

WÜRZBURGER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN
Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Würzburg

Herausgeber: D. Böhn – H. Hagedorn – H. Jäger – H.-G. Wagner

Heft 89

Mensch und Umwelt in Franken

Festschrift für Alfred Herold

Herausgegeben von
W. Schenk und K. Schliephake

Würzburg 1994

Im Selbstverlag des Instituts für Geographie der Universität Würzburg
in Verbindung mit der Geographischen Gesellschaft Würzburg

GEFÖRDERT MIT MITTELN DER GEOWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT WÜRZBURG UND DES BEZIRKS UNTERFRANKEN

Druck: Böhrer-Verlag GmbH, Seilerstraße 10, 97084 Würzburg

Bezug: Institut für Geographie der Universität Würzburg, Am Hubland,
D-97074 Würzburg

© Alle Rechte vorbehalten

ISSN: 0150-9833

Regionale Aspekte des rezenten Klimawandels am Beispiel Unterfranken

Jucundus JACOBET (Würzburg)

1. Allgemeine Überlegungen

Nachdem sich mittlerweile vielfältige Hinweise auf anthropogene Modifikationen des Globalklimas durch eine Verstärkung des sog. Treibhauseffekts verdichtet haben (vgl. SCHÖNWIESE 1991), rückt zunehmend die Frage in den Vordergrund klimatologischer Betrachtungen, mit welchen regionalen Unterschieden bei der zu erwartenden globalen Klimaänderung gerechnet werden muß. Dies betrifft nicht nur den Aspekt einer räumlichen Differenzierung der thermischen Veränderungen (unterschiedliches Ausmaß der Erwärmung in verschiedenen Erdregionen, ggf. auch gegenläufige Entwicklungen in einzelnen Bereichen), sondern auch die landschaftsökologisch wie volkswirtschaftlich noch bedeutsamere Frage, welche sonstigen klimatischen Auswirkungen insbesondere hygri-scher Natur sich in den individuellen Erdräumen einstellen dürften. Im Gegensatz zur einigermaßen konvergenten Abschätzung globaler Veränderungen bestehen aber bei den heutigen numerischen Klimamodellen gerade hinsichtlich der regionalen Auflösung besonders große Unsicherheiten (HASSELMANN 1990: 11), selbst in der meist noch großräumigen Bezogenheit der gegenwärtigen Modellgeneration (benachbarte Gitterpunkte liegen 500–1000 km voneinander entfernt). GROUCH & MacCRACKEN (1991) konstatieren auf der regionalen Skala bei saisonalen Betrachtungszeiträumen sogar verbleibende Abschätzungsdifferenzen zwischen verschiedenen Modellen, die ähnlich groß sind wie die projizierten Veränderungen selbst.

Will man jedoch auch verlässliche Auskünfte über Räume bis zur Größenordnung Unterfrankens – und das sind vom örtlichen wie vom anwendungsbezogenen Gesichtspunkt her gerade relevante Dimensionen –, so wird man sich zusätzlicher oder andersartiger Verfahren bedienen müssen. Ein möglicher Weg besteht darin, räumlich höher auflösende mesoskalige Klimamodelle zu entwickeln, die von einem makroskaligen Modell angetrieben werden, ihm also gewissermaßen eingepflanzt werden (sog. nesting). Anwendungsbeispiele, bezogen auf die westlichen Vereinigten Staaten bzw. auf Westeuropa, sind etwa die Arbeiten von GIORGI (1990) oder von WILSON & MITCHELL (1987).

