-0,468	-0,089
1137	0,061	-0,29	0,412	1632	-0,427	-0,625	-0,23
1138	0,03	-0,332	0,392	1633	-0,244	-0,442	-0,046
1139	0,022	-0,339	0,384	1634	-0,351	-0,552	-0,15
1140	-0,008	-0,362	0,345	1635	-0,566	-0,764	-0,367
1141	-0,052	-0,423	0,319	1636	-0,708	-0,897	-0,518
1142	-0,083	-0,456	0,29	1637	-0,701	-0,888	-0,514
1143	-0,19	-0,563	0,182	1638	-0,684	-0,876	-0,492
1144	-0,186	-0,538	0,166	1639	-0,629	-0,821	-0,437
1145	-0,311	-0,643	0,021	1640	-0,587	-0,774	-0,399
1146	-0,378	-0,676	-0,08	1641	-0,442	-0,627	-0,257
1147	-0,424	-0,734	-0,114	1642	-0,378	-0,564	-0,192
1148	-0,316	-0,645	0,013	1643	-0,312	-0,495	-0,13
1149	-0,231	-0,555	0,093	1644	-0,422	-0,605	-0,238
1150	-0,375	-0,727	-0,024	1645	-0,315	-0,499	-0,131
1151	-0,34	-0,673	-0,006	1646	-0,196	-0,392	0
1152	-0,283	-0,64	0,075	1647	-0,037	-0,232	0,158
1153	-0,198	-0,545	0,149	1648	-0,058	-0,249	0,134
1154	-0,305	-0,67	0,059	1649	-0,066	-0,262	0,13
1155	-0,405	-0,757	-0,053	1650	-0,12	-0,321	0,08
1156	-0,279	-0,635	0,076	1651	-0,209	-0,407	-0,011
1157	-0,159	-0,485	0,168	1652	-0,239	-0,436	-0,042
1158	-0,297	-0,606	0,011	1653	-0,431	-0,62	-0,241
1159	-0,351	-0,68	-0,023	1654	-0,452	-0,641	-0,264
1160	-0,374	-0,696	-0,053	1655	-0,467	-0,654	-0,279
1161	-0,254	-0,593	0,085	1656	-0,352	-0,54	-0,163
1162	-0,389	-0,71	-0,068	1657	-0,341	-0,523	-0,16
1163	-0,398	-0,703	-0,092	1658	-0,518	-0,698	-0,337
1164	-0,428	-0,748	-0,109	1659	-0,556	-0,746	-0,367
1165	-0,146	-0,49	0,198	1660	-0,665	-0,846	-0,485
1166	-0,111	-0,447	0,226	1661	-0,625	-0,808	-0,443
1167	-0,016	-0,35	0,318	1662	-0,579	-0,761	-0,397
1168	-0,039	-0,375	0,297	1663	-0,49	-0,672	-0,308
1169	-0,08	-0,408	0,248	1664	-0,274	-0,462	-0,085
1170	-0,049	-0,366	0,268	1665	-0,347	-0,527	-0,167
1171	-0,049	-0,389	0,291	1666	-0,127	-0,303	0,049
1172	-0,018	-0,373	0,337	1667	-0,367	-0,542	-0,193
1173	-0,039	-0,404	0,326	1668	-0,334	-0,511	-0,156
1174	-0,085	-0,445	0,276	1669	-0,31	-0,494	-0,126
1175	-0,139	-0,478	0,201	1670	-0,274	-0,461	-0,088
1176	-0,269	-0,6	0,062	1671	-0,172	-0,363	0,018
1177	-0,228	-0,544	0,089	1672	-0,292	-0,485	-0,099
1178	-0,376	-0,726	-0,027	1673	-0,17	-0,37	0,029
1179	-0,363	-0,704	-0,022	1674	-0,319	-0,515	-0,123
1180	-0,153	-0,485	0,179	1675	-0,32	-0,516	-0,125
1181	-0,058	-0,375	0,259	1676	-0,317	-0,513	-0,12
