

# Rezente Klimadynamik im südlichen Afrika

## Recent climate dynamics in southern Africa

Von J. JACOBET, Würzburg

**Abstract:** The paper reports on current and planned climatological studies related to southern Africa within the context of the DFG post-graduate program "Joint Geoscientific Research in Africa" of the Faculty of Earth Sciences, University of Würzburg. It concentrates on the example of a high-tropospheric wind analysis (200 hPa level). With its help basic circulation patterns can be identified which represent the major features of the upper flux prevailing during months of positive and negative rainfall anomalies in northern Namibia over the last 40 years. In most cases the resulting circulation patterns can be related to either the positive or the negative rainfall anomalies. Their relevant characteristics are discussed.

**Zusammenfassung:** Es wird über bisherige und geplante klimatologische Untersuchungen im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs "Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung in Afrika" der Fakultät für Geowissenschaften der Universität Würzburg berichtet. Im Zentrum steht das Beispiel einer hochtroposphärischen Windfeldanalyse (200 hPa-Niveau), über die grundlegende Zirkulationsmuster bestimmt werden, die die wesentlichen Ausprägungsmomente der Höhenströmung in positiv oder negativ niederschlagsanomalen Regenzeit-Monaten der letzten 40 Jahre im nördlichen Namibia repräsentieren. Die resultierenden Zirkulationsmuster lassen sich zumeist entweder positiven oder negativen Niederschlagsanomalien zuordnen und werden in ihren diesbezüglichen Merkmalen erläutert.

### 1. Einführung

Seit 1993 werden im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs "Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung in Afrika" der Fakultät für Geowissenschaften der Universität Würzburg in einem klimatologischen Teilprojekt

empirische Untersuchungen zur rezenten Klimadynamik im südlichen Afrika durchgeführt, die sich insbesondere mit den klimabestimmenden makroskaligen Strömungsverhältnissen in der Atmosphäre befassen. Als limitierendes Moment ist zu berücksichtigen, daß wesentliche Datensätze erst seit relativ spätem Zeitpunkt verfügbar sind (z. B. horizontale Windkomponenten tropischer Troposphärenniveaus seit Ende der 60er Jahre, satellitengestützte digitale Bewölkungsdaten seit Anfang der 70er Jahre). Da dies insbesondere strömungsbezogene Datensätze betrifft, läßt sich die makroskalige Zirkulationsdynamik natürlich nicht in umfassender Weise darstellen; vielmehr wird versucht, für selektive Phasen mit auffälligen Abweichungen einzelner Klimatelemente (z. B. Niederschlag) von den mittleren Gegebenheiten eines Teilgebietes - kurz als regionale Anomalien des rezenten Klimas bezeichnet - die bedingenden Zirkulationsverhältnisse in der Atmosphäre herauszuarbeiten und einander gegenüberzustellen. Dadurch wird zwar nicht das gesamte Zustandsspektrum der atmosphärischen Zirkulation erfaßt, aber gerade derjenige bedeutsame Teil, der für folgwerk-wirksame Klima-anomalien maßgeblich erscheint und für das Verständnis der rezenten Klimavariabilität eine zentrale Rolle einnimmt.

Im folgenden sollen Grundzüge bisheriger Untersuchungen dargelegt, ein ausgewähltes Analysenbeispiel erläutert und ein Ausblick auf kommenden Arbeitsschritte gegeben werden.

## 2. Methodik im ersten Untersuchungsabschnitt

Während der ersten Phase des Graduiertenkollegs sind empirische Zirkulationsstudien durchgeführt worden, die sich vor allem auf niederschlagsanomale Zeitabschnitte im nördlichen Namibia beziehen (Dissertation Frau cand. rer. nat. SUSANNE ENGERT). Auf der Basis von 67 Niederschlagsreihen zwischen etwa 18 und 23,5° S aus dem Zeitraum 1952-1992 lassen sich zunächst diejenigen Regenzeit-Monate als niederschlagsanomal selektieren, die im Mittel und an der Mehrzahl der betrachteten Stationen beim monatlichen Niederschlagswert um mehr als eine Standardabweichung vom zugehörigen Mittelwert differieren (analog läßt sich auch in subregionaler Auflösung verfahren, nachdem relativ homogene Teilgebiete auf der Basis einer Gruppierung aller paarweisen Niederschlagskorrelationen gebildet worden sind). Für die zirkulationsbezogene Untersuchung dieser Anomalie-monate auf klimatischer Zeitskala (also jenseits der kurzfristigen Auflösung in einzelne synoptische Zustandsformen und Zustandsabfolgen) ist eine Reihe dynamischer Einflußfaktoren zu berücksichtigen, die für die resultierenden Niederschlagssummen wesentliche Bedeutung besitzen:

- Massendivergenzen und -konvergenzen im horizontalen Strömungsfeld, die verstärkend oder abschwächend auf die Konvektionsaktivität in der tropischen Troposphäre einwirken;
- Wellenstörungen in der tropischen Ostströmung (easterly waves), die als ein wesentliches Moment der Organisierung tropischer Konvektionsprozesse anzusehen sind;
- Wechselwirkungen zwischen tropischer und außertropischer Zirkulation, die sich nicht nur sinnfällig in der variablen Ausbildung diagonaler Wolkenbänder manifestieren (TYSON 1984), sondern direkten Einfluß auf die Wirksamkeit niederschlagsgenetischer Prozesse in den Tropen ausüben (RIEHL 1979).

Um derartige Einflüsse zu erfassen, werden zum einen statistische Analysen horizontaler Windfelder durchgeführt (siehe das Beispiel im nachfolgenden Kapitel), zum anderen maßgebliche atmosphärische Zirkulationsparameter wie Horizontaldivergenz, Vertikalbewegung und relative Vorticity berechnet. Da die troposphärischen Datensätze nur für diskrete Gitterpunkte vorliegen (meist in etwa  $5^\circ$ , teilweise in  $2,5^\circ$  räumlicher Auflösung), werden die partiellen Differentialquotienten durch endliche Differenzen approximiert. Aus den horizontalen Windkomponenten lassen sich damit Divergenz und relative Vorticity in verschiedenen Druckniveaus abschätzen, ein Maß für die Vertikalbewegung ergibt sich aus der vertikalen Integration über die Horizontaldivergenzen in diesen verschiedenen Druckniveaus (vgl. JACOBET 1989a: 130 ff.).

Ein erster Analyseschritt kann nunmehr darin bestehen, die niederschlagsanomalien Regenzeit-Monate hinsichtlich ihrer großräumigen Verteilungsmuster in den genannten Zirkulationsparametern zu charakterisieren. Dies läßt sich bereits mit einfachen Composite-Methoden oder mit aufwendigeren multivariaten Verfahren bewerkstelligen und führt über die anomaliespezifischen (d. h. zwischen feuchtem und trockenem Fall deutlich zu unterscheidenden) Parameterverteilungen zu Aufschlüssen über die verschiedenartigen Zustandsformen der großskaligen Zirkulation während solcher Phasen entgegengesetzter Niederschlagsanomalien (z. B. verstärkte oder abgeschwächte Ostströmung mit entsprechend veränderter Wirksamkeit von "easterly waves", ggf. bei kleinerer oder größerer Beeinflussung durch außertropische Höhenwestwinde).