Ein weiterer Weg verfolgt das Ziel, statistische Beziehungen zwischen großskaliger Information und regionalen oder lokalen Klimabeobachtungsdaten herzustellen, um darüber die räumlich nur grob aufgelösten globalen Klimamodellsimulationen auch für kleinräumigere Abschätzungen möglicher Klimaänderungen heranziehen zu können. Die Verknüpfung verschiedener räumlicher Skalen kann dabei direkt über einzelne Klimaelemente erfolgen (WILKS 1989) oder aber über meist mehrstufige Verfahren, bei denen das örtliche Klima auf großskalige Zirkulationsinformation bezogen wird (KARL et al. 1990). Jüngere Anwendungsbeispiele auf die Frage regionaler Auswirkungen des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts sind etwa die Arbeiten von v. STORCH et al. (1991) und v. SEGGERN (1992), in denen die für derzeitige Verhältnisse statistisch gewonnenen Zusammenhänge zwischen großräumiger Zirkulation und regionalem Klima dazu eingesetzt werden, aus der modellhaft vorausberechneten Zirkulation bei kontinuierlich angestiegenen Treibhausgaskonzentrationen räumlich hoch aufgelöste Abschätzungen über resultierende Veränderungen im iberischen Winterniederschlag bzw. bei monatlichen Temperatur- und Niederschlagswerten in Westeuropa und Bayern herzuleiten. Allerdings bleibt zu berücksichtigen, daß bei der lokalklimatischen Varianzerklärung durch großskalige Prädiktoren charakteristische Unterschiede zwischen verschiedenen Klimaelementen (meist höhere Erklärungsanteile bei der Temperatur als beim Niederschlag etwa) sowie generell große räumliche Differenzen aufgrund örtlichkeitsspezifischer Gegebenheiten auftreten (WIGLEY et al. 1990).

Auch mit rein statistischen Vorgehensweisen (d.h. ohne Verwendung von Simulationsergebnissen numerischer Klimamodelle) lassen sich regional aufgeschlüsselte Informationen über mögliche Klimaänderungen gewinnen. Beispiel dafür sind vor allem die multiplen Regressionsmodelle von SCHÖNWIESE (1991), die den Verlauf der bodennahen Lufttemperatur in Abhängigkeit von parametrisierten Einflußgrößen (Solaraktivität, Vulkantätigkeit, CO₂-Konzentration, El-Niño-Schwankung) reproduzieren und insbesondere auch für eine regional differenzierte Temperaturänderungsabschätzung bei angenommener CO₂-Verdoppelung instrumentalisiert werden können. Für Mitteleuropa ergeben sich dabei gegenüber dem globalen Mittel unterdurchschnittliche Erwärmungsbeträge, allerdings in dieser Regionalbezogenheit ebenfalls mit erheblichen Unsicherheiten behaftet (SCHÖNWIESE 1991: 74).

Ein weiterer Ansatzpunkt für regional orientierte Betrachtungen zum rezenten Klimawandel besteht darin, atmosphärische Zirkulationsanomalien im verfügbaren Datenmaterial aufzuspüren, die sich der generellen Klimaentwicklung zuordnen lassen und über ihre charakteristische Strömungskonfiguration räumlich differenzierte Auswirkungen zu erkennen gestatten. Grundlage einer derartigen Vorgehensweise ist die Vorstellung, daß rezente Anomalien gewisserma-

ßen als Abbild eines geänderten Klimas aufgefaßt werden können, unter dessen Wirksamkeit sich atmosphärische Zustandsformen, die heute nur als gelegentliche Anomalien auftreten, gehäuft oder gar in bestimmendem Umfang ausbilden. Tatsächlich läßt sich in den mitteltroposphärischen Geopotentialfeldern (500 hPa-Niveau) der winterlichen Nordhemisphäre in den vergangenen rund vier Jahrzehnten ein grundlegendes Zirkulationsmuster feststellen, das folgende für unsere Fragestellung relevante Eigenschaften zeigt (JACOBET 1993a):

- Es tritt verstärkt bei anomal niedrigen meridionalen Temperaturkontrasten in der unteren Troposphäre in Erscheinung, also bei reduziertem thermischen Gefälle zwischen niederen und höheren geographischen Breiten, wie es in der unteren Hälfte der Troposphäre für den Fall einer globalen Erwärmung allgemein erwartet wird.

- In seiner räumlichen Struktur ist dieses Zirkulationsmuster gekennzeichnet durch negative Geopotentialanomalien im pazifischen Großraum und über dem südöstlichen Nordamerika sowie positive Anomalien über Nordwestamerika, woraus sich die gebräuchliche Bezeichnung PNA-Muster („Pacific/ North- American pattern“) ableitet. Für mitteleuropäische Untersuchungsgebiete sind gerade die weiteren Strukturmerkmale von Bedeutung, die sich in gesamthemisphärischer Betrachtung ergeben (JACOBET 1993a): ein Antizyklonalzentrum über dem mittleren Nordatlantik, ein abgeschwächter europäischer Höhentrog und eine kräftige Zonalströmung über dem nördlichen Europa.