1182	-0,089	-0,424	0,247	1677	-0,409	-0,607	-0,21
1183	-0,089	-0,438	0,261	1678	-0,36	-0,555	-0,166
1184	0,063	-0,305	0,431	1679	-0,468	-0,653	-0,283
1185	0,176	-0,206	0,557	1680	-0,476	-0,666	-0,286
1186	0,176	-0,197	0,549	1681	-0,385	-0,57	-0,2

F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1187	0,252	-0,122	0,626	1682	-0,359	-0,542	-0,177
1188	0,234	-0,157	0,625	1683	-0,379	-0,567	-0,19
1189	0,36	-0,031	0,75	1684	-0,554	-0,735	-0,374
1190	0,352	-0,028	0,732	1685	-0,455	-0,641	-0,269
1191	0,349	-0,013	0,711	1686	-0,632	-0,816	-0,448
1192	0,287	-0,081	0,656	1687	-0,694	-0,876	-0,513
1193	0,385	0,021	0,749	1688	-0,786	-0,967	-0,604
1194	0,354	-0,015	0,724	1689	-0,87	-1,054	-0,687
1195	0,364	0,027	0,701	1690	-0,985	-1,17	-0,8
1196	0,253	-0,071	0,578	1691	-0,879	-1,065	-0,693
1197	0,253	-0,076	0,583	1692	-1,089	-1,275	-0,904
1198	0,24	-0,098	0,579	1693	-1,168	-1,357	-0,979
1199	0,217	-0,123	0,557	1694	-1,022	-1,206	-0,837
1200	0,046	-0,291	0,383	1695	-0,935	-1,124	-0,746
1201	0,189	-0,161	0,539	1696	-0,962	-1,151	-0,774
1202	0,125	-0,248	0,499	1697	-0,739	-0,926	-0,553
1203	0,133	-0,247	0,514	1698	-0,622	-0,806	-0,439
1204	0,004	-0,387	0,396	1699	-0,622	-0,801	-0,442
1205	-0,06	-0,432	0,313	1700	-0,566	-0,748	-0,384
1206	-0,123	-0,459	0,212	1701	-0,355	-0,542	-0,168
1207	-0,197	-0,537	0,143	1702	-0,255	-0,441	-0,069
1208	-0,274	-0,616	0,068	1703	-0,151	-0,336	0,034
1209	-0,369	-0,705	-0,033	1704	-0,172	-0,356	0,013
1210	-0,404	-0,739	-0,07	1705	-0,155	-0,344	0,034
1211	-0,327	-0,65	-0,005	1706	-0,065	-0,255	0,126
1212	-0,517	-0,833	-0,201	1707	-0,117	-0,307	0,072
1213	-0,481	-0,792	-0,17	1708	-0,239	-0,435	-0,043
1214	-0,714	-1,013	-0,416	1709	-0,267	-0,461	-0,072
1215	-0,576	-0,884	-0,267	1710	-0,193	-0,39	0,003
1216	-0,606	-0,906	-0,307	1711	-0,219	-0,413	-0,025
1217	-0,614	-0,904	-0,324	1712	-0,271	-0,46	-0,082
1218	-0,676	-0,963	-0,389	1713	-0,392	-0,574	-0,211
1219	-0,648	-0,962	-0,335	1714	-0,357	-0,543	-0,17
1220	-0,707	-1,013	-0,402	1715	-0,299	-0,489	-0,109
1221	-0,649	-0,948	-0,349	1716	-0,373	-0,566	-0,179
1222	-0,679	-0,962	-0,397	1717	-0,404	-0,597	-0,212
1223	-0,49	-0,795	-0,185	1718	-0,223	-0,412	-0,033
1224	-0,562	-0,866	-0,258	1719	-0,073	-0,264	0,117
1225	-0,454	-0,782	-0,127	1720	-0,047	-0,242	0,148
1226	-0,478	-0,787	-0,168	1721	-0,162	-0,354	0,031