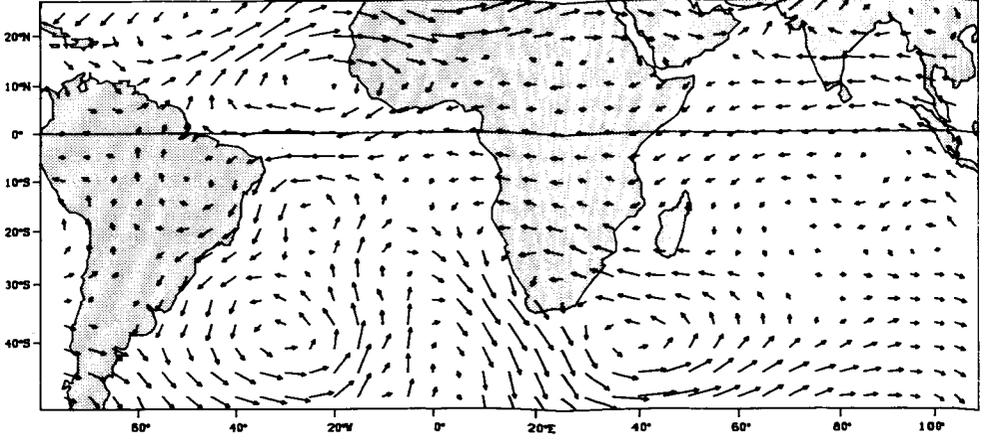
Derartige Gegenüberstellungen entgegengesetzter Anomalien erfolgen jedoch nicht nur in interannueller, sondern auch in intrasaisonaler Betrachtung, wobei innerhalb der alljährlichen Regenzeit trockene Zeitabschnitte und besonders niederschlagsergiebige (jeweils durch Übergangsperioden separiert) zirkulationsbezogen zueinander in Kontrast gesetzt werden (EN-GERT & JURY 1995). Entsprechend der kleineren Zeitskala müssen dabei die Basiszeiteinheiten verkürzt werden, von Monaten z. B. auf Pentaden. Als Resultat ähnlicher Vorgehensweisen wie oben geschildert erhält man unterschiedliche großräumige Strömungsverhältnisse, die als kennzeichnend für feuchte bzw. trockene Regenzeitabschnitte im betrachteten Teilgebiet angesehen werden können. Bemerkenswerterweise läßt sich in den wesentlichen Grundzügen prinzipielle Ähnlichkeit zwischen den Resultaten bei interannueller und intrasaisonaler Betrachtung feststellen - in Übereinstimmung mit TYSON (1988), der die Ähnlichkeit klimaanomaliebegleitender Zirkulationsmuster über sämtliche Zeitskalen hinweg hervorhebt. Einsichten, die sich aus Anomaliestudien auf verschiedenen Zeitskalen ergeben, haben also auch Bedeutsamkeit für kürzer- oder längerfristige Betrachtungen und damit für das zirkulationsdynamische Verständnis von Niederschlagsschwankungen insgesamt.

### 3. Beispiel einer Windfeldanalyse

Im folgenden werden nicht großräumige Verteilungen von Zirkulationsparametern betrachtet, sondern zweidimensionale Windfelder eines bestimmten Druckniveaus analysiert, die sich aus den horizontalen Windkomponenten an den einzelnen Gitterpunkten zusammensetzen. Unser Beispiel bezieht sich auf die troposphärische Höhenströmung (hier im 200 hPa-Ni-

