



IMPETUS
Westafrika

Integratives Management-Projekt
für einen **Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in**
Westafrika:

Fallstudien für ausgewählte Flusseinzugsgebiete
in unterschiedlichen Klimazonen

Zweiter Zwischenbericht
Zeitraum: 1.1.2001 - 31.12.2001

Ein interdisziplinäres Projekt der Universität zu Köln und der Universität Bonn

11. März 2002



Koordinierende Institutionen



Co-ordinating Institutions

Universität zu Köln Institut für Geophysik und Meteorologie <u>Prof. Dr. P. Speth (Sprecher)</u> Kerpener Str. 13 D-50923 Köln Tel.: 0221-470 3679 / Fax: 0221-470 5161 E-Mail: speth@meteo.uni-koeln.de	Universität Bonn Geographische Institute <u>Prof. Dr. B. Diekkrüger (Stellv. Sprecher)</u> Meckenheimer Allee 166 D-53115 Bonn Tel.: 0228-73 2107 / Fax: 0228-73 5393 E-Mail: b.diekkruenger@uni-bonn.de
---	---

Kontaktadresse:
Universität zu Köln
Institut für Geophysik und Meteorologie
Dr. M. Christoph (Geschäftsführer)
Kerpener Straße 13
D – 50923 Köln

Telephon: (0221) 470 3690
Fax: (0221) 470 5161
e-mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Contact us:
University of Cologne
Institute for Geophysics and Meteorology
Dr. M. Christoph (Scientific Secretary)
Kerpener Strasse 13
D – 50923 Cologne
Germany
Telephone: +49 221 470 3690
Fax: +49 221 470 5161
E-mail: christoph@meteo.uni-koeln.de

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Zusammenfassung	1
I. Einleitung	3
II. Darstellung der Teilprojekte	7
<u>Projektbereich A:</u>	7
Der hydrologische Kreislauf des Ouémé-Einzugsgebietes und sozio-ökonomische Implikationen	
A1: Diagnose und Modellierung der räumlichen Niederschlagsvariabilität auf intrasaisonalen bis dekadischen Zeitskalen	10
A2: Bodenwasserdynamik, Oberflächenabfluss, Grundwasserneubildung und Bodendegradation auf der lokalen und der regionalen Skala	20
A3: Funktionale Beziehungen zwischen raumzeitlicher Vegetationsdynamik und Wasserkreislauf	27
A4: Soziodemographische Entwicklung und Migration im Hinblick auf die Knappheit der Ressourcen	36
A5: Risiko und Unsicherheit im Umgang mit einer knappen Ressource: Ethnologische und medizinische Perspektiven auf Wasserverfügbarkeit, Wasserqualität und Wassermanagement	50
<u>Projektbereich B:</u>	57
Die Wasserbilanz des Drâa-Einzugsgebietes und sozioökonomische Implikationen	
B1: Zeitliche und räumliche Variabilität des Niederschlags	59
B2: Wasserverfügbarkeit und Bodendegradation	67
B3: Funktionelle Beziehungen zwischen der Vegetationsdynamik, dem Wasserkreislauf und dem Einfluss des Menschen	75
B4: Wasserverteilung, -rechte und –konflikte	83
<u>Projektbereich C:</u>	
Messstationen und atmosphärische Modelle	89
C2: IMPETUS-Messstationen in Benin und Marokko	91
C3: Atmosphärische Zirkulationsmodelle – Simulation der Niederschlagsvariabilität in Westafrika	99

Zusammenfassung

Bei dem vorliegenden Projekt handelt es sich um ein interdisziplinäres und anwendungsbezogenes Forschungsvorhaben, in dem ein nachhaltiges Management der knappen Ressource „Wasser“ im Vordergrund steht. Die geplanten Arbeiten werden auf der Basis eines Kompetenznetzwerkes in zwei Flusseinzugsgebieten Westafrikas durchgeführt. Es handelt sich dabei um den Ouémé in Benin sowie um den Drâa im Südosten Marokkos. Diese Wahl ist motiviert durch die Wechselwirkung, die möglicherweise zwischen den Klimaten Afrikas und Europas über atmosphärische Telekonnektionsprozesse besteht sowie durch einen wahrscheinlichen Zusammenhang zwischen den seit den 70er Jahren anhaltenden Dürreperioden sowohl südlich als auch nördlich der Sahara.

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist das Frischwasserdargebot, das durch den hydrologischen Kreislauf bestimmt ist. Eine Erweiterung seines Verständnisses hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Schwankungen auf verschiedenen Skalen wird durch eine verbesserte Modellierung des atmosphärischen Zweiges erzielt. Der terrestrische Zweig des hydrologischen Kreislaufs wird mit Hilfe konzeptioneller Ansätze modelliert, die auch sensitiv gegenüber sozioökonomischen Veränderungen wie z.B. Wanderungsbewegungen sind. Ein Biosphärenmodell ermöglicht die Bestimmung der raum-zeitlichen Verteilung der Phytomasse sowie eine Abschätzung der landwirtschaftlichen Tragfähigkeit unter verschiedenen sozioökonomischen und klimatologischen Randbedingungen. Der sozioökonomische Teil des Projekts untersucht zum einen wie Wasser eingespart, Verluste vermieden und Managementsysteme für Trink- und Abwasser sowie Brauchwasser in der Landwirtschaft eingeführt werden können. Zum anderen wird die Reaktion der Menschen auf ein schwindendes Wasserdargebot Auswirkungen auf die Landnutzung und damit auf den Bodenwasserhaushalt haben. Im medizinischen Teilprojekt stehen Fragen der Wasserqualität hinsichtlich des Vorhandenseins krankheitserregender Keime im Vordergrund. Die im Laufe des Projektes gesammelten Erkenntnisse aller beteiligten Disziplinen werden in einer fortgeschrittenen Phase gekoppelt werden, um durch unterschiedliche Szenarienbetrachtungen eine umfassende Abschätzung von Risiken und möglichen Auswirkungen auf lokaler und regionaler Ebene zu erlauben. Hierdurch wird gleichzeitig eine verlässliche Basis für politische Maßnahmen und internationale Vereinbarungen aber auch für Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Verwaltung bereitgestellt.

I Einleitung

Das vorliegende Projekt befasst sich mit dem in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts zur Verfügung stehenden Süßwasser in zwei Regionen südlich und nördlich der Sahara (Abb. E-1). Das südliche CATCH¹-Gebiet, welches sich zwischen 1°W und 5°E und von 6°N bis 15°N erstreckt, deckt das gesamte Spektrum westafrikanischer Tropenklimate (Sahel-, Sudan-, und Guineaküstenklima) ab und schließt das Staatsgebiet von Benin sowie Teile von Niger, Nigeria, Togo und Burkina Faso ein. Innerhalb dieses regionalen CATCH-Fensters wurde der Fluss Ouémé in Benin als typisches Flusseinzugsgebiet wechselfeuchter Randtropen ausgewählt (vgl. Projektbereich A). Für das Flusseinzugsgebiet des Ouémé findet in Nordbenin das ca. 100x100 km große Ursprungsgebiet westlich von Parakou (Abb. C2-2; S. 94) besondere Beachtung, in dem Untersuchungen konzentriert erfolgen. Das Gebiet nördlich der Sahara ist das Einzugsgebiet des Drâa (Abb. C2-4; S. 97) in Marokko als ein Beispiel für ein Flusssystem im Gebirgsvorland humider bis arider Subtropen (vgl. Projektbereich B). Diese Auswahl der Flusseinzugsgebiete des Ouémé und des Drâa ist zum einen motiviert durch die Wechselwirkung, die möglicherweise zwischen den Klimaten Westafrikas und Europas über atmosphärische Telekonnektionsprozesse besteht sowie durch einen wahrscheinlichen Zusammenhang zwischen den seit den 70er Jahren anhaltenden Dürreperioden sowohl südlich als auch nördlich der Sahara. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass die ausgewählten Flusseinzugsgebiete typisch für die jeweiligen Klimazonen sind und die dort erzielten Ergebnisse auf andere ähnliche Flusseinzugsgebiete übertragen werden können.

Die natürliche Verfügbarkeit von Süßwasser wird vom hydrologischen Zyklus kontrolliert. Eine effektive und anwendungsorientierte Betrachtung des hydrologischen Zyklus' bedeutet nicht nur, dass unterschiedliche Disziplinen der Naturwissenschaften sehr eng zusammenarbeiten müssen, sondern heißt auch, dass sozioökonomische und medizinische Fragestellungen zu berücksichtigen sind. Die Lösung derzeitiger und zukünftiger Probleme im Hinblick auf die Wasserversorgung ist nur mit einem interdisziplinären holistischen Ansatz erfolgversprechend, wobei eine der wesentlichen Herausforderungen in der Koordination der komplexen Wechselbeziehungen der beteiligten Disziplinen liegt. Ein solcher Ansatz wird im vorliegenden Projekt verfolgt. Die übergeordnete Zielstellung des auf insgesamt acht Jahre angelegten Projektes besteht in dem Aufzeigen konkreter Wege zur Umsetzung wissenschaftlicher Resultate in wissenschaftlich fundierte und belastbare, zugleich aber auch umsetzbare Lösungsstrategien vor dem Hintergrund einer sich ändernden natürlichen Umgebung. Hierdurch soll eine verlässliche Basis für politische Maßnahmen und internationale Vereinbarungen, aber auch für Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Verwaltung bereitgestellt werden. In der ersten dreijährigen Phase stehen überwiegend Diagnosen verschiedener Aspekte des Wasserhaushaltes im Vordergrund der Betrachtungen. Darauf aufbauend werden in der zweiten dreijährigen Phase Prognosemethoden in bezug auf zu erwartende Ver-

¹ Das Projekt CATCH ('Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique') wurde von unseren französischen Kooperationspartnern von IRD ('Institut de Recherche pour le Développement') ins Leben gerufen.

änderungen in den kommenden Jahrzehnten entwickelt. Die im Laufe des Projektes gesammelten Erkenntnisse aller beteiligten Disziplinen werden in der abschließenden letzten zweijährigen Phase gekoppelt werden, um durch unterschiedliche Szenarienbetrachtungen eine umfassende Abschätzung von Risiken und möglichen Auswirkungen auf lokaler und regionaler Ebene zu erlauben.

Die Arbeiten werden von Wissenschaftlern der Universitäten Köln und Bonn ausgeführt, die sich in einem gemeinsamen Kompetenznetzwerk organisiert haben. Weitere benachbarte wissenschaftliche Institutionen werden mit einbezogen, wie z.B. das Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF) in Bonn. Die Forschungsinitiative IMPETUS ist eingebettet in die lokale Forschungslandschaft der Staaten, wo die Forschungsaktivitäten konzentriert werden, also überwiegend in Benin und Marokko. Es wird Wert darauf gelegt, die dortigen staatlichen, traditionellen und privaten Institutionen durch eine intensive Zusammenarbeit zu stärken und den Aufbau wissenschaftlichen „know-hows“ zu fördern. Nachwuchsforscher aus den genannten Ländern sollen durch Aufenthalte als Gastwissenschaftler in Köln und Bonn die Gelegenheit erhalten, von den Ergebnissen des Projekts zeitnah zu profitieren.

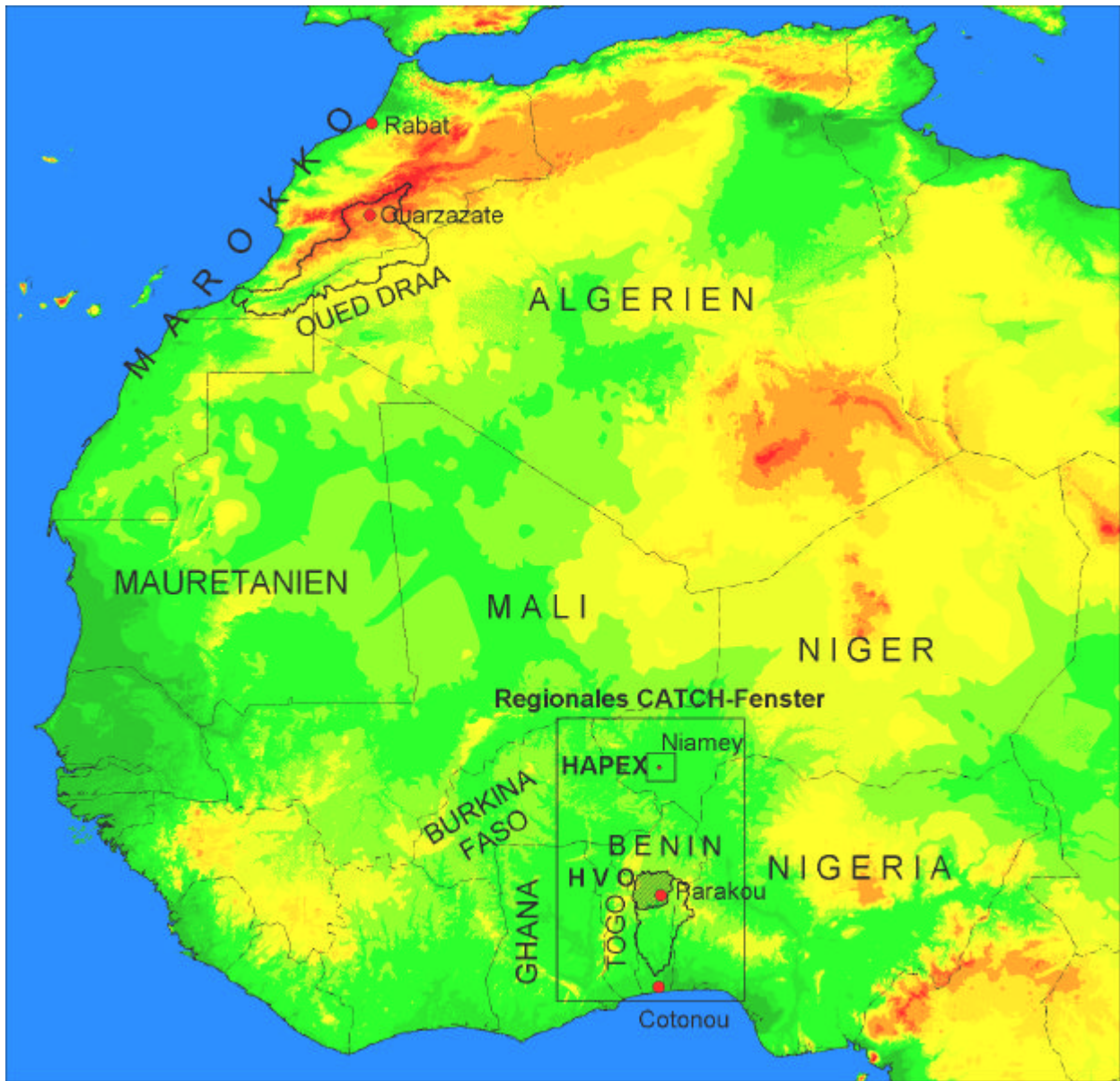


Abb. E-1: Die zwei betrachteten Flusseinzugsgebiete des DRÂA in Marokko und des OUÉMÉ mit Schwerpunkt in Benin, jeweils dargestellt durch fett gezeichnete Umrandungen. Das Einzugsgebiet des OUÉMÉ befindet sich im regionalen CATCH-Fenster (Erstreckung 1°W bis 5°E und von 6°N bis 15°N). Innerhalb des Flusseinzugsgebietes des OUÉMÉ wird in Nordbenin ein ca. 100x100 km großes Teileinzugsgebiet westlich von PARAKOU (Haute Vallée de l'Quémé': HVO) gewählt, in dem Untersuchungen konzentriert erfolgen.