1227	-0,298	-0,646	0,05	1722	-0,017	-0,209	0,176
1228	-0,213	-0,556	0,129	1723	0,04	-0,149	0,229
1229	-0,106	-0,465	0,253	1724	0,019	-0,176	0,214
1230	-0,111	-0,464	0,243	1725	0,014	-0,183	0,211
1231	0,074	-0,286	0,434	1726	0,052	-0,144	0,248
1232	0,133	-0,232	0,499	1727	0,052	-0,145	0,25
1233	0,187	-0,185	0,56	1728	-0,038	-0,235	0,159
1234	0,116	-0,257	0,488	1729	-0,05	-0,249	0,15
1235	0,17	-0,219	0,558	1730	-0,092	-0,292	0,108
1236	0,2	-0,19	0,591	1731	0,01	-0,183	0,203
1237	0,17	-0,216	0,555	1732	0,129	-0,068	0,326
1238	0,085	-0,278	0,447	1733	0,097	-0,097	0,292
1239	0,062	-0,33	0,453	1734	-0,013	-0,198	0,173
1240	0,092	-0,285	0,47	1735	-0,187	-0,368	-0,005
1241	0,177	-0,198	0,552	1736	-0,19	-0,368	-0,011
1242	0,123	-0,246	0,493	1737	-0,246	-0,429	-0,064
1243	0,136	-0,232	0,504	1738	-0,185	-0,371	0,002
1244	0,119	-0,243	0,48	1739	-0,222	-0,402	-0,042
1245	-0,02	-0,356	0,315	1740	-0,386	-0,557	-0,215
1246	0,034	-0,305	0,373	1741	-0,421	-0,589	-0,253
1247	-0,015	-0,351	0,321	1742	-0,357	-0,527	-0,186
1248	-0,099	-0,454	0,255	1743	-0,333	-0,504	-0,162
1249	-0,14	-0,475	0,195	1744	-0,309	-0,48	-0,139
1250	-0,242	-0,557	0,072	1745	-0,186	-0,361	-0,011
1251	-0,273	-0,599	0,053	1746	0,013	-0,17	0,195
1252	-0,26	-0,583	0,063	1747	0,008	-0,172	0,188
1253	-0,381	-0,703	-0,058	1748	0,057	-0,127	0,241

Anhang

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1254	-0,386	-0,706	-0,066	1749	-0,005	-0,191	0,182
1255	-0,355	-0,7	-0,011	1750	-0,004	-0,194	0,186
1256	-0,186	-0,517	0,146	1751	0,068	-0,12	0,257
1257	-0,263	-0,591	0,065	1752	0,032	-0,161	0,224
1258	-0,245	-0,586	0,096	1753	-0,13	-0,327	0,068
1259	-0,16	-0,502	0,181	1754	-0,146	-0,348	0,056
1260	-0,12	-0,484	0,244	1755	-0,16	-0,362	0,043
1261	0,006	-0,364	0,376	1756	-0,187	-0,395	0,022
1262	0,037	-0,35	0,424	1757	-0,208	-0,413	-0,003
1263	0,118	-0,258	0,494	1758	-0,261	-0,465	-0,056
1264	0,167	-0,207	0,542	1759	-0,206	-0,407	-0,005
1265	0,073	-0,3	0,445	1760	-0,194	-0,391	0,004
1266	0,108	-0,252	0,469	1761	-0,131	-0,328	0,067
1267	-0,013	-0,375	0,35	1762	-0,189	-0,386	0,008
1268	0,118	-0,257	0,493	1763	-0,203	-0,403	-0,003
1269	0,221	-0,129	0,571	1764	-0,178	-0,378	0,021
1270	0,096	-0,242	0,434	1765	-0,222	-0,423	-0,021
1271	0,149	-0,173	0,472	1766	-0,429	-0,429	-0,429