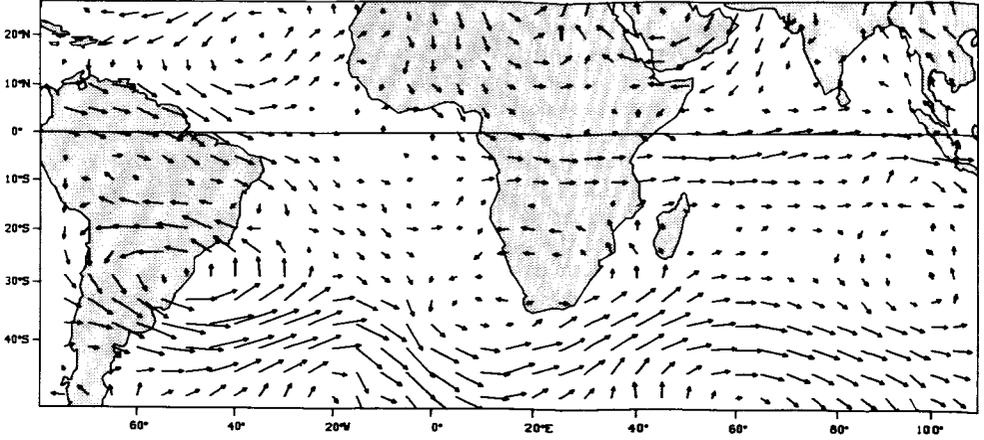
200 hPa

WET PATTERN 1



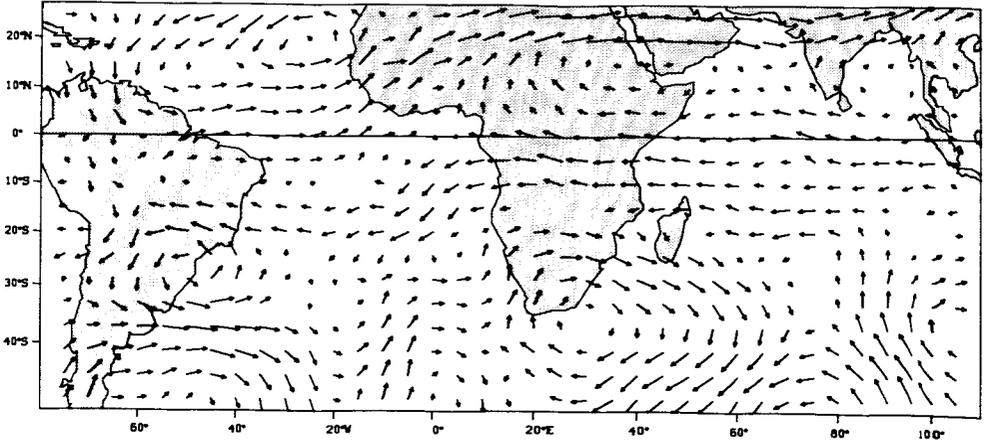
200 hPa

WET PATTERN 2



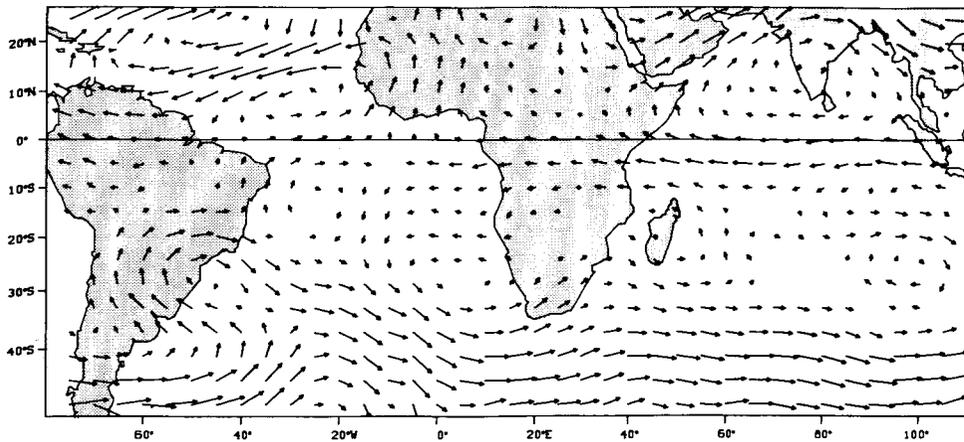
200 hPa

MIXED PATTERN



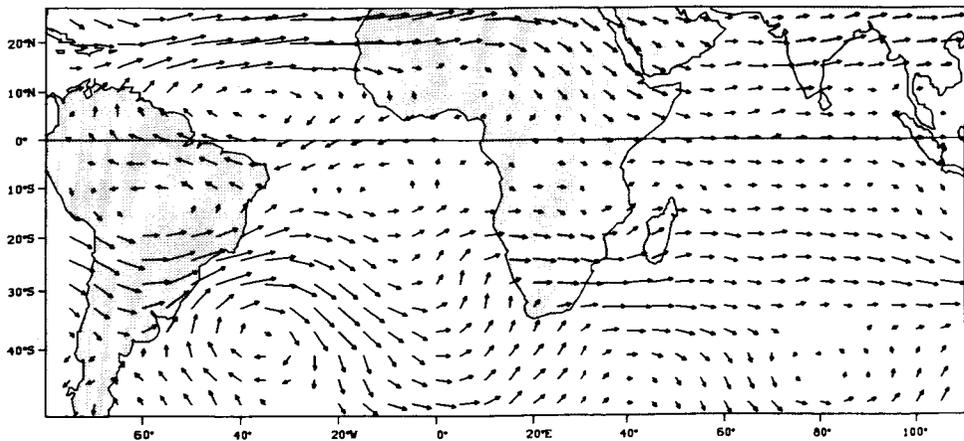
200 hPa

DRY PATTERN 1



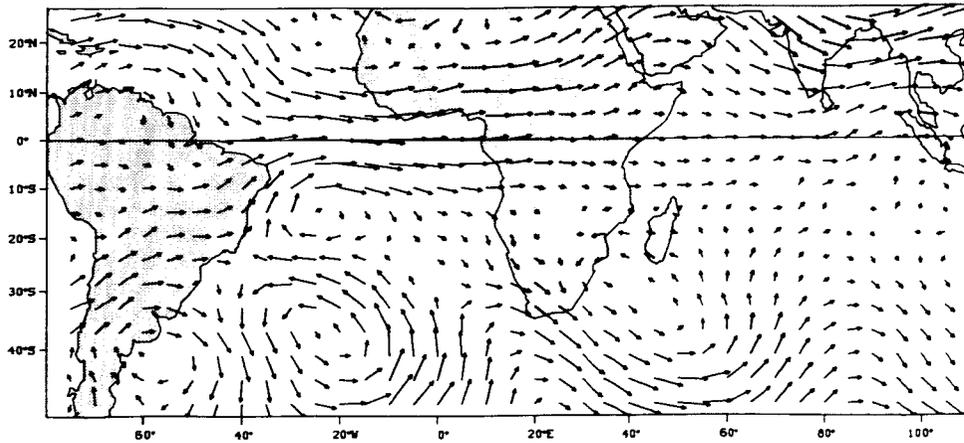
200 hPa

DRY PATTERN 2



200 hPa

DRY PATTERN 3



veau), der durch die dynamisch bedingte Anordnung von Höhendivergenz- und -konvergenzgebieten entscheidende Bedeutung für das Niederschlagsgeschehen zukommt (TYSON 1988: 205 ff.). Analysiert werden die Windfelder aus den niederschlagsanormalen Regenzeit-Monaten im nördlichen Namibia (siehe Kapitel 2), jeweils zu Pentaden zusammengefaßt (somit sechs Windfelder pro einzeltem Monat). Die Gebietserstreckung wird mit Rücksicht auf die großräumigen Prozesse weitreichend festgelegt (halber Hemisphärenumfang sowie vom polwärtigen Datenrand bei  $48^{\circ}$  S bis etwa zum nördlichen Wendekreis).

Ziel der Analyse ist die Bestimmung von grundlegenden Zirkulationsmustern, aus denen sich linear kombiniert die originalen Windfelder zusammensetzen, wobei mit einer begrenzten Anzahl von Mustern ein möglichst hoher Anteil der gesamten Varianz erklärt werden soll. Die Zirkulationsmuster repräsentieren in verdichteter Form die wesentlichen Ausprägungsmomente der Originalwindfelder, deren spezifische Eigenheiten nunmehr dadurch zum Ausdruck gelangen, daß einige Muster mit stärkerer Gewichtung, andere mit geringerer in der jeweiligen Linearkombinationsdarstellung vertreten sind. Tritt sogar der Fall ein, daß ein bestimmtes Zirkulationsmuster nur bei einer bestimmten Gruppe von Originalwindfeldern - z. B. denjenigen aus entweder positiv oder negativ niederschlagsanormalen Monaten - stärkere Gewichtung erreicht, so repräsentiert es atmosphärische Strömungsverhältnisse, die mit der betreffenden Niederschlagsanomalie offenbar in Zusammenhang stehen.