Durch das EPSAT-Niger (Estimation des Précipitations par Satellite au Niger') Experiment (1990-1999) und das HAPEX-Sahel (Hydrological and Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel') Experiment liegen für ein Gebiet von ca. 100x100 km um Niamey umfangreiche Datensätze vor.

II Darstellung der Teilprojekte

Projektbereich A

Teilprojekt A1**Diagnose und Modellierung der räumlichen Niederschlagsvariabilität auf intrasaisonalen bis dekadischen Zeitskalen**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. P. Speth (Koordinator) Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln	Meteorologie: Klimadiagnose
Prof. Dr. A. Hense Meteorologisches Institut, Universität Bonn	Meteorologie: Klimadynamik
Prof. Dr. M. Kerschgens Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln	Meteorologie: klein-skalige Modellierung
Prof. Dr. C. Simmer Meteorologisches Institut, Universität Bonn	Meteorologie: Modellierung/ Fernerkundung

Zusammenfassung

Im zweiten Projektjahr wurden die Arbeiten zur Datenakquisition und –qualitätsprüfung, zur quantitativen Beschreibung des Niederschlagsklimas und von Niederschlagstrends in Benin, zur Erstellung einer Langzeitniederschlagsklimatologie und zur Mikrowellen-Niederschlags-schätzung vorangetrieben. Im Bereich der Kausalitätsforschung zur Niederschlagsvariabilität auf der großen Skala wurde zum einen das sich durch die langsam variierenden Meeresoberflächentemperaturen (SST) tropischer Ozeane ergebende Monsunvorhersagepotential, zum anderen die Rolle synoptischer Wellenstörungen (AEWs) für die Auslösung von Gewitterlinien (SLs) über Benin und ganz Westafrika quantifiziert. Im Bereich der Modellierung ist die Kopplung ECHAM->REMO und LM->FOOT3DK einsatzfähig, zusätzlich kann REMO mit ECMWF- und das LM mit GME-Analysen angetrieben werden. Mit dem feinskaligen Modell FOOT3DK konnte die Bedeutung synthetisch veränderter Eigenschaften der Landoberfläche auf die Dynamik von Niederschlagssystemen nachgewiesen werden.

Der Trend zu unternormalen Niederschlägen in Benin hält an, er hat sich in 2000 und 2001 an der Guineaküste sogar verschärft. Die gegenüber 1931-60 in Mittelbenin signifikant reduzierten Jahresmittelwerte des Niederschlages in der Klimanormalperiode 1961-1990 sind durch eine deutliche Reduktion der Niederschläge in der zweiten, stärkeren Regenzeit Ende August/Anfang September zu erklären. Die Länge der Regenzeit veränderte sich kaum und zudem teilweise inkonsistent zu den Anomalien. Die klimatologischen Untersuchungen werden in Zukunft von der im Projekt erstellten $0.25 \times 0.25^\circ$ Niederschlagsklimatologie profitieren können.

Die für die Gesamtperiode Mai-Oktober 1998 und 1999 diagnostizierte, im Vergleich zum Sahel und zur Küstenregion Westafrikas geringe Bedeutung von AEWs für die Auslösung von Gewitterlinien in Benin hat zwei Ursachen: (a) im Gegensatz zum Sahel treten in Benin schon im Mai und Juni viele SLs auf, in denen aber die AEW-Aktivität (Anzahl und Amplitude) noch minimal (Mai) oder geringer ist (Juni) als im späteren Jahresverlauf; und (b) nimmt die Amplitude der AEWs zur Westküste hin zu. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass in den beiden feuchtesten Monaten in Nordbenin ($9-12^\circ\text{N}$), d.h. im August (September), 40% (35%) der SLs auf Wellenstörungen zurückzuführen sind. In diesem Arbeitspaket kann im nächsten Projektjahr der fortent-

wickelte Mikrowellen-Algorithmus zur Niederschlagsschätzung, der im Vergleich zu anderen Verfahren die wenigsten Fehler bei der Regenerkennung macht, weitere Einsichten erbringt.

Die Abhängigkeit der Monsunniederschläge an der Guineaküste und in der Sudanzone wurde in einen praktikablen Ansatz zur operationellen saisonalen Vorhersage umgesetzt. Dieser Ansatz sieht den Einsatz eines globalen, SST-angetriebenen Klimamodelles vor, welches in nur ca. 12h Rechenzeit/Regenzeit einen großräumigen Überblick verschafft. Eine objektive Validierung des multiplen Regressionsmodells mittels 'Model Output Statistics' (MOS) liefert ein Vorhersagepotential von über 55% für den Guinea-Küstenbereich.

Studien zum Zusammenhang zwischen konvektiven Systemen und atmosphärischen Strömungsmustern mit dem LM zeigen die auch mit Vorhersagemodellen der neuesten Generation bestehenden Schwierigkeiten, die Dynamik hochgradig organisierter mesoskaliger Systeme (MCS) zu erfassen, während die Aktivität kleinerer konvektiver Systeme plausibel reproduziert wird. Die daraufhin begonnenen systematischen Studien zur Verbesserung der Modellwiedergabe von MCS lassen in diesem Zusammenhang auch neue Einsichten in die Dynamik dieser Systeme erwarten.

Mit Hilfe einer hypothetischen Reduktion von Wassergehalt und Vegetationsbedeckung für 50% der Oberfläche im HVO konnte mit FOOT3DK gezeigt werden, dass sich durch die Störung der Landoberfläche eine Konvektionslinie entlang einer quasistationären Konvergenzzone nur abgeschwächt ausbilden kann, was auf die Stärke der Konvergenzzone und der Niederschläge rückkoppelt. Die resultierende Veränderung der Zirkulationsmuster sorgt bei gestörter Oberfläche für eine Niederschlagsverringerung im Bereich der Konvergenzzone, aber auch stärkeren Niederschlag im Nordwesten des Simulationsgebietes.

Folgende Ergebnisse wurden im zweiten Projektjahr in den einzelnen Workpackages erzielt:

Workpackage A1-1: Klassifizierung und Diagnose der Variabilität von Niederschlagsereignissen

Akquisition von Fremd- und Eigendaten, Qualitätsprüfung

Im zweiten Projektjahr wurden die ganz West- und Zentralafrika abdeckenden Datenarchive mit den ein-, drei- bzw. sechsständigen Bodenbeobachtungen (SYNOP, METAR) und 6-12-stündigen Höhenwettermeldungen (TEMP/PILOT) aktualisiert bzw. in die Vergangenheit ausgedehnt. In Zusammenarbeit mit dem beninischen Wetterdienst wurde das operationelle Meldesoll der sechs beninischen Wetterstationen um die wichtigen Parameter wie Sonnenscheindauer, Nettostrahlungsbilanz, Bodenminimum potentielle Verdunstung und Beginn/Ende von Regenfällen erweitert. Es werden jetzt auch die Monatsmittelwerte abgespeichert (CLIMAT/CLIMAT-TEMP). Mit diesen Daten konnten für A1-3 geeignete Termine für Fallstudienimulationen in 2000 definiert werden. Zeitreihen meteorologischer Parameter wurden auf Anfragen für A2 und A3 aufbereitet und weitergereicht. Für das Jahr 2001 existieren im oberen Ouémétal (HVO) Niederschlagsdaten von inzwischen 39 Pluviographen des französischen Partnerprojektes CATCH. In Zusammenarbeit mit den französischen Partnern konnte ein für 2000 entdecktes Datenproblem behoben werden. Auch die Pluviometerdaten des nationalen Wetterdienstes liegen jetzt bis 2000 vor.

In der Trockenzeit 2001/2002 wurden 4 IMPETUS-Pluviographen von IMPETUS-Mitarbeitern und 4 von CATCH-Mitarbeitern im Terou- und Donga-Einzugsgebiet installiert. In den Klimagärten der synoptischen Stationen Cotonou (Guineaküstenklima) und Parakou (Sudanzonenklima) wurden in 2001 darüber hinaus Pyrradiometer zur Messung der vier Strahlungskomponenten aufgestellt. An der nigri-schen Station Gaya wurde der defekte Barograph und das defekte Anemometer ersetzt, mit dem Ziel, für die Radiosondenkampagne 2002 einen Meridionaltransekt von kontinuierlichen Druck- und Windbeobachtungen von allen synoptischen Stationen zwischen Save (8°N) und Niamey (12.5°N) zur Verfügung zu haben. Diese beiden Messgrößen sind für die Identifikation von Böenlinien (englisch: „squall lines“) besonders wichtig. Details zu den gemessenen Parametern und entsprechendes Kartenmaterial finden sich in diesem Zwischenbericht unter Projektteil C1.

Klima und Klimatrends in Benin

Die verschiedenen Niederschlagsregime in Benin und Nigeria wurden für die Klimanormalperioden 1931-1960 und 1961-1990 durch die Parameter Jahresniederschlag, Saisonalitätsindex, und agrarklimatologisch definiertem Monsunbeginn und –ende beschrieben. Klimatrends im Niederschlagsverhalten wurden einerseits durch den Vergleich der beiden Klimanormalperioden untersucht. Andererseits wurden Zeitreihen (1922-2001) jährlicher, standardisierter Niederschlagsanomalien für Benin als Ganzes sowie für Süd-, Mittel- und Nordbenin erstellt und ausgewertet.

Die Klimanormalperiode 1961-1990 war an der Küstenregion Benins (<7°N) etwa 5-10% feuchter als 1931-1960. Eine genauere Betrachtung ergab, dass die exzessiven Jahressummen der Jahre 1962/63 und besonders 1968 den 30-jährigen Mittelwert deutlich nach oben korrigierten. Seit 1971 lag kein Jahreswert der standardisierten Anomalie über der einfachen Standardabweichung der Bezugsperiode: 1922-2000, jedoch 4 Jahre darunter. Im mittleren Jahresgang zeigte sich, dass die leicht feuchtere Periode 1961-1990 durch ergiebigeren Niederschläge während der ersten Regenzeit im Juni und eine verringerte Ausprägung der kleinen Trockenzeit im August geprägt war. Für Mittelbenin einschließlich des oberen Ouémé-Einzugsgebietes und des Atakora-Gebirges reduzierte sich der Niederschlag in der zweiten Klimanormalperiode um 5-10%. An wenigstens 3 Stationen ist dieser Trend statistisch signifikant (student t-test). Hauptursächlich war die Abfolge deutlich zu trockener Jahre zwischen 1980-1987. Im Jahresgang manifestierte sich die Trockenheit hauptsächlich in den reduzierten Niederschlägen während der zweiten großen Regenzeit Anfang September, was im Atakora-Gebirge sogar dazu führte, dass statt zwei deutlich getrennten nur noch eine Regenzeit mit Maximum Ende August diagnostiziert werden konnte (bi-modal? uni-modal). Allgemein sind die Trends im Monsunbeginn und –ende gering und nicht immer konsistent mit den beobachteten Anomalien. Die Ergebnisse untermauern den Ansatz von IMPETUS, die Ursachenforschung der Variabilität niederschlagsauslösender Systeme auf dem oder den Höhepunkten der Regenzeit in den Mittelpunkt zu stellen (WP A1-2). Für den Zeitraum 1990 bis 2001 bleibt der Trend zu unternormalen Jahresniederschlägen in Benin bestehen, an der Guineaküste hat er sich in den letzten beiden Jahren sogar verschärft.

Erstellung einer Langzeitniederschlagsklimatologie

Ziel der Arbeit ist es, eine möglichst hochaufgelöste Niederschlagsanalyse auf Tagesbasis für Benin und die benachbarten Gebiete zu erstellen. Die Arbeit wurde in drei Schritte eingeteilt.

(I) Kombination von unterschiedlichen Niederschlagsabschätzungen auf Monatsbasis:

Aus diesen Abschätzungen - a) aus Regensammlerdaten, $0,5 \times 0,5^\circ$ von der *Climate Research Unit*; b) aus Regensammlerdaten, $1 \times 1^\circ$ vom *Global Precipitation Climatology Centre*; c) aus kombinierten Satellitendaten, $2,5 \times 2,5^\circ$ vom *Global Precipitation Climatology Project* - wird ein gewichtetes Mittel erstellt, wobei die Gewichte sich aus (geschätzten) Fehlerkovarianzen ergeben.