1272	0,121	-0,195	0,437	1767	-0,4	-0,4	-0,4
1273	0,117	-0,195	0,428	1768	-0,315	-0,315	-0,315
1274	0,035	-0,273	0,344	1769	-0,279	-0,279	-0,279
1275	0,13	-0,182	0,442	1770	-0,235	-0,435	-0,035
1276	0,068	-0,242	0,378	1771	-0,276	-0,476	-0,076
1277	0,073	-0,237	0,384	1772	-0,316	-0,516	-0,116
1278	0,235	-0,087	0,557	1773	-0,211	-0,411	-0,011
1279	0,235	-0,089	0,558	1774	-0,048	-0,248	0,152
1280	0,239	-0,089	0,568	1775	-0,044	-0,244	0,156
1281	0,316	-0,015	0,646	1776	0,073	-0,127	0,273
1282	0,347	0,026	0,668	1777	0,111	-0,089	0,311
1283	0,339	0,003	0,676	1778	0,152	-0,048	0,352
1284	0,529	0,209	0,848	1779	0,021	-0,179	0,221
1285	0,472	0,149	0,794	1780	-0,075	-0,275	0,125
1286	0,482	0,172	0,791	1781	-0,211	-0,411	-0,011
1287	0,62	0,305	0,935	1782	-0,13	-0,33	0,07
1288	0,544	0,24	0,847	1783	-0,113	-0,313	0,087
1289	0,436	0,145	0,726	1784	-0,186	-0,386	0,014
1290	0,318	0,024	0,612	1785	-0,279	-0,479	-0,079
1291	0,318	0,021	0,616	1786	-0,222	-0,422	-0,022
1292	0,475	0,162	0,788	1787	-0,315	-0,515	-0,115
1293	0,39	0,084	0,696	1788	-0,269	-0,469	-0,069
1294	0,466	0,14	0,793	1789	-0,28	-0,48	-0,08
1295	0,305	-0,014	0,624	1790	-0,196	-0,396	0,004
1296	0,362	0,043	0,68	1791	-0,062	-0,262	0,138
1297	0,321	0,003	0,639	1792	0,1	-0,1	0,3
1298	0,379	0,053	0,706	1793	0,117	-0,083	0,317
1299	0,492	0,17	0,814	1794	0	-0,2	0,2
1300	0,344	0,035	0,653	1795	0,015	-0,185	0,215
1301	0,259	-0,062	0,58	1796	0,034	-0,166	0,234
1302	0,205	-0,115	0,526	1797	0,012	-0,188	0,212
1303	0,044	-0,277	0,364	1798	-0,074	-0,274	0,126
1304	0,057	-0,252	0,366	1799	-0,129	-0,329	0,071
1305	-0,199	-0,508	0,109	1800	-0,382	-0,582	-0,182
1306	-0,284	-0,593	0,025	1801	-0,322	-0,522	-0,122
1307	-0,297	-0,611	0,016	1802	-0,325	-0,525	-0,125
1308	-0,387	-0,712	-0,062	1803	-0,489	-0,689	-0,289
1309	-0,544	-0,888	-0,199	1804	-0,57	-0,77	-0,37
1310	-0,741	-1,088	-0,393	1805	-0,46	-0,66	-0,26
1311	-0,61	-0,983	-0,237	1806	-0,373	-0,573	-0,173
1312	-0,61	-0,997	-0,223	1807	-0,531	-0,731	-0,331
1313	-0,664	-1,03	-0,298	1808	-0,6	-0,8	-0,4
1314	-0,61	-0,947	-0,273	1809	-0,635	-0,835	-0,435
1315	-0,623	-0,964	-0,282	1810	-0,635	-0,835	-0,435
1316	-0,462	-0,827	-0,096	1811	-0,587	-0,787	-0,387
1317	-0,538	-0,897	-0,18	1812	-0,641	-0,841	-0,441
1318	-0,588	-0,924	-0,251	1813	-0,645	-0,845	-0,445
1319	-0,48	-0,825	-0,135	1814	-0,508	-0,708	-0,308