In der Tat liefert die multivariate Analyse (hier über einen Hauptkomponentenansatz) sechs grundlegende Zirkulationsmuster (Gesamtvarianzerklärungsanteil 84 %), von denen fünf einen klaren Anomalienbezug zeigen; in Abb. 1 werden sie dementsprechend als "wet" bzw. "dry pattern" bezeichnet. Nur ein einziges Zirkulationsmuster erfährt mitunter stärkere Gewichtung sowohl in feuchten wie in trockenen Zeitabschnitten, es wird folglich als "mixed pattern" apostrophiert.

Blicken wir zunächst auf die niederschlagsbegünstigenden Höhenströmungsmuster, so erkennen wir in beiden Fällen östliche Winde über der nordnamibischen Bezugsregion, die allerdings in verschiedene großräumige

#### Legende zu S. 760 und 761:

Abb. 1. Hochtroposphärische Zirkulationsmuster (200 hPa-Niveau), die aus einer Hauptkomponentenanalyse der pentadengemittelten Windfelder in niederschlagsanormalen Regenzeit-Monaten des nördlichen Namibia resultieren. Zirkulationsmuster mit stärkerer Gewichtung in anomal feuchten (trockenen) Monaten werden als "wet pattern" ("dry pattern") bezeichnet, das verbleibende "mixed pattern" kann während beider Anomalien stärkere Gewichtung erfahren.

Fig. 1. High-tropospheric circulation patterns (200 hPa level) resulting from a principal component analysis of the pentad-averaged wind fields during anomalous months of the rainy season in northern Namibia. Wet (dry) patterns preferably appear during anomalously wet (dry) months, the mixed pattern may appear during both anomalies.