(II) Verfeinerung der aus (I) ermittelten Monatssummen auf ein räumliches Gitter von $0.25 \times 0.25^\circ$ mit Hilfe eines statistisch-dynamische Modells:

Dazu wird eine Abhängigkeit des an über 100 Regensammlern gemessenen Niederschlags von einer Reihe geographischer Parameter geschätzt und mit Hilfe eines Regression-Screening-Verfahrens die optimale Kombination an Parametern für jeden einzelnen Monat ermittelt. Das Verfahren wurde mit einem Testdatensatz überprüft, die Ergebnisse sind sehr ermutigend. Derzeit steht der Zeitraum 1987-1997 zur Verfügung.

(III) Verwendung von täglichen Regensammlerdaten zur zeitlichen Verfeinerung von der Monats- auf die Tagesskala. Hier hat sich gezeigt, dass die zur Verfügung stehenden Daten nicht ausreichend sind, um diesen Skalensprung in verlässlicher Weise zu erzielen, so dass andere Datenquellen notwendig sind. Daher wird derzeit die Einbindung von METEOSAT-Daten für diesen Zweck entwickelt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Jahr 2001 gemachten Fortschritte bei der Verwirklichung der Ziele einen Abschluss dieses Aufgabenblocks in kurzer Zeit ermöglichen sollten.

Mikrowellen-Niederschlagsschätzung: Algorithmenweiterentwicklung und Tests

Das Hauptziel dieses Arbeitspaketes ist die Entwicklung und Verbesserung von Algorithmen zur Messung von Niederschlag für Satelliten getragene, passive Mikrowellenradiometer und Radar. Im Berichtszeitraum wurde ein bereits ausserhalb von IMPETUS entwickelter Algorithmus für Daten der Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) weiter entwickelt und für das Untersuchungsgebiet Nordwestafrika getestet.

Bei dem verwendeten Algorithmus handelt es sich um einen quasi-empirischen Algorithmus, der die Radiometerdaten statistisch auswertet. Um das Niederschlagssignal herauszufiltern, müssen alle potentiellen Störeinflüsse so weit wie möglich aus dem Signal eliminiert werden. Zu den wichtigen Störgrößen zählen saisonal schwankende Beiträge durch z. B. Vegetationswachstum und -zerfall und dynamische Parameter wie die Oberflächentemperatur und Bodenfeuchte. Die langsam variierenden Beiträge werden durch die Nutzung von zeitlichen Mitteln der Helligkeitstemperatur unter wolkenfreien Bedingungen herausgefiltert. Das derzeitige Verfahren nutzt hierfür ein gleitendes Mittel, das stets 30 Tage vor dem aktuellen Beobachtungstermin enthält. Die schnell variierenden Einflüsse werden durch das sukzessive Subtrahieren ihrer EOFs (Empirische Orthogonalfunktion) herausgefiltert, wobei die Signalstruktur der Störgrößen mit Hilfe von Strahlungstransportrechnungen bestimmt wurde.

Das Ergebnis dieses Verfahrens ist ein Index (PI) mit der Einheit Kelvin, der unter Nutzung der Radar-daten des Precipitation Radars auf dem TRMM Satelliten in einen Regenwassergehalt in gm^{-3} umgerechnet werden kann. Ein Vergleich mit anderen Indexverfahren (SI: Scattering Index nach Ferraro und Marks (1995); 2C: Vergleicht Differenzen bei 37 und 85 Ghz mit dem wolkenfreien Hintergrundfeld; GS: NASA Goddard Scattering Algorithm nach Adler et al., 1993) für eine Periode im Oktober 2000 (Abb. A1-1) zeigt, dass das neue Verfahren eine höhere Signaldynamik d.h. eine größere Index-Bandbreite bzgl. Des Regenwassergehaltes, hat. Wichtiger noch ist, dass die Verteilung der maximalen Heidke Skill Scores fast über den gesamten Bereich der vorkommenden Regenwassergehalte für den

neuen Algorithmus am höchsten ist. Dies bedeutet, dass der neue Index die wenigsten Fehler bei der Regenerkennung macht.

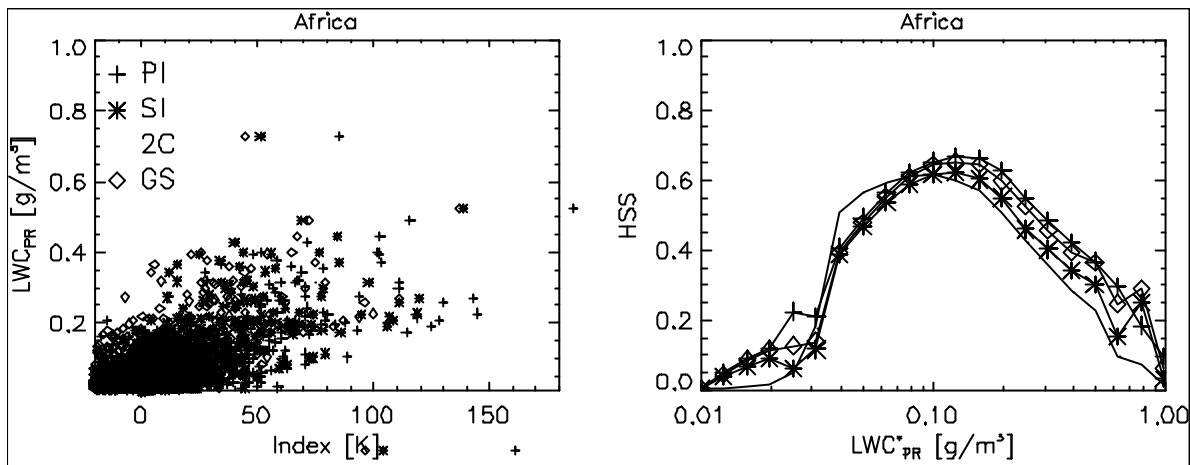


Abb. A1-1: Streudiagramm von Niederschlagsindizes gegenüber Regenwassergehalt in 2 km Höhe (links) sowie maximale Heidke Skill Scores für die Periode 14. – 24. Oktober 2000.

Der funktionale Zusammenhang zwischen dem gefundenen Index PI und dem Regenwassergehalt ist nahezu unabhängig vom Beobachtungsort und der Zeit. Er entspricht einer Exponentialfunktion deren Koeffizienten zeitabhängig sind. Dies erlaubt ein optimales Tuning des Algorithmus für verschiedene räumliche und zeitliche Auflösungen.

Im nächsten Schritt sollen die abgeleiteten Regenwassergehalte zusammen mit den TRMM Standardprodukten zu einem ersten Vergleich mit den Simulationen des Lokalmodells (LM) genutzt werden. Die Radardaten werden auch zum Vergleich mit den Ergebnissen des FOOT3DK Modells eingesetzt.

Zur Verbesserung des Samplings mit passiven Mikrowellendaten wird ausserdem eine Übertragung des Algorithmus auf das SSM/I angestrebt. Hierzu wird im Prinzip die Ableitung des Algorithmus für den TRMM Satelliten unter Nutzung der SSM/I Frequenzen wiederholt und eine Kalibration mit dem Radar bestimmt, die dann auf alle SSM/I Radiometer angewendet wird. Die Qualität könnte sich etwas vermindern, da auf dem SSM/I kein 10.7 GHz Kanal zur Verfügung steht und die räumliche Auflösung, durch die größere Flughöhe des DMSP Satelliten auch nur halb so gut ist.

Workpackage A1-2: Großskalige und synoptische Antriebe für den Niederschlag

SST-erklärte Niederschlagsvariation, Vorhersagepotential

Im Hinblick auf die Niederschlagsvariabilität im südlichen Teil Westafrikas sind im Projektjahr 2001 vier Zielsetzungen verfolgt worden:

- (1) Zunächst wurde die Rolle der Meeresoberflächentemperaturen (SST) für die Anomalien der Jahresniederschläge im gesamten westafrikanischen Raum aus globalen Klimamodellsimulationen untersucht und quantifiziert. Während die Niederschlagsdynamik im nördlichen Teil Westafrikas (s. siehe Beitrag Workpackage B1-1) vordringlich durch atmosphärische Prozesse induziert wird, er-

klären die Variationen der SST im Bereich des südlichen Sahels und dem Guinea-Küstensaum annähernd 50 % der Variabilität. Die für die Region wichtigsten Ozean-Atmosphäre-Interaktionen finden im tropischen Atlantik statt. Darüber hinaus offenbart sich eine ausgeprägte Verbindung zum tropischen Pazifik, respektive zum ENSO-Phänomen, welche wohl über eine atmosphärische Telekonnexion funktioniert und insbesondere im Sahel knapp 20 % der Niederschlagsvariationen bedingt.

- (2) Im Modellvergleich ergaben sich Anzeichen dafür, dass steigende Treibhausgas-konzentrationen gegenüber den SST einen signifikanten Zusatzeffekt auf die Niederschlagsvariationen im südlichen Westafrika ausüben könnten. Aus diesem Grunde wurden ebenfalls gekoppelte Modellintegrationen mit vorgeschriebenen Klimaänderungsszenarien ausgewertet. Dabei ließ sich Modell übergreifend ein zwar schwaches, aber statistisch signifikantes Klimaänderungssignal hin zu mehr Niederschlag bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts identifizieren.
- (3) Basierend auf klar definierten Prediktoren im SST- und Bodendruckfeld wurde ein multiples Regressionsmodell zur saisonalen Vorhersage der Niederschlagsanomalien im südlichen Westafrika konzipiert. Dabei zeigte sich, dass bereits bei dieser einfachen zweidimensionalen Betrachtung ein Vorhersagepotential von fast 50 % erreicht wird, welches in erster Linie aus dem starken Einfluss der SST und deren hoher Persistenz in den Tropen resultiert. Diese vielversprechenden Ergebnisse wurden in einen praktikablen Ansatz zur operationellen saisonalen Vorhersage für den südlichen Teil Westafrikas umgesetzt. Dieser Ansatz sieht den Einsatz eines globalen SST-angetriebenen Klimamodelles vor, welches zwar nur einen großräumigen Überblick ($\Delta x, y = 300 \text{ km}$) verschaffen kann, dafür aber sehr schnell zu realisieren ist (ca. 12h Rechenzeit für eine simulierte Regenzeit). Eine objektive Validierung des multiplen Regressionsmodells mittels 'Model Output Statistics' (MOS) liefert ein Vorhersagepotential von über 55 % für den Guinea-Küstenbereich.
- (4) Da globale Klimamodelle viele synoptische Prozesse in den Tropen nur unzureichend repräsentieren, ist für den gesamten westafrikanischen Subkontinent der Einsatz des Regionalmodells REMO in 50km-Auflösung vorgesehen. Dieses Modell wurde nun auf die orographischen und sonstigen oberflächenbezogenen Begebenheiten Westafrikas angepasst und mit Randwerten aus den ECMWF-Reanalysen auf beiden dafür vorgesehenen IMPETUS-Rechnern initialisiert. Zunächst wurden zwei Testmonate realisiert und anhand diverser von Workpackage A1-1 zur Verfügung gestellten Beobachtungsdaten validiert, um die Parameter des Konvektionsschemas optimal an die Region zu adaptieren. Über jeweils den gesamten Testmonat betrachtet zeichnen sich in REMO die beobachteten Niederschlagscharakteristika in räumlicher wie quantitativer Hinsicht erstaunlich gut ab. Nach bestandem Test sind nun die ersten Fallstudien aufgesetzt worden, um die Unterschiede der atmosphärischen Prozesse während trockener und feuchter Jahre zu erfassen.

Synoptische Wellenstörungen und Gewitterlinien

Im zweiten Projektjahr wurde das manuelle Identifizieren und Verfolgen sowohl von synoptischen Wellenstörungen (genauer: „African Easterly Waves, AEWs) und Böen- bzw. Gewitterlinien (englisch: „squall lines“) für die Monate Mai-Oktober 1998 und 1999 für ganz Westafrika abgeschlossen, und die Statistik auf beninische SLs heruntergebrochen. Über Westafrika traten in den Regenzeiten 1998 und 1999 insgesamt 81 AEWs und 344 langlebige (mittlere Lebensdauer 12.5 Stunden) SLs auf. 66% der SLs konnten einer beliebigen Phase der Wellenstörung zugeordnet werden, für Benin liegt diese Zahl mit 61% leicht niedriger. Wie zu erwarten traten die meisten SLs (48%) vor der Trogvorderseite der Wel-

lenstörung auf. Nördlich von 12.5°N existiert ein zweites Maximum im Bereich der feuchten Südwinde zwischen Trog und Rücken. Hier entstehen 32% der nördlichen SLs. Entsprechend wurde eine AEW-induzierte SL als eine solche Gewitterlinie definiert, die zwischen maximalen Nordwinden und der Trogachse (Phase 2-4 gemäß Reed et al. (1977)) oder, für SLs nördlich von 12.5°N, im Bereich der maximalen Südwinde (Phase 5-7) entstanden ist.