1320	-0,329	-0,666	0,009	1815	-0,537	-0,737	-0,337

F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1321	-0,275	-0,615	0,065	1816	-0,467	-0,667	-0,267
1322	-0,275	-0,618	0,068	1817	-0,422	-0,622	-0,222
1323	-0,055	-0,404	0,295	1818	-0,345	-0,545	-0,145
1324	0,094	-0,262	0,45	1819	-0,219	-0,419	-0,019
1325	-0,006	-0,341	0,329	1820	-0,047	-0,247	0,153
1326	0,083	-0,255	0,422	1821	0,044	-0,156	0,244
1327	0,191	-0,138	0,52	1822	0,185	-0,015	0,385
1328	0,365	0,047	0,683	1823	0,211	0,011	0,411
1329	0,258	-0,067	0,584	1824	-0,005	-0,205	0,195
1330	0,151	-0,158	0,46	1825	-0,135	-0,335	0,065
1331	0,115	-0,214	0,443	1826	-0,037	-0,237	0,163
1332	0,2	-0,136	0,535	1827	-0,1	-0,3	0,1
1333	0,092	-0,221	0,405	1828	-0,223	-0,423	-0,023
1334	-0,087	-0,426	0,251	1829	-0,054	-0,254	0,146
1335	-0,313	-0,647	0,022	1830	-0,145	-0,345	0,055
1336	-0,205	-0,52	0,11	1831	-0,194	-0,394	0,006
1337	-0,42	-0,769	-0,07	1832	-0,313	-0,513	-0,113
1338	-0,545	-0,875	-0,215	1833	-0,477	-0,677	-0,277
1339	-0,568	-0,895	-0,24	1834	-0,511	-0,711	-0,311
1340	-0,394	-0,725	-0,062	1835	-0,41	-0,61	-0,21
1341	-0,488	-0,807	-0,17	1836	-0,307	-0,507	-0,107
1342	-0,586	-0,909	-0,263	1837	-0,386	-0,586	-0,186
1343	-0,496	-0,853	-0,139	1838	-0,335	-0,535	-0,135
1344	-0,312	-0,654	0,031	1839	-0,413	-0,613	-0,213
1345	-0,096	-0,431	0,238	1840	-0,641	-0,841	-0,441
1346	0,052	-0,282	0,386	1841	-0,536	-0,736	-0,336
1347	0,057	-0,275	0,389	1842	-0,619	-0,819	-0,419
1348	0,208	-0,126	0,543	1843	-0,568	-0,768	-0,368
1349	0,203	-0,117	0,523	1844	-0,465	-0,665	-0,265
1350	0,118	-0,216	0,452	1845	-0,517	-0,717	-0,317
1351	0,092	-0,261	0,446	1846	-0,477	-0,677	-0,277
1352	0,379	0,026	0,733	1847	-0,454	-0,654	-0,254
1353	0,339	-0,004	0,681	1848	-0,504	-0,704	-0,304
1354	0,138	-0,178	0,453	1849	-0,533	-0,733	-0,333
1355	0,151	-0,164	0,466	1850	-0,581	-0,781	-0,381
1356	0,061	-0,26	0,381	1851	-0,51	-0,71	-0,31
1357	-0,021	-0,349	0,308	1852	-0,556	-0,756	-0,356
1358	-0,079	-0,411	0,252	1853	-0,545	-0,745	-0,345
1359	-0,231	-0,551	0,089	1854	-0,451	-0,651	-0,251
1360	-0,198	-0,523	0,127	1855	-0,483	-0,683	-0,283
1361	-0,229	-0,568	0,11	1856	-0,423	-0,623	-0,223
1362	-0,347	-0,683	-0,01	1857	-0,317	-0,517	-0,117
1363	-0,423	-0,755	-0,091	1858	-0,27	-0,47	-0,07
1364	-0,387	-0,719	-0,056	1859	-0,307	-0,507	-0,107