Strömungskonfigurationen eingebunden sind. Muster 1 ist gekennzeichnet durch eine kräftige und breit ausgebildete tropische Ostströmung, die noch von einer intensiven Antizyklone südöstlich des Kontinents unterstützt wird (man beachte den entgegengesetzten Umdrehungssinn auf der Südhalbkugel!). Derartige Bedingungen begünstigen nach RIEHL (1979) eine lebhafte Entwicklung von niedertroposphärischen "easterly waves" und eine überdurchschnittliche Niederschlagstätigkeit in den betroffenen Regionen. Ähnliche Konstellationen ergeben sich auch bei intrasaisonalen Betrachtungen (ENGERT & JURY 1995) sowie mit Bezug auf andere südafrikanische Regionen (JACOBET 1989a, MATARIRA & JURY 1992), wodurch der weiträumige Charakter dieser zirkulationsbedingten Niederschlagsbegünstigung unterstrichen wird.

Im Unterschied dazu zeigt das zweite Muster bei Äquatornah sogar westlichen Strömungen eine viel kleinräumigere Wirksamkeit östlicher Höhenwinde, die jedoch für regional begrenzte Niederschlagszunahmen immer noch ausreichend ist. In solchen Fällen können sich bevorzugt regional differierende Anomalien ausbilden, über die in unterschiedlichen Zusammenhängen immer wieder berichtet wird (NICHOLSON 1986a, JURY & PAT-HACK 1993).

Ganz anders sind dagegen die drei Zirkulationsmuster ausgebildet, die mit unterdurchschnittlichen nordnamibischen Niederschlägen assoziiert sind. In keinem Fall tritt dort eine zusammenhängende Ostströmung auf, beim ersten Muster etwa ist sie auf die Äquatornahen Breiten und Teile des tropischen Südatlantiks beschränkt. Statt dessen zeigt sich über dem Kontinent ein Bereich äußerst schwacher Höhenwinde (in Abb. 1 durch fehlende Windvektoren erkennbar), der keine ausreichende dynamische Konvektionsorganisation zu leisten vermag. Im zweiten Muster strömen sogar weiträumig subtropische Höhenwestwinde über die Region, die die Vertikalentwicklung der tropischen Ostströmung beschneiden und keine reguläre Ausbildung niedertroposphärischer Wellenstörungen zulassen (RIEHL 1979). Beim dritten Zirkulationsmuster schließlich verbinden nordwestliche Komponenten einen großamplitudigen außertropischen Höhentrog mit einem kräftigen Band interhemisphärischer Westwinde, wirksame Konvektion über der Bezugsregion wird dabei weitgehend unterdrückt. Auf die Bedeutung Äquatorialatlantischer Höhenwestwinde für südafrikanische Trockenphasen auch im prognostischen Kontext hat z. B. JURY (1996) hingewiesen, weiterhin ist ihr Zusammenhang mit der El-Nino-Southern-Oscillation Variation bekannt (JURY et al. 1994), wodurch sogar global-tropische Anomalie-Eingebundenheiten angezeigt werden.

Das verbleibende Zirkulationsmuster ("mixed pattern") ist durch eine kräftige Höhenzyklone über Südostafrika gekennzeichnet, zu deren Einflußbereich auch noch das nördliche Namibia zu rechnen ist. Die ambivalente Anomalienzuordnung rührt von folgender zirkulationsdynamischer Mehrdeutigkeit her: Entweder gehört der Höhenwirbel zur Gruppe vertikaler mächtiger subtropischer Zyklonen, die gerade im Südatlantik häufiger zu beobachten sind und teils heftige Niederschläge auszulösen vermögen, oder aber er repräsentiert eine vorwiegend hochtroposphärische Strömungsercheinung, bei der zyklonale Konvergenz in der Höhe zu niederschlagsmindernder Konvektionsbeeinträchtigung führt.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß eine differenzierte Abhängigkeit regionaler Niederschlagsanomalien von wenigen grundlegenden makroskaligen Zirkulationsmustern aufgezeigt werden kann, die ihrerseits

nicht nur zur Beschreibung ausgewählter Anomaliephasen dienen, sondern auch zur prozessualen Erklärung längerfristiger Anomalienhäufungen wie auf der dekadischen Zeitskala (NICHOLSON 1993) oder vergangener wie zukünftiger Klimaänderungen (TYSON 1991) herangezogen werden können.