- Dieses PNA-Muster zeigt nicht nur eine gewisse Auftretsbegünstigung bei äquatorialpazifischen El-Niño-Ereignissen, sondern hat in den insgesamt beobachteten Strömungsfeldern der vergangenen Jahrzehnte seine Repräsentanz bereits signifikant gesteigert (JACOBET 1993a). Es liegt also nahe, in diesem Zirkulationsmuster eine Manifestation atmosphärischer Zustandsformen zu erblicken, die im Zuge einer globalen Erwärmung verstärkt in Erscheinung treten. Entsprechend wird man in den regionalen Ausprägungen der hemisphärischen Strömungskonfiguration Hinweise auf klimatische Entwicklungstendenzen im jeweiligen Untersuchungsraum aufzufinden versuchen.

Bewegt man sich in der räumlichen Betrachtungsdimension allerdings in der Größenordnung Unterfrankens, wird man hemisphärischen Zirkulationsmustern höchstens dann regionalspezifische Information entnehmen können, wenn sich das Untersuchungsgebiet im Kernbereich eines Aktionszentrums befindet. Die Strömungskonfiguration des PNA-Musters ist jedoch derart beschaffen (s.o.), daß sich am Rande der maßgeblichen Zirkulationsglieder (zentralatlantisches Hoch, abgeschwächter europäischer Höhentrog, nordeuropäische Zonalströmung) weder thermisch noch hygrysch eindeutige Aussagen für Unter-

franken herleiten lassen. Hinsichtlich der resultierenden Niederschlagsveränderungen etwa befindet man sich gerade im Bereich zwischen sich abzeichnenden Zunahmen im nördlicheren Europa und Abnahmen im Mittelmeerraum. Diese generelle Breitendifferenzierung in der Niederschlagsentwicklung Europas scheint in der Tat nicht nur zirkulationsdynamisch plausibel, sie zeigt sich auch in statistischen Bearbeitungen umfangreichen Datenmaterials, sowohl im Trend rezenter Beobachtungsreihen als auch bei einer multiplen Regressions-simulation für verdoppelte atmosphärische CO₂-Konzentration (SCHÖNWIESE & BIRRONG 1990). Allein aus der Zirkulationsbetrachtung lassen sich jedoch keine verlässlichen Grenzen der Niederschlagszu- bzw. -abnahmegebiete sowie keine Tendenzen im Übergangsbereich angeben.

Im folgenden soll deshalb versucht werden, über die Verknüpfung unterfränkischer Klimadaten mit großräumiger Zirkulationsinformation einige regionalbezogene Aussagen zum rezenten Klimawandel herbeizuführen.

2. Abschätzungen zum Klimawandel in Unterfranken

Als abstützender Zeitraum muß die Spanne verfügbarer Zirkulationsdaten herangezogen werden (1947–1987), saisonal bleibt der Versuch auf den Winter beschränkt (Dezember bis Februar), da sich bislang nur für diese Jahreszeit die oben genannten Zirkulationstendenzen aufzeigen lassen. Als zu verknüpfende Klimadaten werden monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte aus Unterfranken für den genannten Zeitraum verwendet. Wie bereits GLASER (1991: 85ff.) zeigen konnte, ist die Station Würzburg bezüglich Temperatur- und Niederschlagsgang auf monatlicher Basis repräsentativ für nahezu das gesamte Unterfranken, für einige Ausnahmen (Miltenberg, Rhönhaus, Fladungen, Bad Königshofen im Grabfeld) zumindest auch noch in den hier betrachteten Wintermonaten. Es genügt also, zur Abschätzung der makroskalig zirkulationsbedingten Klimaveränderlichkeit in Unterfranken die Ergebnisse für die repräsentierende Station Würzburg zu diskutieren; Änderungen an anderen unterfränkischen Stationen sind auch bei differierenden Absolutbeträgen auf der klimatologischen Zeitskala jeweils im entsprechenden Verhältnis an die Würzburger Entwicklung gebunden.