Für 42% der westafrikanischen SLs der Jahre 1998 und 1999 ist ihre Auslösung bzw. Anfangsorganisation durch AEWs sehr wahrscheinlich. Sie erfolgt entweder durch dynamische Hebung (Trogvorderseite) oder im Sahel durch bodennahe Feuchtezufuhr (Südwinde). Die Bedeutung der AEWs für die SL-Auslösung zeigt dabei ein klares West-Ost-Gefälle und eine jahreszeitliche Abhängigkeit. Während auf der Länge des Tschadsees nur 20% aller SLs auf AEWs zurückzuführen sind, steigt dieser Prozentsatz an der Westküste auf fast 70%. In Benin ist der Anteil mit 27% eher gering, die AEW-induzierten SLs treten hier jedoch in einem viel schärferen Peak direkt vor einem AEW-Trog auf (alleine 20%). In einem ganz Benin und Westnigeria umfassenden Längensektor von 0-10°E treten 19% (48%) der AEW-induzierten SLs im Mai, Juni und Oktober (Juli-September) auf. In Nordbenin (9-12°N) sind 40% (35%) der SLs im August (September) auf AEWs zurückzuführen. Beide Monate gehören dort zu den feuchtesten im Jahreszyklus und der Rückgang der Niederschläge in genau diesen Monaten trug besonders zu der Trockenperiode der 70er und 80er Jahre bei (s.o). Insgesamt rechtfertigen die Ergebnisse daher eine detailliertere Untersuchung der Ursachen für das variable Auftreten trockener AEWs (d.h. AEWs ohne SLs in den o.g. Wellenphasen), ohne jedoch die Ursachenforschung für die Variabilität in der Niederschlagsintensität und der Anzahl von SLs ohne Begleitung durch eine synoptische Wellenstörung zu vernachlässigen.

Schließlich zeigen Gradfeldstatistiken der Anzahl von SLs, dass sehr viele SLs über dem breiten nigerianischen Jos-Plateau (also orographisch forciert) entstehen. Ein absolutes Maximum im Auftreten von SLs knapp östlich von Benin ist die Folge von deren Ostwärtspropagation. Ein Auflösungsmaximum existiert über und östlich von Mittelbenin. Die Arbeiten zeigen insgesamt, dass das obere Ouémétal häufig nach Mitternacht von über dem westlichen Jos-Plateau entstandenen SLs in ihrem Auflösungsstadium überstrichen wird. Dies bedingt das nachmittägliche Niederschlagsmaximum und eine relative Trockenzone bei Parakou. Die genannten Arbeiten bereiten die Grundlage für ein optimales Ausmessen und Statistikerhebung für die in Parakou stattfindende Radiosondenkampagne 2002.

Workpackage A1-3: Mesoskalige Niederschlagssysteme und ihre Wechselwirkung mit größer-skaliger Strömung und Landoberflächenstruktur

Niederschlagssysteme und ihre Wechselwirkungen mit Strömungsmustern im Lokalmmodell LM

Relevante Prozesse an AEWs spielen sich auf verschiedenen Skalen ab, so dass Modellierungen auf der synoptischen, der regionalen (Meso-?) und der lokalen (Meso-?, Micro-?) Skala notwendig sind, um sie sinnvoll modellieren zu können. Zur Darstellung synoptisch-skaliger Prozesse und für den Vergleich mit kleineren Skalen wurde für das Lokalmmodell (LM) des DWD ein Modellgebiet auf einem 0.25°-Gitter, das ganz Nordafrika umfasst, definiert. Erste Versuche – auch zur Kopplung mit FOOT3DK – wurden für einen Zeitraum zwischen dem 28.7.2000 und dem 1.8.2000 unternommen. In diesem Zeitraum konnten teilweise heftige konvektive Ereignisse beobachtet werden, die teilweise durch mäßig organisierte nordwärts wandernde Störungen aus der Monsunregion verursacht wurden, teilweise mit ei-

nem westwärts durch die Sahel-Zone wandernden *Mesoscale Convective System* (MCS) verbunden waren, welches das HVO mit seinem Niederschlagsgebiet streifte.

Dieses hochgradig organisierte und auf einer Skala bis 1000 km aktive System wurde mit vom Lokalmodell nur unzureichend simuliert. Es erfolgten mehrere Studien mit geänderten Anfangs- und Randbedingungen sowie unterschiedlichen Wolken- und Konvektionsparametern, von denen keine das beobachtete MCS realitätsnah prognostizierte. Anhand der Wolkenstruktur wird deutlich, dass das Lokalmodell die konvektive Struktur der Atmosphäre erkennt und mit kleinräumigen Regenereignissen reagiert, die eher dem Verhalten der aus der Monsunregion nordwärts wandernden Störungen entspricht. Jedoch entwickelt sich auch aus großräumig günstigen Verhältnissen mit genügend Feuchtekonvergenz kein MCS. Folglich wird der Organisationsgrad von mesoskaligen Systemen vom Modell zumindest in diesem Fall unzureichend reproduziert.

Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Neben unpassenden Initialisierungs- und Rand/Bodendaten können auch konzeptionelle Probleme wie die Konvektionsparametrisierung verantwortlich sein, da das im LM verwendete Tiedtke-Massenfluss-Schema konzeptionell nicht für hohe Modellauflösungen ausgelegt ist, bei denen konvektive Systeme sowohl explizit simuliert als auch durch das Schema parametrisiert auftreten können. In Konkurrenz zur expliziten Simulation verhindert die Parametrisierung unter Umständen die mesoskalige Organisation konvektiver Systeme zugunsten einer unorganisierten Aktivität in der potentiell labilen Luftmasse. Allerdings zeigen auch „ungestörte“ Simulationen – d. h. solche mit ausgeschalteter Konvektionsparametrisierung – keine Ergebnisverbesserung. Genauere Untersuchungen zu diesem Themenkomplex werden in einer Diplomarbeit vorgenommen, in der als primäres Ziel einzelne Konvektionsereignisse unterschiedlichen Typs im Detail untersucht werden. Das sekundäre Ziel ist die Festlegung der Ursachen für Modelldefizite, die theoretisch in allen Prozessen liegen können, die den Energiegehalt der mittleren Troposphäre beeinflussen: Turbulente Flüsse, Strahlung, Feuchtetransporte und mangelhafte Rand- bzw. Anfangsdaten. Synergetisch können Ergebnisse dieser Arbeit in das Teilprojekt B1 einfließen, wo die Konvektionsparametrisierung selbst überarbeitet wird. Auf der anderen Seite wird am Ende der Diplomarbeit die Untersuchung mit einem im Teilprojekt B1 veränderten oder neuen Konvektionsschema stehen.

Wechselwirkung von Niederschlag und Landoberflächen im Modell FOOT3DK

Zu Beginn des zweiten Antragsjahr wurden die Entwicklung und Optimierung des Kopplungsmoduls zum Nesting von FOOT3DK in das Lokal-Modell abgeschlossen. Das Kopplungsmodul steht nunmehr als erprobtes Werkzeug zur Verfügung. Auf dieser Basis konnten die Modellstudien mit FOOT3DK auf komplexe dreidimensionale Simulationen realer Wettersituationen für das HVO-Gebiet ausgedehnt werden.

Komplexe Modellierung von Niederschlagssystemen

Für Benin wurden bislang die Nestingschritte LM (28 km) ? FOOT3DK (9 km) ? FOOT3DK (3 km) realisiert. Mit dieser Kette wurde eine Niederschlagsperiode Ende Juli/Anfang August 2000 für das HVO nachsimuliert. Zur Validierung wurden Niederschlagsmessungen des CATCH-Messnetzes sowie des nationalen Wetterdienstes Benin benutzt. Auf dieser Grundlage wurden zunächst die Niederschlagsmodule in FOOT3DK für die regionalen Bedingungen optimiert. Es zeigt sich, dass bei 9 km Auflösung der Einsatz einer Konvektionsparametrisierung auch für die Tropen unerlässlich ist. Bei einer

Gitterweite von 3 km bilden sich auch ohne Konvektionsschema Niederschlagszellen, wobei deren Dynamik realitätsnäher wiedergegeben wird. Andererseits benötigen die Konvektionszellen einen sehr hohen Labilisierungsgrad zur Auslösung, was in Simulationen ohne Konvektionsschema zu einer verzögerten, sehr lokalisierten und heftigen Niederschlagsaktivität führt. Die Verwendung des Konvektionsschemas sorgt für großräumig besser mit Beobachtungen übereinstimmende Verteilungen, welche allerdings die kleinräumige Niederschlagsvariabilität unterschätzen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden für FOOT3DK gegenwärtig das Kondensationsschema verbessert und Möglichkeiten einer realitätsnahe Kopplung zwischen Feuchteprozessen und Turbulenz geprüft. Dadurch ist bei hohen Auflösungen eine verbesserte Simulation der Feuchtkonvektion auch ohne Konvektionsparametrisierung zu erwarten.

Einfluss der Landoberfläche in idealisierten und komplexen Sensitivitätsstudien

Der Landoberflächeneinfluss auf den Niederschlag wurde mit einer Kombination aus komplexen Simulationsläufen auf der 9 km Auflösungsstufe für die o.g. Episode und den bereits im ersten Antragsjahr begonnenen idealisierten Ensembleintegrationen untersucht. Letztere wurden auf synthetische Parameterkonstellationen zur Untersuchung statistisch unabhängiger Ensembles der Einflussgrößen ausgedehnt. Die Ergebnisse wurden zur Konzeption der Oberflächenvariation für die komplexen Studien genutzt. Als kritische Einflussgrößen wurden der Anfangswassergehalt, Rauigkeitslänge, Albedo und Vegetationsbedeckung in räumlich heterogener Verteilung für 50% der Gitterpunkte des Simulationsgebiets in verschiedenen Kombinationen variiert und die resultierenden Niederschlagsverteilungen mit dem Muster für die ungestörte Landoberfläche verglichen. Dieser Vergleich weist zum einen den wesentlichen Einfluss der in den idealisierten Studien als kritisch identifizierten Oberflächeneigenschaften auch für komplexe Simulationen nach (Abb. A2-2). Zum anderen bringt die Wechselwirkung zwischen großräumiger Strömung, Oberfläche und Niederschlagssystemen regionale Anomalien im Niederschlag hervor, die räumlich inkongruent zur Verteilung der Oberflächenanomalien sein können. Eine lokale Interpretation der prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Oberfläche und Niederschlag ist deswegen für inhomogenes Gelände nicht ausreichend. Die regionalspezifische Beurteilung des Zusammenhangs zwischen Oberfläche und Niederschlag sollte vielmehr die charakteristische Dynamik der relevanten Niederschlagssysteme, über die zusätzliche Rückkopplungen zwischen Oberfläche und Atmosphäre vermittelt werden können, einbeziehen.

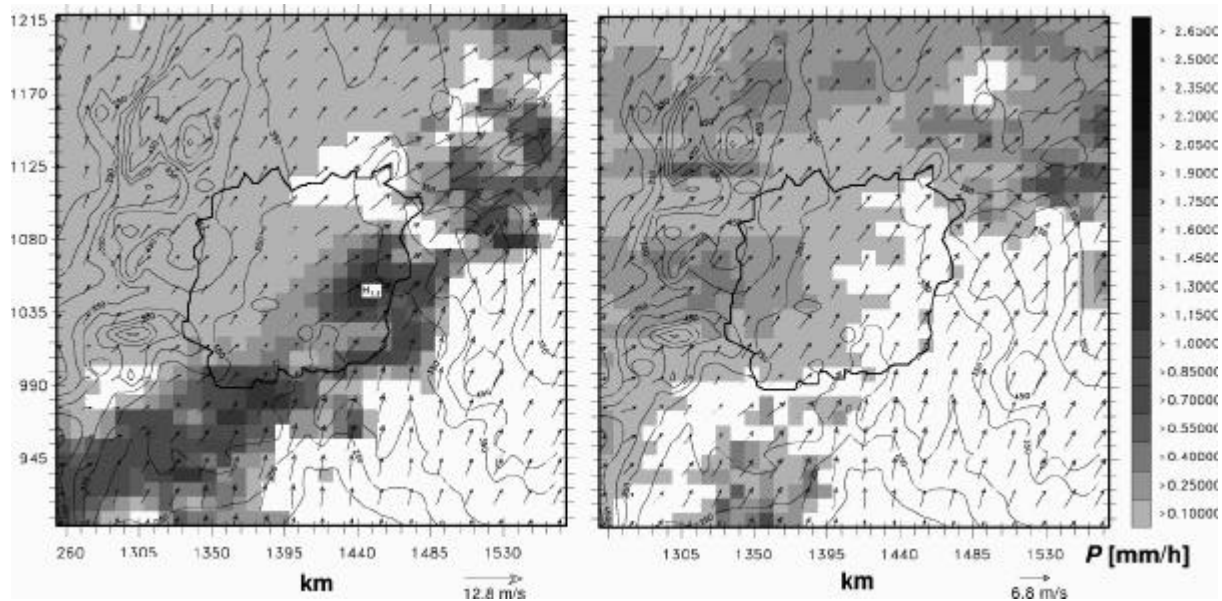


Abb. A2-2: *Niederschlagsintensität am 28.07.00, 10 UTC für das HVO und Umgebung, simuliert mit FOOT3DK bei 9 km Auflösung. Links: ungestörte Landoberfläche. Rechts: Reduktion von Wassergehalt und Vegetationsbedeckung für 50% der Oberfläche. Durch die Störung der Landoberfläche kann sich die Konvektionslinie nicht ausbilden, was auf die Stärke der Konvergenzzone (diagonal von Südwesten nach Nordosten, im rechten Bild schwächer) rückkoppelt. Die resultierende Veränderung der Zirkulation sorgt bei gestörter Oberfläche für stärkeren Niederschlag im Nordwesten des Simulationsgebietes.*

Literatur:

- Adler, R. F., A.J. Negri, P. R. Keehn und I.M. Hakkarinen, 1993: Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 335-356.
- Ferraro, R. R. und G. F. Marks, 1995: The development of SSM/I rain-rate retrieval methods over the continental United States. *J. Appl. Meteor.*, **37**, 679-700.
- Reed, R.J, D.C. Norquist und E.E. Recker, 1977: The structure and properties of African wave disturbances as observed during phase III of GATE. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 317-333.