#### 4. Ausblick

In einer zweiten Projektphase (Dr. HOLGER SCHINKE als Postdoktorand) sollen die empirischen Untersuchungen regionaler Anomalien und Änderungen des rezenten Klimas in erweiterter Form fortgeführt werden; dies betrifft sowohl die zugrundeliegende Datenbasis als auch die Zielrichtung der Analysen. In erstgenannter Hinsicht ist vor allem der Einbezug der Meeresoberflächentemperatur (SST), eines erstrangigen Parameters an der unteren Grenzfläche der Atmosphäre, erforderlich; sog. Benguela-El-Nino-Ereignisse mögen dies verdeutlichen, bei denen sich im Zuge anomal hoher SSTs im Bereich des kalten Benguelastromes analog zu den pazifischen El-Ninos eine markante Umstrukturierung in der Niederschlagsverteilung einstellt. Aber auch der Einbezug satellitengestützter digitaler Bewölkungsdaten aus verschiedenen Spektralbereichen (highly reflective clouds, outgoing longwave radiation) verbessert die Untersuchungsmöglichkeiten erheblich, da angesichts weiter Ozeanflächen sowie der geringen Gebietsrepräsentativität punktueller Niederschlagsmessungen gerade in den Tropen flächendeckende Maße der Konvektionsaktivität wesentliche Zusatzinformationen liefern (JACOBET 1990, JURY et al. 1993).

Die Zielrichtung der Analysen soll neben der regionalen Orientierung noch stärker den großräumigen Zirkulationszusammenhängen zugewandt sein: Häufig erstrecken sich Strömungskonfigurationen mit anomalieninduzierender Wirksamkeit bis in weit entfernte Kontinente (z. B. JACOBET 1989b), und ihr Auftreten ist abhängig von der Zustandsform zumindest der hemisphärischen Zirkulation. Weiterhin sind makroskalige Prozesse wie tropisch-außertropische Wechselwirkungen (TYSON 1986) und interhemisphärische Interaktionen (NICHOLSON 1986b) an der Ausgestaltung des regionalen Niederschlags beteiligt, so daß uns die zirkulationsdynamische Analyse neben der regionalen Differenzierung zwangsläufig auch zu immer größeren Betrachtungsdimensionen führt.

Schließlich wird angestrebt, zwischen der großskaligen Zirkulation und den regionalen oder örtlichen Niederschlagsangaben auch direkte quantitative Zusammenhänge herzustellen, um eine Basis für die Abschätzung möglicher künftiger Niederschlagsänderungen in hoher räumlicher Auflösung zu erhalten. Diese Thematik hat im Kontext des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts gewichtige Bedeutung erlangt und stellt sich in besonderer Schärfe für klimatisch sensitive Bereiche, zu denen auch semi-aride Gebiete der Tropen zu zählen sind. Großskalige Zirkulationsmodelle indizieren zwar für den Fall erhöhter Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre bedeutsame Zirkulationsveränderungen (z. B. eine Zunahme meridionaler Strömungskonfigurationen im südhemisphärischen Winter (JACOBET 1994) oder häufigere Störungen des monsonalen Systems in den Tropen (JACOBET 1993)), brauchbare Abschätzungen regionaler Niederschlagsänderungen in hoher räumlicher Auflösung lassen sich daraus jedoch nicht herleiten. Deswegen versucht man letzteres entweder über genestete mesoskalige Modelle oder über verschiedene Downscaling-Techniken zu errei-

chen, wobei zunächst anhand rezenten Datenmaterials quantitative Zusammenhänge zwischen großskaliger Zirkulation und regionalem Niederschlag hergestellt und anschließend dazu verwendet werden, aus der Modellzirkulation für erhöhte Treibhausgaskonzentrationen auf zugehörige Niederschlagsänderungen im regionalen Maßstab zu schließen. Neuerdings werden bei prognostischen Fragestellungen auch neuronale Netze eingesetzt, mittels derer sich respektable Ergebnisverbesserungen erzielen lassen (HASTENRATH et al. 1995); auch für die Abschätzung künftiger Klimaänderungen in ihrer regionalen Mannigfaltigkeit ergeben sich damit nochmals erweiterte Untersuchungsmöglichkeiten.