Zur zeitlichen Parallelisierung mit den monatlichen Temperatur- und Niederschlagsdaten benötigen wir analoge Zeitreihen für die großräumigen Zirkulationsmuster, die sich wie insbesondere das bereits erläuterte PNA-Muster in nordhemisphärischen Wintern mit anomal über- oder unterdurchschnittlichen meridionalen Temperaturkontrasten als grundlegende Strömungskonfigurationen ergeben haben (JACOBET 1993a). Diese Zeitkoeffizienten der Zirkulationsmuster erhalten wir als monatlich gemittelte Quadrate ihrer Korrelationskoeffizienten mit allen beobachteten Geopotentialfeldern, gleichbedeu-

tend mit den in diesen Feldern durch das jeweilige Muster erklärten Varianzanteilen. Die Zeitkoeffizienten geben also wieder, in welchem Ausmaß ein Zirkulationsmuster im realen Strömungsfeld jeden einzelnen Monats repräsentiert ist. Sowohl Temperatur- wie Niederschlagsdaten als auch die Zeitkoeffizienten der Zirkulationsmuster werden in standardisierter Form verwendet (durch die jeweilige Standardabweichung der gesamten Reihe dividierte Abweichungen vom Mittelwert), wodurch eine unmittelbare Bewertung der Einzeldaten möglich ist (Werte betragsmäßig größer als 1 liegen außerhalb der Standardabweichungsbandbreite und können als Überschreitende des „Hintergrundrauschens“ aufgefaßt werden).

In einem ersten Schritt werden die Temperatur- und Niederschlagsreihen der repräsentierenden Station Würzburg mit dem Zeitkoeffizienten des PNA-Musters korreliert (verteilungsfreie Rechnung nach Spearman). Die Ergebnisse gestalten sich unterschiedlich:

a) Bei den Temperaturwerten resultiert kein statistisch signifikanter Zusammenhang zum hemisphärischen Zirkulationsmuster, d.h., aus den zeitlichen Auftrittsschwankungen des PNA-Musters läßt sich nicht auf korrespondierende Temperaturschwankungen in Unterfranken schließen. Damit kann für die vermutete Auftrittszunahme des PNA-Musters im Zuge der globalen Erwärmung auch keine regionale Temperaturänderungsabschätzung vorgenommen werden. Angesichts der weiter oben beschriebenen musterhaften Strömungskonfiguration im Umfeld Mitteleuropas verwundert dieser Befund auch nicht, da eine viel zu große Schwankungsbreite der Luftmassenadvektion für unser betrachtetes Gebiet damit verbunden ist. Regionale Temperaturänderungen ergeben sich also erst aufgrund zirkulationstypinterner Veränderungen (modifizierte Temperaturen der advehierten Luftmassen) oder bei wesentlich stärkerer Differenzierung der großräumigen Zirkulationsverhältnisse. Von SEGGERN (1992) gelangt auf diesem Weg zu durchschnittlich 3,2 °C höheren Wintertemperaturen in Bayern (bei vernachlässigbaren innerbayerischen Unterschieden) für Bedingungen einer rund 100jährig ungebremst fortgesetzten Treibhausgasfreisetzung.

b) Die Korrelation der Würzburger Niederschlagsreihe mit dem Zeitkoeffizienten des PNA-Musters ergibt einen Rang-Koeffizienten von +0,434, der auf dem 99,9 %-Niveau statistisch signifikant ist. Allerdings verweist seine relativ geringe Betragsgröße erneut auf weitere Einflußfaktoren (neben den anderen Zirkulationsmustern auch typinterne und lokalspezifische Schwankungsursachen) und verlangt nach einer genaueren Auflösung des erhaltenen Teilzusammenhangs. Dies kann z.B. dadurch geschehen, daß wir insbesondere diejenigen Wintermonate betrachten, in denen der PNA-Zeitkoeffizient anomal hohe Werte größer als 1 annimmt (Tab. 1). Diese Monate sind insofern von besonderer Bedeutsamkeit, als sie gerade die Zeitabschnitte überdurchschnitt-

licher Repräsentanz des PNA-Musters in den realen Geopotentialfeldern darstellen, während die sonstigen Schwankungen sich im Bereich des „Hintergrundrauschens“ bewegen (Werte zwischen -1 und +1) oder sogar bedeutungsarme Restrepräsentanz indizieren (Werte kleiner als -1), bei der das großräumige Zirkulationsgeschehen von anderen Mustern dominiert wird.