Teilprojekt A2**Bodenwasserdynamik, Oberflächenabfluss, Grundwasserneubildung und Bodendegradation auf der lokalen und regionalen Skala**

Antragsteller		Fach
Prof. Dr. B. Diekkrüger (Koordinator), graphisches Institut, Univ. Bonn	Geo-	Hydrologie
Prof. Dr. B. Reichert, logisches Institut, Univ. Bonn	Geo-	Hydrogeologie
Prof. Dr. A. Skowronek, Institut für Bodenkunde, Univ. Bonn		Bodenkunde

Zusammenfassung

Ziel des Teilprojektes A2 in IMPETUS ist es, die Wasserflüsse auf verschiedenen Skalen zu beschreiben, zu quantifizieren und mit Hilfe von Modellen wirklichkeitsgetreu wiederzugeben. Die Modelle sollen die Prozesse unter den subhumiden Bedingungen in Benin wiedergeben können und sensitiv bzgl. möglicher Umwelt-Veränderungen (Vegetation, Klima, anthropogene Nutzung, ...) sein, damit sie im weiteren Verlauf des Projektes für Szenariostudien genutzt werden können.

Zum Erreichen dieses Ziels wird im Teilprojekt A2 von IMPETUS ein genesteter Ansatz verfolgt: Basierend auf Messungen auf der lokalen Skala in einem intensiv untersuchtem Gebiet (Aguima-Einzugsgebiet, ca. 30 km²) wird das TOPLATS-Modell (Famiglietti & Wood, 1994) parametrisiert, kalibriert und validiert. Aufgrund der Erfahrungen auf der lokalen Skala und verknüpft mit dem Wissen über die begrenzte Verfügbarkeit operationeller Daten kann das Modell dann auf der regionalen Skala angewendet werden. Auch eine fundierte Abschätzung der Güte der Ergebnisse ist so möglich.

Die Instrumentierung des ausgewählten Einzugsgebietes wurde im Sommer 2001 abgeschlossen. Aufgebaut und in Betrieb gesetzt wurden zwei Klimastationen, zwei Bodenwassermessstationen, vier Abflusspegel, zwei Saugkerzenfelder sowie eine Reihe von im Gebiet verteilten TDR-Rohren und Erosionsmessparzellen. Weiterhin wurden Testflächen zur Erfassung der Bodendegradation eingerichtet. Alle Messgeräte liefern, bis auf kleinere Ausfallzeiträume, kontinuierlich Daten. Neben den Datenerhebungen basierend auf den eigenen, installierten Geräten wurden regelmäßig Brunnenbeprobungen sowie Kartierungen von Landnutzung und Bodeneigenschaften durchgeführt. Die wesentlichen Messeinrichtungen werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Abflussmessungen

Zur Erfassung des Gerinneabflusses wurden vier Schwimmerpegel im Aguima-Einzugsgebiet installiert (Lage siehe Abb. A2-1), die den Wasserstand kontinuierlich in einem 10-Minuten-Intervall aufzeichnen. Zur Berechnung der Abflussmenge wurden während der Feldkampagne im Herbst 2001 Abflussmessungen an allen Pegeln bei verschiedenen Wasserständen durchgeführt, um eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung zu erstellen.

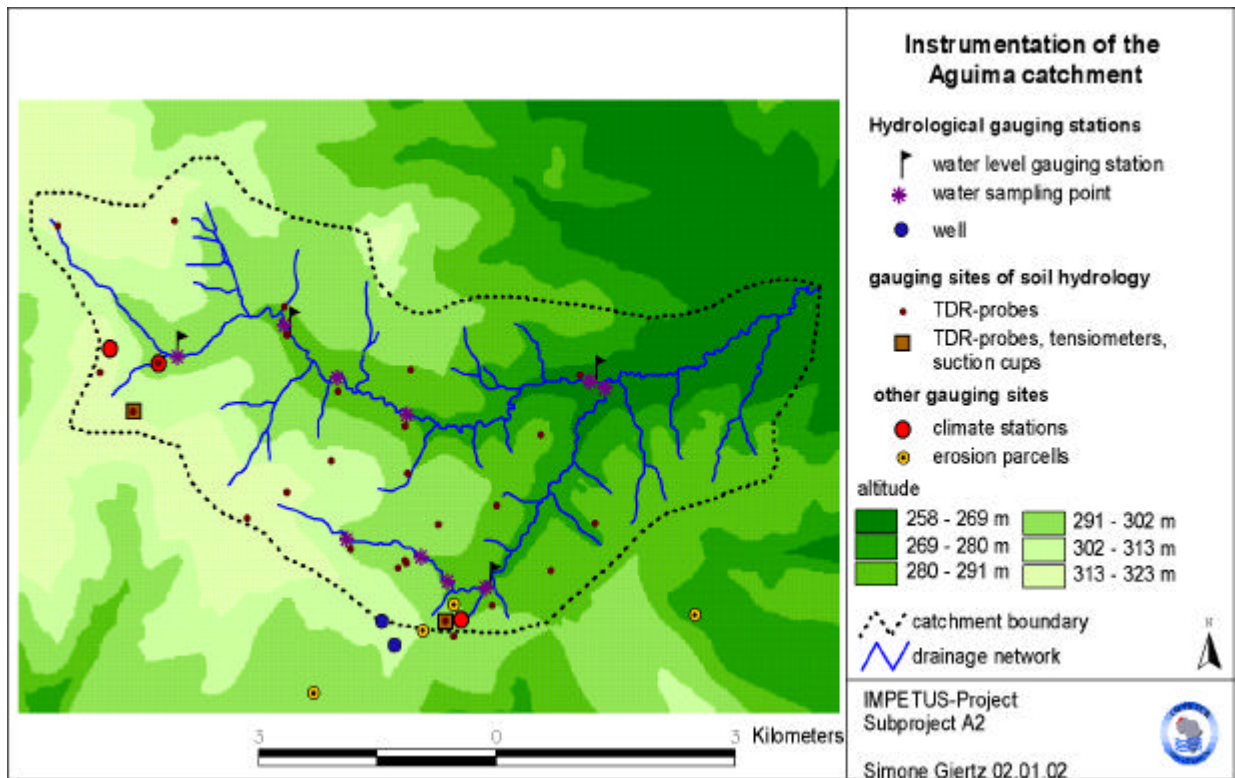


Abb. A2-1: Messstandorte des Teilprojekts A2 im Aguima-Einzugsgebiet

Die Einzugsgebiete der Pegel wurden so ausgewählt, dass sie zum einen die dominante landwirtschaftliche Nutzungen in jeweiligen Einzugsgebieten abdecken (Savanne bzw. Ackerland) und zum anderen unterschiedlich große Einzugsgebiete aufweisen, die eine hierarchische Betrachtung ermöglichen (ca. 3 km², 7 km², 17 km²).

Die Auswahl verschieden großer Einzugsgebiete erlaubt somit eine Modellierung und eine Validierung auf unterschiedlichen Skalen und ergänzt die vorhandenen Messstellen des CATCH-Projektes hinsichtlich kleiner Einzugsgebiete. Weiterhin wird eine Analyse des Einflusses der Landnutzung auf die Abflussbildung ermöglicht. Auf Grundlage der Feldmessungen wurden für alle Pegel Abflussganglinien erstellt sowie die Gesamtabflussmenge und die Abflussspende für den Messzeitraum (18.06.01 bis 30.11.01) errechnet (Tab. A2-1).

Tab. A2-1: Abflussdaten der vier im Aguima-Einzugsgebiet installierten Abflusspegel (Messzeitraum 18.06.01 bis 30.11.01).

	<i>Einzugsgebietsgröße [km²]</i>	Niederschlag [mm]	Abfluss [m ³]	Abflussspende [mm]
Pegel1	3.2	609.1	74145	23.0
Pegel2	7.0	609.1	178194	25.3
Pegel3	16.6	609.1	752415	45.5
Pegel4	3.5	609.1	483054	136.5

Aus Tab. A2-1 wird deutlich, dass im landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet (Pegel 4, N'iaou) deutlich mehr Abfluss gebildet wird (Abflusspende um Faktor 3-5 höher). Zu analysieren ist, welchen Einfluss andere Gebietseigenschaften auf die Abflussbildung haben.

Bodenwasserdynamik

Einen wichtigen Beitrag zur Analyse der Abflussbildung leisten die beiden Bodenwasserstationen im Super Test Site. Zur kontinuierlichen Erfassung der Dynamik des Bodenwassers wurden im Frühjahr 2001 zwei Bodenwassermessstationen im Aguima-Einzugsgebiet installiert, die mit je acht TDR-Sonden und acht Tensiometern ausgestattet sind. Bodenfeuchte und Saugspannung werden wie der Abfluss in einem 10min-Intervall gemessen und von einem Logger aufgezeichnet.

Die Stationen wurden auf zwei verschiedenen Landnutzungen und in vier verschiedenen Tiefen installiert. Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen (Einzugsgebiet Pegel 4) wurden die Sonden auf einem Maisfeld und einem Baumwollfeld eingebaut (Bodenwasserstation 1), da dies die vorherrschenden Anbaufrüchte im Einzugsgebiet sind. Im oberen Aguima-Einzugsgebiet wurden die Sonden unter savanne boisée und forêt claire installiert (Bodenwasserstation 2), die die dominanten natürlichen Vegetationseinheiten im Aguima-Einzugsgebiet darstellen. Diese Auswahl der Standorte erlaubt einen Vergleich der Bodenwasserdynamik auf landwirtschaftlichen Flächen und natürlichen Standorten.

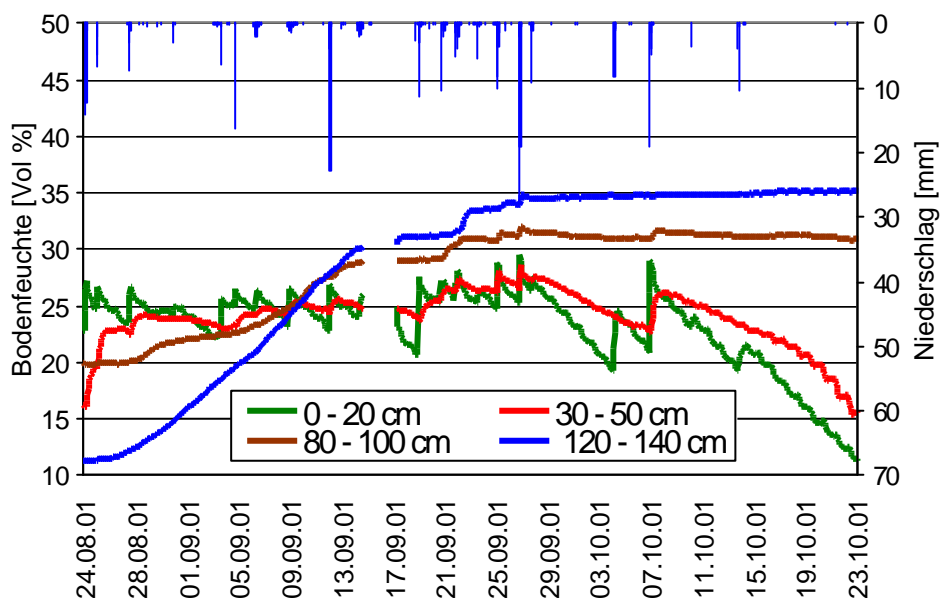


Abb. A2-2: Entwicklung der Bodenfeuchte an der Bodenwassermessstation in der Savanne

Die Ergebnisse der Messperiode Juni – November 2001 zeigen, dass v.a. zu Beginn der Regenzeit die Schwankungen des Bodenwassergehaltes durch Niederschlagsereignisse auf dem frisch gesäten Feldern im Oberboden wesentlich höher sind als unter natürlicher Vegetation, da durch Interzeption weniger Niederschlag die Bodenoberfläche erreicht. Die Prozesse der saisonalen Aufsättigung und Austrocknung des Bodens zeigt Abb. A2-2. Während Ende August die oberen Bodenschichten schon aufgesättigt sind, beginnt in größeren Tiefen der Prozess gerade erst. Ende September, zum Ende der Regenzeit, ist der Unterboden gesättigt, wohingegen in oberflächennahen Schichten schon die Austrocknung be-

ginnt. Zusätzliche raum-zeitliche Analysen der Wassergehalte sind durch die flächendeckende Installation der TDR-Rohre im Einzugsgebiet möglich, die mit einer mobilen Sonde beprobt werden.

Hydrogeologie

Neben Untersuchungen zum Oberflächen- und dem Bodenwasser wurden mit der Analyse des Grundwasserkörpers begonnen. Hauptgrundwasserleiter im Aguima-Einzugsgebiet ist ein Kluftgrundwasserleiter im migmatitischen Festgestein. Entsprechend dem Kluftmuster bilden die NW-SE- und SW-NE-Richtungen das Hauptentwässerungssystem. Die aus der großräumigen Geländeneigung erkennbare Liniation weist keine hydraulische Funktion auf. Grundwasser-Aufschlüsse des Festgesteinsaquifers sind die Dorfbrunnen des Dorfes Dogué, die unabhängig von der Jahreszeit auf ähnlichem Niveau liegen (ca. 12-13m unter GOK).

Im Hangenden des Festgesteinsaquifers liegt die ungesättigte Bodenzone. Diese setzt sich aus Saprolith, der lateritischer Verwitterungszone und der Bodenzone zusammen. Lateritisch verfestigte Bodenhorizonte agieren dabei als Grundwasserhemmer. An ihnen staut sich infiltriertes Niederschlagswasser und erzeugt je nach Gefälleverhältnissen Zwischenabfluss. Ein Teil des Niederschlagswasser kann über preferentielle Fließwege (Klüfte, etc.) diese grundwasserhemmenden Horizonte durchdringen und zur Grundwasserneubildung beitragen. Da die grundwasserhemmenden Schichten aber nicht flächendeckend im Einzugsgebiet vorkommen, gelangt das Niederschlagswasser zum Teil auch direkt durch Perkolation ins Grundwasser. In der Regenzeit ist zuweilen auch ein schwebender Grundwasserspiegel anzutreffen.