1365	-0,428	-0,775	-0,081	1860	-0,263	-0,463	-0,063
1366	-0,437	-0,791	-0,084	1861	-0,089	-0,289	0,111
1367	-0,429	-0,789	-0,069	1862	-0,076	-0,276	0,124
1368	-0,298	-0,657	0,06	1863	0,004	-0,196	0,204
1369	-0,193	-0,542	0,155	1864	0,093	-0,107	0,293
1370	0,004	-0,345	0,352	1865	-0,053	-0,253	0,147
1371	0,115	-0,235	0,464	1866	-0,105	-0,305	0,095
1372	0,079	-0,251	0,408	1867	-0,004	-0,204	0,196
1373	0,079	-0,238	0,395	1868	-0,001	-0,201	0,199
1374	-0,034	-0,351	0,283	1869	-0,079	-0,279	0,121
1375	0,073	-0,239	0,386	1870	0,028	-0,172	0,228
1376	0,202	-0,117	0,522	1871	0,006	-0,194	0,206
1377	0,114	-0,219	0,447	1872	-0,022	-0,222	0,178
1378	0,124	-0,206	0,453	1873	0,018	-0,182	0,218
1379	0,074	-0,23	0,379	1874	-0,232	-0,432	-0,032
1380	0,141	-0,185	0,467	1875	-0,219	-0,419	-0,019
1381	0,128	-0,191	0,448	1876	-0,209	-0,409	-0,009
1382	-0,041	-0,362	0,28	1877	-0,052	-0,252	0,148
1383	0,228	-0,107	0,563	1878	-0,175	-0,375	0,025
1384	0,192	-0,152	0,536	1879	-0,187	-0,387	0,013
1385	0,238	-0,097	0,572	1880	-0,23	-0,43	-0,03
1386	0,287	-0,053	0,627	1881	-0,216	-0,416	-0,016
1387	0,171	-0,171	0,513	1882	-0,309	-0,509	-0,109

Anhang

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1388	0,197	-0,135	0,528	1883	-0,438	-0,638	-0,238
1389	0,007	-0,326	0,341	1884	-0,516	-0,716	-0,316
1390	0,044	-0,289	0,376	1885	-0,443	-0,643	-0,243
1391	-0,1	-0,44	0,24	1886	-0,524	-0,724	-0,324
1392	-0,069	-0,421	0,282	1887	-0,502	-0,702	-0,302
1393	0,01	-0,353	0,374	1888	-0,543	-0,743	-0,343
1394	-0,197	-0,569	0,175	1889	-0,512	-0,712	-0,312
1395	-0,076	-0,451	0,298	1890	-0,61	-0,81	-0,41
1396	0,005	-0,356	0,367	1891	-0,612	-0,812	-0,412
1397	0,015	-0,367	0,398	1892	-0,591	-0,791	-0,391
1398	0,051	-0,317	0,419	1893	-0,446	-0,646	-0,246
1399	-0,02	-0,382	0,342	1894	-0,32	-0,52	-0,12
1400	0,031	-0,31	0,373	1895	-0,235	-0,435	-0,035
1401	0	-0,328	0,328	1896	-0,206	-0,406	-0,006
1402	0,013	-0,301	0,327	1897	-0,225	-0,425	-0,025
1403	-0,161	-0,469	0,147	1898	-0,141	-0,341	0,059
1404	-0,215	-0,512	0,083	1899	-0,092	-0,292	0,108
1405	-0,089	-0,387	0,209	1900	-0,105	-0,305	0,095
1406	-0,146	-0,437	0,145	1901	-0,02	-0,22	0,18
1407	-0,143	-0,427	0,142	1902	-0,008	-0,208	0,192
1408	-0,261	-0,561	0,04	1903	-0,052	-0,252	0,148
1409	-0,181	-0,5	0,139	1904	-0,169	-0,369	0,031