Wie Tab. 1 zeigt, ist ein verstärktes Hervortreten des PNA-Musters, das auch für den Fall einer globalen Erwärmung angenommen werden kann, durchaus nicht generell mit einer regionalen Niederschlagszunahme verbunden. Aber es läßt sich erkennen, daß alle Abweichungen, die überhaupt außerhalb des „Hintergrundrauschens“ liegen, positives Vorzeichen tragen (Tab. 1). Eine Häufung oder Intensivierung PNA-artiger Strömungskonfigurationen bedeutet danach also, daß sich in Unterfranken neben den üblichen Niederschlagsfluktuationen eine Tendenz zu selteneren anomal trockenen und zu häufigeren anomal feuchten Wintermonaten abzeichnet (Tab. 2): gegenüber einer Auftrittswahrscheinlichkeit dieser Niederschlagsanomalien im gesamten Betrachtungszeitraum von ungefähr 12 % bzw. 15 % ergibt sich für die Teilmenge aus Tab. 1 eine fehlende bzw. rund doppelt so hohe Auftrittshäufigkeit, gegenüber dem Komplementärkollektiv zu Tab. 1 sogar eine 20 %-Zunahme bei der positiven Niederschlagsanomalie. Es bleibt natürlich zu berücksichtigen, daß bei diesen Betrachtungen lediglich die PNA-Schwankungen Eingang gefunden haben, Einwirkungsanteile anderer Zirkulationsmuster sind wegen ihres unklaren Stellenwerts bei der rezenten Erwärmung auch nicht substantiell zu diskutieren.

Tabelle 1: Standardisierte Abweichungen des monatlichen Niederschlags an der Station Würzburg (N_w) für die Wintermonate im Zeitraum 1947–1987 mit anomal hoher Repräsentanz des PNA-Zirkulationsmusters (d.h. bei standardisierten Zeitkoeffizientenwerten >1)

Monat/Jahr	N_w	Monat/Jahr	N_w
2/52	0.179	1/77	0.170
1/58	1.048	2/77	1.115
2/58	2.609	1/78	-0.336
12/60	0.197	2/78	-0.613
12/66	1.778	2/80	0.093
2/68	0.769	1/81	1.692
12/69	-0.915	1/83	0.117
2/70	3.026	2/83	-0.480
2/73	0.121	12/85	-0.568
12/73	-0.039	1/86	2.169
12/74	0.268	2/87	0.179

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 2: Prozentuale Auftretshäufigkeiten negativer und positiver Niederschlagsanomalien (um mehr als eine Standardabweichung vom Mittelwert verschieden) an der Station Würzburg für drei verschiedene Zeitabschnitte:

A: alle Monate mit einem Zeitkoeffizienten des PNA-Zirkulationsmusters größer als 1 (vgl. Tab. 1)

B: alle restlichen Wintermonate (PNA-Zeitkoeffizient kleiner als 1)