Wasserchemie

Aufschluss über Herkunft und Verweildauer und damit auch über die Hauptfließprozesse im Einzugsgebiet kann die chemische Zusammensetzung der Wässer geben. Grund-, Boden- und Oberflächenwässer unterscheiden sich im Arbeitsgebiet deutlich in ihrer chemische Zusammensetzung. Die Grundwässer der Dorfbrunnen weisen generell die höchste Mineralisation im Untersuchungsgebiet auf (elektrischen Leitfähigkeit von ca. 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), während Bodenwässer (ca. 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und Oberflächenwässer (ca. 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$) eine deutlich geringere Mineralisation besitzen. Zu berücksichtigen ist dabei eine Kontamination der dorfnahe Brunnen durch fäkal- und andere zivilisationsbedingte Stoffe, die sich anhand des hohen Nitratwerts nachweisen lässt (bis 45 mg/l NO_3). Einer der Brunnen zeigte im Untersuchungszeitraum außerdem deutliche Merkmale einer Organik-Kontamination (Geruch, Ölfilm). Na, K, Mg und HCO_3 sind die bestimmenden Elemente in allen Wässern im Untersuchungsgebiet (Abb. A2-3). Die

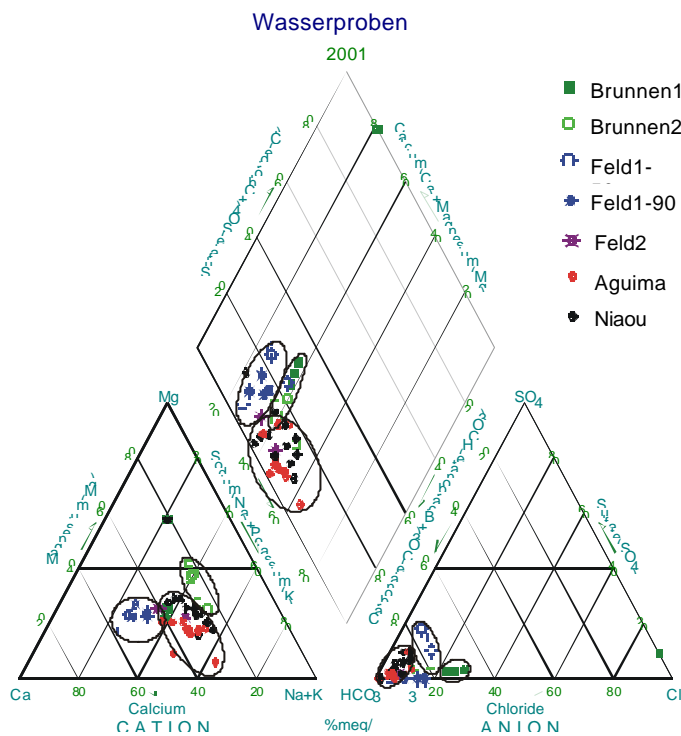


Abb. A2-3: PIPER-Diagramm der Wasserproben.

Bodenwässer zeichnen sich durch erhöhten K- und Ca-Gehalt aus, im Falle eines Standortes auch durch einen erhöhten NO_3 -Gehalt als Folge von Mineraldüngung (Ammonium). Die Oberflächenwässer zeigen eine Fe- und Erdalkali-Anreicherung, während die Brunnen generell durch relativen Mg-/Ca-Reichtum und K-Armut gekennzeichnet sind. Die pH-Werte liegen generell im Bereich 5,8 – 7,2.

Generell kann im Aguima-Gebiet chemisch zwischen drei genetisch verschiedenen Wässern differenziert werden: Brunnen-, Boden- und Oberflächenwässer (Abb. A2-3). Ein direkter genetischer Zusammenhang zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser bzw. Bodenwasser ist noch nicht erkennbar. Inwieweit das Grundwasser die Oberflächenwässer speist, kann zur Zeit nicht abgeschätzt werden, zumal jahreszeitlich starke Unterschiede zu erwarten sind. Einen signifikanten Anteil zum Oberflächenwasser bildet der Zwischenabfluss aus der Verwitterungszone. Für die Quantifizierung der eigentlichen Grundwasserneubildung werden in der kommenden Feldkampagne weitere Untersuchungen (u.a. Markierungsversuche) durchgeführt werden.

Bodenkarte des Super Test Site

Eine wesentliche Grundlage für die lokale Modellanwendung stellt die Bodenkartierung des Einzugsgebiets dar. Für die Charakterisierung der Böden und deren Verbreitung wurden während der Feldkampagne im Herbst 410 Bohrungen (1 - 2 m Tiefe) z.T. entlang von Catenen durchgeführt und Profilgruben (max. 2 m Tiefe) an 30 ausgewählten Standorten angelegt. Die Profile wurden zwecks Durchführung bodenphysikalischer und –chemischer Laboranalysen horizontweise beprobt.

Die Sedimentologie im Einzugsgebiet des Aguima ist durch die Abfolge von Substraten unterschiedlicher Art gekennzeichnet. An der Oberfläche liegt Sediment (hillwash) mit der Bodenart sandiger Lehm vor. In tieferen Bereichen wird Pedimentschutt über der Steinsohle bzw. dem tonreichen Saprolith angetroffen. Dominierende Bodeneinheit ist der Ferrallic Lixisol. Lixic Ferralsols, d.h. Böden mit einem durch langanhaltende Verwitterung entstandenen Unterbodenhorizont und geringen Mengen an verwitterbaren Mineralen kommen ebenfalls vor. Im Bereich der Basfonds wurden vorrangig tonige Böden vorgefunden. Diese sind durch stauende Eigenschaften sowie durch die absolute Anreicherung von Sesquioxiden charakterisiert. Am Fuß von Inselbergen sind Leptosols entstanden, d.h. Böden mit humushaltigem Oberboden über Festgestein.

Modellanwendung Super Test Site

Basierend auf den erhobenen Daten (Hydrogeologie, Bodenverbreitung) und den kontinuierlichen Datenerhebungen der Messgeräte (hydrologische und meteorologische Stationen) kann im Jahr 2002 mit der lokalen Modellanwendung und -anpassung begonnen werden. Das Modell ist lauffähig, wie bereits auf der regionalen Skala gezeigt wurde, und muss möglicherweise basierend auf den Erkenntnissen der Feldkampagnen an die Verhältnisse der lokalen Skala angepasst werden. Die Bestimmung einiger notwendiger Schlüsselparameter im Feld (K_s -Wert des Bodens, Infiltrationsverhalten der Böden, Transmissivität des Grundwasserkörpers) wird in der Frühjahrskampagne 2002 erfolgen, weitere Parameter z.B. der Vegetation werden in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt A3 erarbeitet.

Bodenerosion

Die Ergebnisse der auf Basis der lokalen Bodenkarte durchgeführten Modellläufe können dann auch in die Analyse des Erosionsprozesses integriert werden, die zunächst vornehmlich auf der Auswertung gemessener Niederschlagsintensitäten und auf der durch die installierten Messeinrichtungen aufgefangenen

Sedimentraten beruht. Der aktuellen Bodenabtrag wurde im Verlauf der gesamten Regenzeit auf verschiedenen Maßstabebenen bestimmt. Zur punktuellen Messung wurden an zwölf Standorten je zwei Freilandparzellen (10*1,6m) installiert. Sechs Sedimentfangkästen (0,5*0,3*0,1m) und 52 Erosionsmessnägeln dienen der quasiflächenhaften Messung der Erosion. Als Versuchsstandorte wurden Ackerflächen unterschiedlicher Nutzung (Kulturen Mais, Erdnuss, Baumwolle, Yams mit verschiedenen Anbausystemen) und zum Vergleich die weidewirtschaftlich extensiv genutzte Savanne gewählt. Die Messungen des Oberflächenabflusses und Bodenabtrags wurden nach jedem Niederschlagsereignis (Parzellen, Fangkästen) bzw. im 14-tägigen Rhythmus (Messnägeln) durchgeführt. Die Auswertung erster Ergebnisse zeigt, dass die größten Bodenabträge wie erwartet bei Starkregenereignissen stattfinden. Auch wurden signifikante Unterschiede zwischen der Reihenkultur Mais und der in Hügeln angebauten Yamskultur ermittelt, wobei bei letzterer allgemein weniger Boden erodiert wird. In der Savanne konnte vergleichsweise wenig Erosion durch Wasser festgestellt werden. Weiterhin wurde versucht, sämtliche Erosionserscheinungen im Einzugsgebiet mit der komplexen Schadenskartierung zu erfassen.

Regionales hydrologisches Modell

Sobald vertrauenswürdige Simulationen der Wasserflüsse auf der lokalen Skala vorliegen, kann mit der Übertragung des Parametrisierungsschemas auf die regionale Skala begonnen werden. Für das Térou-Einzugsgebiet (ca. 3000km²), ein Teilgebiet des oberen Ouémés, werden im Hydro-GIS bereits alle nötigen und regional verfügbaren Daten vorgehalten:

- ?? Digitale Bodenkarte 1:200.000,
- ?? USGS-Landnutzungsklassifizierung im 1 km-Raster,
- ?? 100m-DGM, abgeleitet von digitalisierten Höhenlinien der topographischen Karte 1:200.000,
- ?? Digitale geologische Karte 1:200.000.

Für das gesamte HVO-Einzugsgebiet (ca. 14.000 km²) müssen für Teilgebiete noch einige wenige Datensätze (insbesondere das DGM betreffend) ergänzt und bearbeitet werden.

Das TOPLATS-Modell, das bereits als Landoberflächenschema bei der Modellierung der Atmosphäre verwendet wird und die wesentlichen hydrologischen Prozesse der subhumiden Tropen durch die Kombination vertikaler (SVAT-System) und horizontaler Komponenten (Topmodel-Ansatz) berücksichtigt, wurde bereits im Rahmen einer Diplomarbeit auf dieser Skala angewendet (Térou-Einzugsgebiet). Aufgrund der bisher noch lückenhaften Datenlage konnte die Simulationen lediglich für die Jahre 1996 und 1997 durchgeführt werden. Simulationen für längere Zeiträume sind in Planung, sobald längere Zeitreihen meteorologischer Daten zur Verfügung stehen. Für den Abfluss am Térou-Pegel wurden zum Teil schon recht gute Übereinstimmungen zwischen Messungen und Simulationen erzielt, jedoch zeigen einige Zustandsgrößen von TOPLATS im Verlauf der Simulationen unrealistischere Werte, so dass weiter an Verbesserungen gearbeitet und die Fehleranalyse fortgeführt werden muss. Zur Zeit ist die Wasserbilanz noch nicht ganz geschlossen, da die Evapotranspiration noch unter und die Füllung des tiefen Bodenspeichers noch über den zu erwartenden Werten liegt.

Aufgrund der bekannten Unsicherheit der aus operationellen Daten abgeleiteten Parameter und der registrierten Abweichungen zwischen Simulationen und gemessenen Abflüssen wurde mit einer Sensitivitätsanalyse der Schlüsselparameter von TOPLATS begonnen. Schlüsselparameter sind insbesondere Bodenparameter wie Sättigungswassergehalt (θ_s), residualer Wassergehalt (θ_r) oder gesättigte Wasserleitfähigkeit (K_s), Pflanzenparameter wie Blattflächenindex (LAI), Albedo, Wurzeltiefe oder Stomatawi-

derstand (r_s) und die konzeptionellen Basisabflussparameter (Q_0, f). Die Analyse hat gezeigt, dass einige Parameter in der Umgebung der abgeleiteten Parameterwerte extrem sensitiv sind (K_s), so dass die Sensitivitätsanalyse weitergeführt und auf möglichst viele andere Parameter ausgeweitet werden muss, um eine umfassende Aussage treffen zu können.

In Bezug auf die verfügbaren Flächendaten im Gebiet des HVO ist für die Bodendaten eine Verifizierung im Rahmen einer Beprobung während einer Feldkampagne vorgesehen. Die geologisch orientierte Bodenkarte 1:200.000 bietet bisher zu wenig Information, um Aussagen über die bodenhydrologischen Eigenschaften treffen zu können. Stichproben in den ausgewiesenen Bodeneinheiten sollen Aufschluss über die Verlässlichkeit der in den Karten angegebenen Leitprofile und deren Eigenschaften geben. Weiterhin ist eine Verbesserung der Datenlage bzgl. Vegetationsklassifizierung und DGM notwendig. Das Teilprojekt A3 wird eine erste satellitengestützte Klassifikation des HVO liefern und arbeitet ebenfalls an einem aus Satellitendaten abgeleiteten DGM.

Es wird erwartet, dass die bei den bisherigen, ausschließlich auf operationellen Informationen beruhenden Modellanwendungen aufgetretenen Abweichungen durch Verwendung optimierter Daten und durch Nutzung der auf der kleinen Skala angepassten Parameter stark reduziert werden. Wenn die Anpassung des Modells und der Daten für das Térou-Einzugsgebiet gelungen ist, wird abschließend auch eine Modellanwendung für das gesamte Zielgebiet des *Haute vallée de l'Ouémé* folgen (ca. 14.000 km²) sowie eine Validierung der Modellergebnisse auf der verschiedenen Skalen (30 km², 400 km², 3.000 km², 14.000 km²) durchzuführen versucht.

Literatur

Famiglietti, J.S. & Wood, E.F. (1994): Multiscale modelling of spatially variable water and energy balance processes. *Water Resources Research* (30/11), S. 3061-3078.