1410	-0,168	-0,508	0,172	1905	-0,152	-0,352	0,048
1411	-0,101	-0,455	0,253	1906	-0,088	-0,288	0,112
1412	-0,214	-0,567	0,138	1907	-0,074	-0,274	0,126
1413	-0,273	-0,627	0,08	1908	0,046	-0,154	0,246
1414	-0,296	-0,66	0,068	1909	0,056	-0,144	0,256
1415	-0,166	-0,513	0,182	1910	0,01	-0,19	0,21
1416	-0,246	-0,581	0,09	1911	0,05	-0,15	0,25
1417	-0,233	-0,585	0,119	1912	-0,025	-0,225	0,175
1418	-0,42	-0,763	-0,078	1913	0,034	-0,166	0,234
1419	-0,307	-0,672	0,057	1914	0,01	-0,19	0,21
1420	-0,185	-0,55	0,181	1915	0,129	-0,071	0,329
1421	-0,054	-0,416	0,308	1916	0,184	-0,016	0,384
1422	-0,072	-0,435	0,29	1917	0,008	-0,192	0,208
1423	0	-0,331	0,331	1918	0,017	-0,183	0,217
1424	-0,062	-0,374	0,251	1919	-0,08	-0,28	0,12
1425	-0,049	-0,373	0,275	1920	-0,103	-0,303	0,097
1426	-0,103	-0,443	0,237	1921	-0,028	-0,228	0,172
1427	-0,077	-0,441	0,288	1922	-0,061	-0,261	0,139
1428	-0,031	-0,396	0,334	1923	0,025	-0,175	0,225
1429	0,134	-0,222	0,49	1924	-0,065	-0,265	0,135
1430	-0,056	-0,397	0,286	1925	0,077	-0,123	0,277
1431	-0,11	-0,439	0,22	1926	-0,013	-0,213	0,187
1432	-0,263	-0,601	0,075	1927	-0,069	-0,269	0,131
1433	-0,327	-0,667	0,013	1928	-0,01	-0,21	0,19
1434	-0,309	-0,654	0,035	1929	0,146	-0,054	0,346
1435	-0,22	-0,549	0,109	1930	0,231	0,031	0,431
1436	-0,148	-0,467	0,17	1931	0,254	0,054	0,454
1437	-0,194	-0,497	0,11	1932	0,259	0,059	0,459
1438	-0,291	-0,604	0,021	1933	0,327	0,127	0,527
1439	-0,229	-0,524	0,065	1934	0,331	0,131	0,531
1440	-0,304	-0,597	-0,011	1935	0,273	0,073	0,473
1441	-0,335	-0,639	-0,031	1936	0,14	-0,06	0,34
1442	-0,386	-0,67	-0,101	1937	0,118	-0,082	0,318
1443	-0,242	-0,515	0,031	1938	0,175	-0,025	0,375
1444	-0,119	-0,406	0,168	1939	0,23	0,03	0,43
1445	-0,119	-0,407	0,169	1940	0,173	-0,027	0,373
1446	-0,078	-0,373	0,217	1941	0,168	-0,032	0,368
1447	-0,15	-0,44	0,141	1942	0,175	-0,025	0,375
1448	-0,225	-0,526	0,077	1943	0,209	0,009	0,409
1449	-0,261	-0,565	0,044	1944	0,253	0,053	0,453
1450	-0,422	-0,729	-0,115	1945	0,285	0,085	0,485
1451	-0,512	-0,821	-0,203	1946	0,475	0,275	0,675
1452	-0,261	-0,567	0,046	1947	0,547	0,347	0,747
1453	-0,412	-0,724	-0,101	1948	0,712	0,512	0,912
1454	-0,618	-0,959	-0,276	1949	0,607	0,407	0,807

F. Rekonstruierte Temperaturentwicklung

Jahr	dT	uF	oF	Jahr	Δ T	uF	oF
1455	-0,69	-1,02	-0,36	1950	0,549	0,349	0,749