C: alle Wintermonate im Zeitraum 1947–1987

	A	B	C
negativ	0.0	14.9	12.2
positiv	31.8	11.9	15.4

Quelle: Eigene Berechnungen

Um schließlich noch eine quantitative Abschätzung der zu erwartenden Niederschlagsänderungen durchführen zu können, bedienen wir uns freundlicherweise vom Deutschen Klimarechenzentrum zur Verfügung gestellter Berechnungsergebnisse des atmosphärisch-ozeanisch gekoppelten Hamburger Klimamodells, mit dem z.B. numerische Simulationen zukünftiger Klimaverhältnisse durchgeführt werden (vgl. JACOBEIT 1993b). In unserem Kontext sind vor allem die einhundertjährigen Vorausberechnungen für den Fall einer ungebremst steigenden Treibhausgasfreisetzung (IPCC-Szenario A, s. HOUGHTON et al. 1990) sowie der Kontrollfall konstant verbleibender Spurengaskonzentration von Bedeutung. Analysieren wir jeweils die letzten 10 Jahre dieser Berechnungsvarianten, so finden wir in den winterlichen Geopotentialfeldern der mittleren Troposphäre (500 hPa-Niveau) ganz ähnliche grundlegende Zirkulationsmuster wie im rezenten Beobachtungszeitraum, insbesondere auch eine PNA-artige Strömungskonfiguration. Bemerkenswerterweise ist dieses Muster unter den Bedingungen eines verstärkten Treibhauseffekts umfangreicher in den simulierten Geopotentialfeldern vertreten als bei etwa heutigen Spurengaskonzentrationen. Läßt man diesen Repräsentanzunterschied in die empirische Regression zwischen PNA-Muster und Würzburger Niederschlag entsprechend der beobachtungsgestützten Korrelation eingehen, so resultiert eine etwa 23 %ige Zunahme des mittleren Winterniederschlags, mit der man unter der Szenario-A-Variante eines verstärkten Treibhauseffekts in Unterfranken zu rechnen hätte. Dieser Wert mutet allerdings etwas hoch an, insbesondere wenn man ihn mit den durchschnittlich knapp 11 % winterlicher Niederschlagszunahme vergleicht, die v. SEGGERN (1992) für dasselbe Szenario bei ungleich aufwendigerer Berechnung im nordbayerischen Breitenstreifen zwischen 49,6°N und 50°N erhält. Unsere Schätzung läßt sich aber noch verbessern, denn zwischen den Teilkollektiven von Kontrollfall und Szenario A findet außer der Repräsentanzzunahme des PNA-Musters auch noch eine signifikante Repräsentanzabnahme einer weiteren Strömungskonfiguration statt, die im rezenten

Beobachtungsmaterial ebenfalls – wenngleich ohne signifikanten Abnahmetrend – vertreten ist. Dieses Zirkulationsmuster kann in Anlehnung an die gebräuchliche Terminologie als negative Phase der Nordatlantischen Oszillation (NAO) bezeichnet werden, und die zusätzliche Einbringung ihres Rückgangs unter verstärkten Treibhausbedingungen in ein multiples Regressionsmodell zwischen großräumiger Zirkulation und lokalem Klima reduziert die geschätzte Zunahme des Winterniederschlags in Unterfranken auf etwa 8,5 %.

Selbstverständlich können derartige Angaben nur als erste grobe Näherungen aufgefaßt werden. Die vielfältigen geophysikalischen Prozesse, die zwischen einer makroskaligen Strömungsanordnung und der örtlichen Auslösung von Niederschlagsvorgängen liegen, bedingen einen Großteil der noch überwiegenden Residualvarianz und sind in ihrem lokalen Klimaveränderungspotential nur schwer abzuschätzen. Weiterhin sind bei den bisherigen Versuchen keine typinternen Veränderungen berücksichtigt. Im vorliegenden Fall wären das etwa erwärmungsbedingte Zunahmen des *precipitable water* oder im Simulationskollektiv erkennbare Verschiebungen des zentralatlantischen Hochs im PNA-Muster nach West- und Mitteleuropa, zwei Teilvorgänge, die in unbekanntem Ausmaß gegenläufig auf das regionale Niederschlagsgeschehen einwirken.

Das dennoch aller Voraussicht nach positive Vorzeichen der Niederschlagsänderung im unterfränkischen Winter sollte allerdings allein nicht schon als effektives hygrisches Verbesserungsmoment eingestuft werden. Bekanntermaßen spielen zeitliche Transfers von Bodenwasserreserven eine wichtige Rolle im Feuchtigkeitshaushalt (FLOHN & FANTECHI 1984: 278), und für die Wasserversorgung während der Vegetationsperiode hat auch der vorausgehende Winterniederschlag große Bedeutung. Die Abschätzungen zur Änderung der klimatischen Wasserbilanz in Bayern unter den Bedingungen eines verstärkten Treibhauseffekts nach von SEGGERN (1992) zeigen aber für die nördlichen Landesteile im Sommer trotz einer gewissen Zunahme der Niederschläge nach Abzug der Verdunstung nur mehr derartig reduziertes verfügbares Wasser, daß die jährliche Bilanz durch die moderaten Zunahmebeträge im Winter nicht mehr auf heutigem Stand gehalten werden kann. Hier zeichnet sich also ein ökologisches Risikomoment ab, von dem vor allem Nordbayern betroffen wäre, während z.B. am Alpenrand durch größere winterliche Überschüsse eine verbesserte Jahresbilanz zu erwarten wäre (von SEGGERN 1992).