Teilprojekt A3**Funktionale Beziehungen zwischen raumzeitlicher Vegetationsdynamik und Wasserkreislauf**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. G. Menz (Koordinator) Geographisches Institut, Universität Bonn	Geographie, Fernerkundung
Prof. Dr. W. Barthlott Botanisches Institut und Botanischer Garten, Universität Bonn	U- Vegetationsökologie
Prof. Dr. H. Goldbach / Dr. J. Burkhardt Agrikulturchemisches Institut, Universität Bonn	Landwirtschaft: Ökophysiologie und Pflanzenernährung
Prof. Dr. S. Porembski Botanisches Institut und Botanischer Garten, Universität Bonn	Uni- Vegetationsökologie

Zusammenfassung

Das zweite Projektjahr stand inhaltlich im Zeichen der Beobachtung und Erfassung von bioökosystemaren Prozessabläufen und deren komplexer Überlagerung durch den wirtschaftenden Menschen. Die flächenhafte Erfassung der räumlichen Verteilungsmuster der Vegetation konnte mit der Beschaffung und Analyse von Datensätzen unterschiedlicher Satellitensysteme abgeschlossen werden. Für die Beschreibung der Veränderung in der Landbedeckung und Landnutzung wurden Dauerbeobachtungsflächen in naturnahen Vegetationsformationen angelegt sowie mikrometeorologischen Messgeräte auf agrarischen Nutzflächen installiert. Damit wurde innerhalb von A3 ein konzeptioneller Rahmen realisiert, in dem die Ergebnisse der standörtlichen Aufnahmen (WP A3-2 und WP A3-3) in die Fläche extrapoliert und umgekehrt eine Validierung der neuen, hochlösenden Landnutzungskarte für das Aguima Testgebiet (WP A3-1) durchgeführt werden konnte. Übereinstimmende Beobachtungen und erste Geländemessungen zeigen dramatische Landnutzungsänderungen im untersuchten Gebiet. Aufgrund dieses Befundes zeigt sich die Notwendigkeit der Entwicklung eines integrierten Monitoringsystems zur Abschätzung landwirtschaftlicher Potentiale und zur Ausweisung von Reserveflächen für eine nachhaltige Agrarplanung.

Konkrete Arbeitsschritte umfassten:

1. Anlage der Versuchsflächen respektive Aufbau von Messgeräten und Entwicklung einer Prozessierungskette für die operationelle Auswertung der Daten.
2. Erhebung von „Ground Truth“ (z.B. Vegetationstypen, Biomasse) und Ablage dieser Informationen in einer zentralen Datenbank.
3. Erfassung der aktuellen Vegetationsbedeckung mit einem hybriden Klassifikationsansatz.
4. Beginn der Analyse von bioökosystemaren Prozessen in Zusammenhang mit Vegetationsdynamik sowie der die Prozesse steuernden Parameter.
5. Fortführung der Vernetzung mit anderen Teilprojekten zur verbesserten Interpretation der Zwischenergebnisse.
6. Konzeptionelle Überlegungen zur Entwicklung eines empirisch-statistischen, mesoskaligen Landnutzungsmodells.

7. *Durchführungen von Schulungen und gemeinsamen Feldkampagnen Partnern aus Benin (z.B. UNB, GTZ, CENATEL).*
8. *Zusammenarbeit mit anderen in Benin arbeitenden Gruppen (z.B. BIOTA).*

Workpackage A3-1: Erfassung und Modellierung der Landbedeckung / –nutzung und ihre Veränderung aus Fernerkundungsdaten

Ziel der Fernerkundungsgruppe ist die Erfassung der Vegetation und ihrer raumzeitlichen Dynamik in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen. Hierfür wurden im Jahr 2001 vielfältige Aktivitäten unternommen, die sich in folgende Teilaspekte untergliedern lassen: Zunächst das Preprocessing der Fernerkundungsdaten (Geokorrektur und radiometrische Korrektur), sowie Erhebung von „Ground Truth“ als Trainingsgebiete für die Klassifizierung. Anschließend wurden die Fernerkundungsdaten mit unterschiedlichen Methoden klassifiziert und die Veränderung der Vegetationsbedeckung („Change Detection“) beschrieben. Die Konzeption eines statistischen Modellansatzes zur Modellierung zukünftiger Veränderungen (Szenarienbildung) war der nächste Arbeitsschritt. Insgesamt wurde eng mit den anderen IMPETUS Teilprojekten zur Überprüfung der Klassifikation und zur Interpretation der Landnutzungsveränderung zusammengearbeitet. Ein weiterer Schwerpunkt war die Kontaktaufnahme und Zusammenarbeit mit anderen in Benin tätigen Gruppen (z.B. CENATEL, International Institute for Tropical Agriculture, GTZ).

Feldarbeiten

Es wurden zwei ausgedehnte Feldkampagnen in Benin durchgeführt. Dabei wurden folgende Ziele verfolgt und mit Erfolg realisiert:

- ?? Einmessen von Passpunkten für die Georeferenzierung der Fernerkundungsszenen
- ?? Erhebung von "ground truth" für die Klassifizierung und die Verifikation der Klassifikationen
- ?? Erfassen der natürlichen Vegetationseinheiten sowie der Feldfrüchte, deren Anbaumethoden und Vegetationszyklen
- ?? Messung des Leaf Area Index und der spektralen Signaturen
- ?? Weiterbildung der beninischen Partner in modernen Methoden der Fernerkundung und der Geographischen Informationssysteme (GIS)
- ?? Knüpfung von wissenschaftlichen Kontakten zu anderen in West-Afrika arbeitenden Institutionen und Gruppen zwecks Informationsaustauschs und Nutzung von Synergien.

Besondere Aufmerksamkeit verdient in dem Zusammenhang der Aufbau einer Datenbank der Ground Truth, die auch anderen Gruppen zur Verfügung gestellt werden kann und somit im internationalen Kontext von Bedeutung ist.

Arbeit mit den Fernerkundungsdaten

Für die Erfassung der Landbedeckung / –nutzung wurden LANDSAT und NOAA Datensätze analysiert. Zusätzlich wird mit neueren Sensoren wie MODIS und ASTER gearbeitet, die eine verbesserte räumliche Auflösung bieten.

Preprocessing der Fernerkundungsdaten

Eine sorgfältige Vorprozessierung der Satellitenszenen (Georeferenzierung und radiometrische Korrektur) ist die Voraussetzung für eine erfolgreiche Bildverarbeitung. Benin stellt aufgrund des weitgehenden Fehlens eindeutig bestimmbarer Landmarken, des häufig störenden Einflusses der Atmosphäre (Wolken, Dunst und Staub), sowie der extrem heterogenen Landnutzung sehr hohe Anforderungen an die Bildvorverarbeitung. Durch die im Rahmen der Feldkampagnen mit GPS eingemessenen Passpunkte war für das Untersuchungsgebiet eine befriedigende Georeferenzierung von "Masterszenen" möglich. Weitere multitemporale Szenen wurden dann auf diese Szenen co-referenziert.

Die radiometrische Korrektur, deren Bedeutung oft unterschätzt wird, erfolgte mit den Programmen ATCOR 2/3 und STREAMER. Die hierfür benötigten Inputdaten wurden in Zusammenarbeit mit den Meteorologen des IMPETUS-Teilprojektes A1 zusammengestellt, was eine bedeutende Verbesserung gegenüber der von den Programmpaketen vorgegebenen Standardatmosphäre darstellt.

Landnutzungsklassifikation

Landnutzungsklassifizierung in den wechselfeuchten Tropen ist eine komplexe Aufgabe. Klassifizierungsmethoden, die auf einer spektralen Differenzierung der einzelnen Vegetationsklassen beruhen (z.B. überwachte „Maximum Likelihood“ Klassifikation) stoßen im Untersuchungsraum aufgrund der starken Vegetationsdynamik innerhalb eines phänologischen Zyklus an ihre Grenzen. Da die einzelnen Vegetationseinheiten im Jahresverlauf, bedingt durch den Wechsel von Regen und Trockenzeit, sehr unterschiedliche spektrale Signaturen aufweisen können und je nach Beeinflussung durch Feuer eine Vegetationsklasse zeitgleich extrem unterschiedliche spektrale Signaturen aufweisen kann, führen monotemporale Klassifikationen z.T. zu unbefriedigenden Ergebnissen. Deshalb wurde ein neuer wissenschaftlicher Klassifikationsansatz entwickelt, der mit multitemporalen Fernerkundungs-Szenen arbeitet. Dabei werden die einzelnen Klassen aufgrund ihrer unterschiedlichen Vegetationsentwicklung innerhalb einer Vegetationsperiode sowie durch Strukturparameter unterschieden. Diese neue Methode verbessert die Klassifikationsergebnisse bei einigen Klassen entscheidend (bis zu 20 %).

Bei der Vegetationsklassifizierung und der Ansprache der Vegetationseinheiten wurde eng mit den Botanikern der Gruppe Porembski (A3), sowie Wissenschaftlern aus Benin zusammengearbeitet. Für Fragen zu den angebauten Feldfrüchten sowie der Fruchtfolge, dem Vegetationszyklus der einzelnen Sorten usw. gab es eine gute Kooperation mit der Gruppe von Goldbach/Burkhard (A3), und auch die Erkenntnisse aus den umfangreichen, vom Teilprojekt A4 durchgeführten Befragungen, waren sehr wertvoll.

Als Ergebnis entstand eine Vegetationsklassifizierung für das Untersuchungsgebiet in einer räumlichen Auflösung von 30 m, die qualitativ eine signifikante Verbesserung gegenüber allen bisher vorliegenden Datensätzen darstellt. Diese Datensätze werden den Teilgruppen A1, A2 und A4 zur Verfügung gestellt und fließen in die jeweilige Modellierung ein.

„Change Detection“

Die Untersuchung der Landnutzungsänderung („Change detection“) ist eine der wesentlichen Aufgaben innerhalb des IMPETUS Projektes. Unterschiedliche Methoden („change vector analysis“, principal components) wurden angewandt, um pixelgenau nicht nur qualitative Veränderungen bestimm-

men zu können (z.B. Forêt dense zu Feld), sondern über die Länge des Änderungsvektors auch quantitativ den Betrag der Änderung abschätzen zu können. Dabei wurde darauf geachtet, die Prozessierungskette weitgehend operationell aufzubauen, so dass zukünftige Veränderungen rasch erkennbar sind.

Insgesamt ist die Veränderung der Landnutzung, insbesondere die Vernichtung des Waldes im Untersuchungsgebiet, dramatisch. Zur Erklärung der auf den Fernerkundungsszenen sichtbaren Landnutzungsänderungen wurde eng mit dem Teilprojekt A4 zusammengearbeitet. Diese Zusammenarbeit ist äußerst fruchtbar, da so die Veränderungen nicht nur qualitativ und quantitativ erfasst werden, sondern auch die sozialen Prozesse beschrieben werden können, die letztendlich zu der Veränderung der Landnutzung führen. Dies ist besonders im Hinblick auf die Entwicklung eines empirisch-statistischen Modells der Landnutzungsveränderungen von großer Bedeutung.

In Kooperation mit dem AGRHYMET-Institut in Niger wurden 10-Tage-Komposite des NDVI (Normalised Differential Vegetation Index) für die Periode von 1990 bis 2001 ausgewertet. Dies führte zu hochinteressanten Erkenntnissen über die Vegetationsdynamik in Westafrika. Der Vergleich dieser Daten mit den Klimamessdaten (Teilprojekt A1) sowie den Ergebnissen der Klimamodellierung erlaubt weitreichende Rückschlüsse auf die Interaktion zwischen Klima und Vegetationsdynamik. Es scheint, dass aus dem Datensatz der Einfluss der Entwaldung im Upper Ouémé durch den Menschen ableitbar ist. Auch zur Verifikation der Ergebnisse der Klimamodelle wird dieser Datensatz eingesetzt.

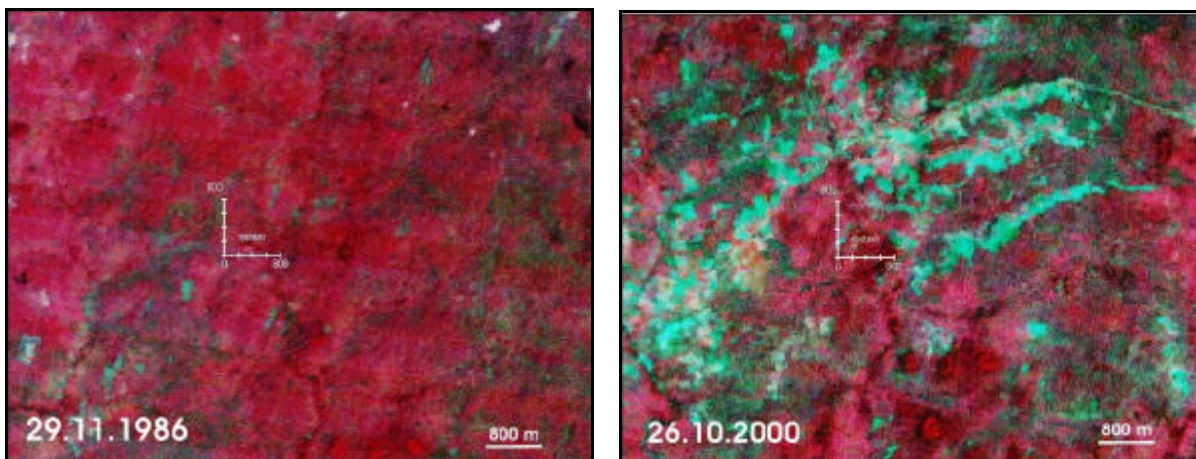


Abb. A3-1: Landnutzungsänderung zwischen dem 29.11.1986 und dem 26.10.2000 im Upper Ouémé-Einzugsgebiet, dargestellt anhand von LANDSAT Satellitenszenen in Falschfarbendarstellung (Kanalkombination 4,3,2; rote Farbtöne stehen für dichte Vegetation).