1456	-0,677	-1,013	-0,34	1951	0,367	0,167	0,567
1457	-0,673	-0,999	-0,348	1952	0,404	0,204	0,604
1458	-0,584	-0,885	-0,282	1953	0,383	0,183	0,583
1459	-0,499	-0,822	-0,176	1954	0,396	0,196	0,596
1460	-0,437	-0,774	-0,101	1955	0,331	0,131	0,531
1461	-0,41	-0,745	-0,075	1956	0,362	0,162	0,562
1462	-0,209	-0,548	0,129	1957	0,217	0,017	0,417
1463	-0,437	-0,775	-0,1	1958	0,143	-0,057	0,343
1464	-0,366	-0,687	-0,044	1959	0,068	-0,132	0,268
1465	-0,268	-0,585	0,049	1960	0,048	-0,152	0,248
1466	-0,093	-0,376	0,189	1961	0,131	-0,069	0,331
1467	0,055	-0,243	0,353	1962	0,317	0,117	0,517
1468	0,119	-0,178	0,415	1963	0,278	0,078	0,478
1469	0,029	-0,285	0,342	1964	0,241	0,041	0,441
1470	0,001	-0,327	0,329	1965	0,116	-0,084	0,316
1471	0,024	-0,287	0,336	1966	0,126	-0,074	0,326
1472	0,015	-0,317	0,346	1967	0,029	-0,171	0,229
1473	0,024	-0,308	0,357	1968	0,131	-0,069	0,331
1474	0,14	-0,181	0,461	1969	0,284	0,084	0,484
1475	0,171	-0,177	0,518	1970	0,356	0,156	0,556
1476	0,037	-0,308	0,382	1971	0,45	0,25	0,65
1477	0,037	-0,309	0,383	1972	0,465	0,265	0,665
1478	-0,04	-0,388	0,309	1973	0,36	0,16	0,56
1479	-0,273	-0,613	0,068	1974	0,316	0,116	0,516
1480	-0,286	-0,643	0,072	1975	0,3	0,1	0,5
1481	-0,329	-0,67	0,012	1976	0,344	0,144	0,544
1482	-0,329	-0,679	0,02	1977	0,386	0,186	0,586
1483	-0,266	-0,621	0,089	1978	0,494	0,294	0,694
1484	-0,309	-0,658	0,039	1979	0,469	0,269	0,669
1485	-0,479	-0,834	-0,124	1980	0,345	0,145	0,545
1486	-0,582	-0,925	-0,239	1981	0,253	0,053	0,453
1487	-0,515	-0,852	-0,177	1982	0,157	-0,043	0,357
1488	-0,686	-1,027	-0,345	1983	0,198	-0,002	0,398
1489	-0,686	-1,02	-0,353	1984	0,362	0,162	0,562
1490	-0,579	-0,906	-0,252	1985	0,532	0,332	0,732
1491	-0,571	-0,922	-0,22	1986	0,613	0,413	0,813
1492	-0,392	-0,734	-0,05	1987	0,727	0,527	0,927
1493	-0,334	-0,674	0,007	1988	0,669	0,469	0,869
1494	-0,402	-0,745	-0,059	1989	0,728	0,528	0,928
1495	-0,44	-0,781	-0,1	1990	0,812	0,612	1,012
1496	-0,251	-0,575	0,073	1991	0,793	0,593	0,993
1497	-0,189	-0,508	0,13	1992	0,888	0,688	1,088
1498	-0,158	-0,475	0,158	1993	1,032	0,832	1,232
1499	-0,131	-0,463	0,201	1994	1,067	0,867	1,267
				1995	1,096	0,896	1,296
				1996	1,05	0,85	1,25
				1997	1,149	0,949	1,349
				1998	1,149	0,949	1,349
				1999	1,207	1,007	1,407
				2000	1,14	0,94	1,34
				2001	1,193	0,993	1,393