**Danksagung.** Die analysierten Datensätze stammen vom NCAR in Boulder (Colorado), an den Auswertungen war neben den genannten Kollegiaten auch Herr cand. rer. nat. CHR. BECK beteiligt.

### Literatur

- ENGERT, S. & JURY, M. R. (1995): Northern Namibia summer rainfall: a study of seasonal and intra-seasonal dynamical processes. - Project Report for the Namibian Agronomic Board: 63 S.; Cape Town.
- HASTENRATH, S., GREISCHAR, L. & VAN HEERDEN, J. (1995): Prediction of the summer rainfall over South Africa. - *J. Climate*, **8**: 1511-1518; Boston.
- JACOBET, J. (1989a): Zirkulationsdynamische Analyse rezenter Konvektions- und Niederschlagsanomalien in den Tropen. - *Augsburger Geograph. H.*, **9**: 300 S.; Augsburg.
- (1989b): Zirkulationsbedingte Verteilungsmuster von Niederschlagsanomalien im tropischen Bereich von Südafrika bis Australien. - *Erdkunde*, **43**: 106-118; Bonn.
- (1990): Zum Phänomen großräumiger Klima-anomalien - Beispiele hochreichender Bewölkung und zugehöriger Zirkulationsmuster aus dem zirkumatlantischen Bereich der Tropen. - *Die Erde*, **121**: 241-253; Berlin.
- (1993): Möglichkeiten und Probleme der Abschätzung zukünftiger Klimaänderungen. - *Würzburger Geograph. Arb.*, **87**: 419-430; Würzburg.
- (1994): Atmosphärische Zirkulationsveränderungen bei anthropogen verstärktem Treibhauseffekt - jahreszeitliche Analysen in den Außertropen beider Hemisphären auf der Basis von Ausgabedaten globaler Klimamodellsimulationen. - *Würzburger Geograph. Manuskrt.*, **34**: 101 S.; Würzburg.
- JURY, M. R. (1996): Regional teleconnection patterns associated with summer rainfall over South Africa, Namibia and Zimbabwe. - *Int. J. Climatol.*, **16**: 135-153; Chichester.
- JURY, M. R., McQUEEN, C. & LEVEY, K. (1994): SOI and QBO Signals in the African Region. - *Theoretical and Applied Climatol.*, **50**: 103-115; Wien.
- JURY, M. R. & PATHACK, B. M. R. (1993): Composite climatic patterns associated with extreme modes of summer rainfall over southern Africa: 1975-1984. - *Theoretical and Applied Climatol.*, **47**: 137-145; Wien.

- JURY, M. R., PATHACK, B. & WALISER, D. (1993): Satellite OLR and microwave data as a proxy for summer rainfall over sub-equatorial Africa and adjacent oceans. - *Int. J. Climatol.*, 13: 257-269; Chichester.
- MATARIRA, C. H. & JURY, M. R. (1992): Contrasting meteorological structure of intra-seasonal wet and dry spells in Zimbabwe. - *Int. J. Climatol.*, 12: 165-176; Chichester.
- NICHOLSON, S. E. (1986a): The nature of rainfall variability in Africa south of the equator. - *J. Climatol.*, 6: 515-530; Chichester.
- (1986b): The spatial coherence of African rainfall anomalies: inter-hemispheric teleconnections. - *J. Climate Appl. Met.*, 25: 1365-1381; Boston.
  - (1993): An overview of African rainfall fluctuations of the last decade. - *J. Climate*, 6: 1463-1466; Boston.
- RIEHL, H. (1979): *Climate and Weather in the Tropics*. - 611 S.; London (Academic Press).
- TYSON, P. D. (1984): The atmospheric modulation of extended wet and dry spells over South Africa. - *J. Climatol.*, 4: 621-635; Chichester.
- (1986): *Climatic Change and Variability in Southern Africa*. - 220 S.; Cape Town (Oxford Univ. Press).
  - (1988): Synoptic circulation types and climatic variation over southern Africa. - In: GREGORY, S. (ed.): *Recent Climatic Change*: 202-214; London/New York.
  - (1991): Climatic change in Southern Africa: past and present conditions and possible future scenarios. - *Climatic Change*, 18: 241-258; Dordrecht.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. JUCUNDUS JACOBET, Geographisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, D-97074 Würzburg.