Die bemerkenswerte Vielgestaltigkeit, mit der regional unterschiedliche Ausprägungen globaler Klimaänderungen aufzutreten neigen (HAGEDORN 1992), erzeugt zwar beträchtliche Komplikationen bei ihrer zutreffenden Erfassung und Analyse, darf uns aber im Interesse konkreter Orts- und Raumbezogenheit nicht davon abhalten, auf diesem gerade erst begonnenen und anwendungsbedeutsamen Weg zielstrebig weiterzugehen.

Literatur

- FLOHN, H. & R. FANTECHI (1984; Hrsg.): The climate of Europe: Past, present and future.– Dordrecht, Boston, Lancaster.
- GIORGI, F. (1990): Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model.– In: *Journal of Climate* 3: 941–963.
- GLASER, R. (1991): Klimarekonstruktion für Mainfranken, Bauland und Odenwald anhand direkter und indirekter Witterungsdaten seit 1500 (= Paläoklimaforschung 5).
- GROTCH, S.L. & M.C. Mac CRACKEN (1991): The Use of General Circulation Models to predict Regional Climatic Change.– In: *Journal of Climate* 4: 286–303.
- HAGEDORN, H. (1992): Klimaänderungen und ihre Auswirkungen in regionaler Sicht.– In: Bayer. Landtag (Hrsg.): *Matinée im Bayerischen Landtag*: 74–106.
- HASSELMANN, K. (1990): How well can we predict the climate crisis? (= Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report 57).
- HOUGHTON, J. T. & G. J. JENKINS & J. J. EPHRAUMS (1990; Hrsg.): *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment.*– Cambridge UP.
- JACOBET, J. (1993a): Regionale Unterschiede im atmosphärischen Zirkulationsgeschehen bei globalen Klimaveränderungen.– In: *Die Erde* 124: 63–77.
- JACOBET, J. (1993b): Möglichkeiten und Probleme der Abschätzung zukünftiger Klimaänderungen.– In: *Würzburger Geogr. Arb.* 87: 419–430 (Festschrift Hagedorn).
- KARL, Th. R. & W. WANG & M. E. SCHLESINGER & R. W. KNIGHT & D. PORTMAN (1990): A Method of Relating General Circulation Model Simulated Climate to the Observed Local Climate. P. I: Seasonal Statistics.– In: *Journal of Climate* 3: 1053–1079.
- SCHÖNWIESE, Ch.-D. (1991): Das Problem menschlicher Eingriffe in das Globalklima („Treibhauseffekt“) in aktueller Übersicht (= *Frankfurter Geowiss. Arb.*, Ser. B, 3).
- SCHÖNWIESE, Ch.-D. & W. BIRRONG (1990): European precipitation trend statistics 1851–1980 including multivariate assessments of the anthropogenic CO₂ signal.– In: *Zt. f. Meteorologie* 40: 92–98.
- SEGGERN, J. von (1992): *Empirische Modelle regionaler Klimaänderungen in Westeuropa und Bayern.* – Erlangen–Nürnberg. Diss.
- STORCH, H. von & E. ZORITA & U. CUBASCH (1991): Downscaling of global climatic change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime (= Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report 64).
- WIGLEY, T. M. L. & P. D. JONES & K. R. BRIFFA & G. SMITH (1990): Obtaining Sub-Grid-Scale Information from Coarse-Resolution General Circulation Model Output.– In: *Journal of Geophysical Research* 95 (D2): 1943–1953.
- WILKS, D. S. (1989): Statistical Specification of Local Surface Weather Elements from Large-scale Information.– In: *Theoretical and Applied Climatology* 40: 119–134.
- WILSON, C. A. & J. F. B. MITCHELL (1987): Simulated climate and CO₂-induced Climatic Change over Western Europa.– In: *Climatic Change* 10: 11–42.