LANDSAT 11.12.1999

LANDSAT 13.12.2000

mit eingemessenen Feldern

Abb. A3-2: *Beispiel für die Integration von sozioökonomischen Daten zur Erklärung von Veränderungen in der Landnutzung im Ouémé-Gebiet. Linke Aufnahme vom 11.12.1999, mittlere Aufnahme vom 13.12.2000, rechte Aufnahme vom 13.12.2000 mit eingemessenen Feldern.*

Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Es wurden zahlreiche Kontakte mit anderen in Westafrika arbeitenden Gruppen (International Institute for Tropical Agriculture [IITA] in Cotonou, AGRHYMET in Niamey, GTZ, DED, Danida in Cotonou) aufgebaut - zum Austausch von Information, zur Abgleichung der Methoden und zur Nutzung von Synergien. Mit einigen Projekten wurden Kooperationsverträge abgeschlossen. Ziel hierbei ist die Optimierung der von IMPETUS erzielten Ergebnisse und die Nutzung der Ergebnisse und Methoden durch andere Gruppen (Synergien).

Workpackage A3-2: Analyse und Modellierung der raumzeitlichen Vegetationsdynamik im Haute Vallée de l’Ouémé in Abhängigkeit von klimatischen und anthropogenen Faktoren

Nachdem im Jahr 2000 die qualitative und quantitative Erfassung der aktuellen Vegetationsausprägung in der ausgewählten Testsite der Region „Haute Vallée de l’Ouémé“ erfolgte, wurden in einer ersten Auswertungsphase die die Vegetationsdynamik steuernden Faktoren analysiert. Im gesamten Untersuchungsgebiet konnten während der durchgeführten Studien tiefgreifende, anthropogen bedingte Landschaftsveränderungen beobachtet werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten in 2001 lag auf der Untersuchung dieser Faktoren. Hierbei galt es zuerst, das gewonnene Prozessverständnis zu einer Kausalkette zusammenzufügen, um anschließend geeignete Methoden zu finden, mit denen die Schlüsselfaktoren untersucht werden. Besonders wichtig waren hierbei die Analyse der ökosystemaren Prozesse und der sie steuernden Faktoren sowie die synthetische Betrachtung kausal zusammenhängender Parameter. Das Verständnis letzterer erlaubt die Entwicklung geeigneter Methoden zur Untersuchung ausgewählter Schlüsselfaktoren, die im Hinblick auf das Verständnis grundlegender ökosystemarer Prozesse entscheidende Bedeutung haben und für die Modellierung der Prozesse benötigt werden.

Untersuchung der aktuellen Ausprägung der Vegetationsdynamik im Aguima Catchment, Doguè, Benin

Als dominierender steuernder Faktor auf die aktuelle Ausprägung der Vegetationsdynamik für nicht landwirtschaftlich genutzte Gebiete stellt sich der selektive Holzeinschlag in der gesamten Region „Haute Vallée de l’Ouémé“ dar. Dieser hat weitreichende Folgen auch auf die übrigen anthropogen bedingten Einflüsse, wie Feuer und Beweidung. Die Untersuchung der Konsequenzen des Holzeinschlages für die Ausprägung der Vegetation und deren Regenerationspotential ist Ziel dieser Arbeit. Dabei sind insbesondere die Ergebnisse hinsichtlich stehender Biomasse für die Modellierungen der Arbeitsgruppen von A1 und A2, aber auch für die Arbeiten in A3-1 von Bedeutung.

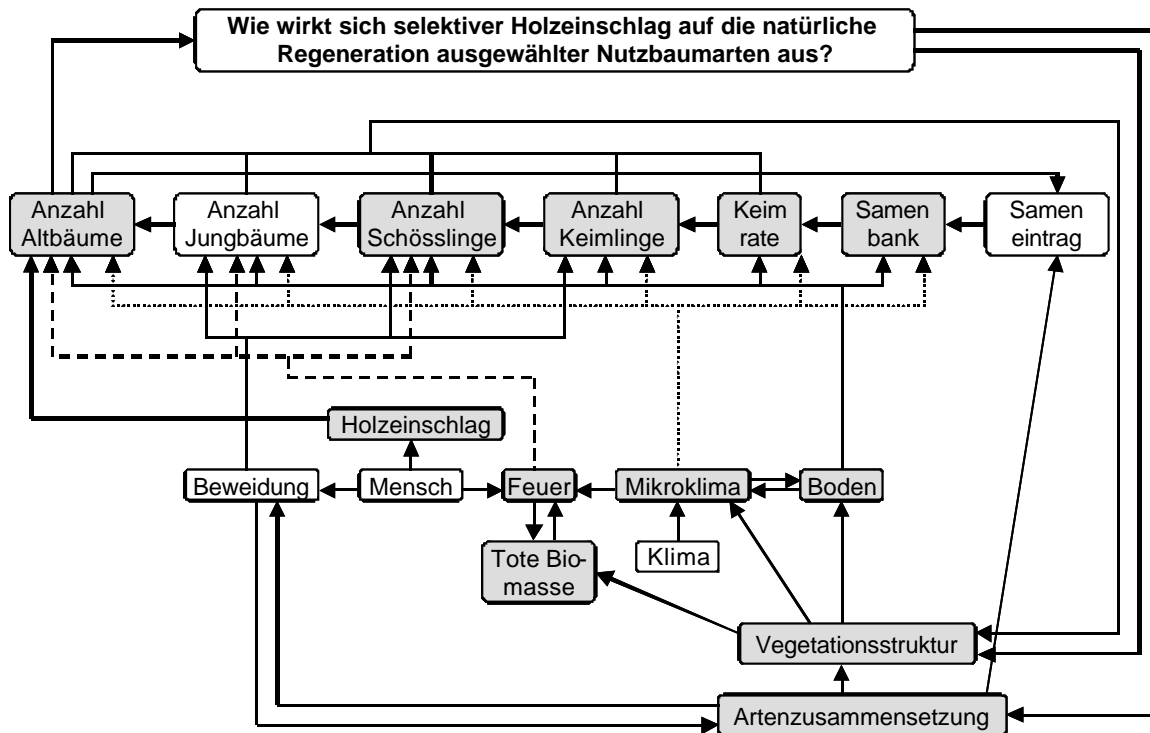


Abb. A3-3: Kausalitätsdiagramm zur Auswirkung des selektiven Holzeinschlags auf die natürliche Regeneration ausgewählter Nutzbaumarten. Grau unterlegt sind Aspekte zu denen bereits Daten erhoben wurden.

In Abb. A3-3 ist das Kausalitätsdiagramm dargestellt, welches die Grundlage für die Bearbeitung der konkreten Frage ist: Wie wirkt sich selektiver Holzeinschlag auf die natürliche Regeneration ausgewählter Nutzbaumarten aus? Hierzu wurden Transekte von Lücken, die durch Holzeinschlag entstanden sind, in den Wald gelegt, um kleinräumig die Schlüsselfaktoren (Mikroklima und regeneratives Potential) zu untersuchen. Sämtliche Untersuchungen werden zusätzlich in allen angelegten Dauerflächen durchgeführt, um Vergleiche mit allen Vegetationsformationen zu erhalten. Insgesamt werden 72 Flächen (5x15m) bearbeitet. Die Auswahl der Flächen wurde mit den anderen Arbeitsgruppen abgestimmt, so dass die Flächen jetzt von allen im Gebiet arbeitenden Gruppen genutzt werden. Hinsichtlich des methodischen Vorgehens wurden die Ansätze mit den botanischen Arbeitsgruppen aus BIOTA intensiv diskutiert und ein Konsens über die Methoden erzielt, die jetzt in zwei weiteren Gebieten zur Anwendung kommen (Côte d' Ivoire, Parc National de la Comoé und in Nord Benin, Pehunco)

In der Feldkampagne im Frühjahr 2001 wurde die Struktur der Baumschicht erfasst, d.h. auf den Dauerbeobachtungsflächen wurden sämtliche Bäume eingemessen und ihre Höhe, Kronenansatzhöhe sowie der Stammdurchmesser erfasst. Weiterhin wurde mit der Zählung und Vermessung des Jungwuchses aller Baumarten begonnen und eine Reihe von Keimversuchen angelegt (in den Testflächen sowie im Labor). Die Erfassung des Jungwuchses und der Auflauf- und Überlebensrate der Keimlinge erfolgt während jedes Feldaufenthaltes, am Ende der Trockenzeit und zum Ende der Regenzeit. Insgesamt können Daten über zwei Jahre erhoben werden.

Bei der Feldkampagne im Herbst 2001 stand die Erfassung der abiotischen Einflussfaktoren auf die Vegetation im Vordergrund. In enger Zusammenarbeit mit A2 wurden in allen Dauerbeobachtungsflächen Bodenhorizontbeschreibungen angefertigt und die Bodentiefe festgestellt sowie Bodenproben aus 3 Ho-

rizonten entnommen. Diese werden derzeit hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften analysiert. Zur Beschreibung der mikroklimatischen Verhältnisse wurden Mini-Datalogger zur Messung der Lufttemperatur und –feuchte ausgebracht sowie die Durchlässigkeit des Kronendachs für kurzwellige Strahlung mittels hemisphärischer Fotos ermittelt.

Aufgrund der hohen Rohdatenfülle und der langen Feldaufenthalte liegen derzeit nur erste Ergebnisse zu den grundlegenden Erhebungen der Vegetationsausprägung vor. Die Basalfläche versechsfacht sich von der Grassavanne (2,5 m²/ha) zu dem durch *Uapaca togoensis* dominierten lichten Trockenwald (15 m²/ha). Die durchschnittliche Baumhöhe nimmt von 21 m auf 30 m zu. Die durchschnittliche Bodentiefe ist in der Grassavanne mit 135 cm am höchsten und nimmt zu den Waldformationen auf 85 cm ab.

Untersuchung des Einflusses der durch Holzeinschlag entstandenen Baumlücken auf die Dynamik der Krautschicht

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden in der Feldkampagne Herbst 2001 von Dirk Wesuls Daten zur kleinräumigen und zeitlich kleinskaligen Dynamik der Krautschicht erhoben. Hierzu wurden auf den oben genannten Transekten (von Lücken in den Wald hinein) zwei Untersuchungsansätze bearbeitet. Zum einen wurde die gesamte Krautschicht erfasst hinsichtlich Artenzusammensetzung, Artmächtigkeiten, Struktur und Biomasseproduktion. Zum anderen wurde eine Indikatorart des Waldes ausgewählt und deren demographisches und reproduktives Verhalten entlang des Transekts über drei Monate untersucht.

Vorstellung des Projektes

Die Arbeiten wurde auf der Tagung der beninischen Vereinigung zu Wald und Beweidung (Titel des Vortrags: Analyse de la dynamique actuelle de la végétation dans le bassin versant de l'Aguima (Doguè); von Bettina Orthmann, Dirk Wesuls, Stefan Porembski), auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Tropenökologie sowie der Jahrestagung der International Association for Vegetation Science präsentiert (Titel des Posters: Assessment and Modelling of Vegetation Dynamics in the Upper-Oueme Catchment (Benin, Western Africa) within the IMPETUS-project; von Bettina Orthmann, Stefan Porembski, Hans-Peter Thamm, Gunter Menz, Brice Sinsin).

Vernetzung

Vernetzungen zu den übrigen Teilprojekten in IMPETUS ergeben sich insbesondere mit den Arbeitsgruppen in A2 hinsichtlich der edaphischen Faktoren und zu den landwirtschaftlichen Arbeitsgruppen durch die Bereitstellung von Biomassedaten aus nicht landwirtschaftlichen Flächen zu Vergleichszwecken. Mit diesen Arbeitsgruppen sowie mit der Fernerkundung finden neben dem Austausch von Daten intensive gemeinsame Feldarbeiten statt. Weiterhin fließen die Arbeiten von A4 insbesondere hinsichtlich der Erkenntnisse zum Verständnis der Abholzungen und Landnutzungsänderungen ein.

In der Université National du Benin in Cotonou wurde mit der Arbeitsgruppe von Brice Sinsin eine enge Kooperation aufgebaut. Um die Zusammenarbeit zu stärken und lokale Wissenschaftler zu fördern, wird ab November 2001 ein Student aus der Arbeitsgruppe bei der Vorbereitung des DESS en Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles finanziell unterstützt. Dieser Student soll sich im Rahmen seiner Abschlussarbeit des weiterführenden Studiums mit dem Einfluss der Beweidung auf die Vegetationsdynamik beschäftigen.

Workpackage A3-3: Bestimmung der pflanzlichen Transpiration und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung

In einem partizipatorischen Ansatz wurden mit den Bauern 150 Felder in Bereich der Dörfer Dogué, Oué-Oué und Bétérou ausgewählt und die fünf Kulturen Mais, Yams, Erdnuss, Baumwolle und Sorghum angebaut, wobei je Feld eine Behandlung in vier Düngungsvarianten erfolgte. Neben der Nullvariante wurden rein mineralische Düngung, rein organische Düngung sowie eine gemischte Variante angewandt. Organische Düngungsvarianten werden im Untersuchungsgebiet bislang kaum verwendet. Die Bauern wurden daher von örtlichen Technikern zu der Sammlung und Kompostierung des organischen Düngers angeleitet und bei dessen Ausbringung unterstützt. Im Verlauf der Vegetationsperiode sowie nach der Ernte wurden mehrfach Pflanzen- und Bodenproben genommen, deren Analyse derzeit durchgeführt wird. Neben der Analyse der Mineralstoffgehalte und der organischen Substanz des Bodens wird die Kohlenstoff-Isotopenzusammensetzung der Blätter untersucht, die Erkenntnisse über den Einfluss der Düngung auf die Wassernutzungseffizienz liefern soll. Zudem wurden in den Düngungsversuchen mehrfach Biomasse-Erhebungen durchgeführt. Die Laborarbeiten wurden im IMPETUS-Labor in Parakou sowie vor dessen Inbetriebnahme im Baumwollforschungs-Institut in Parakou, sowie am CENAP in Cotonou und am Agrikulturchemischen Institut in Bonn durchgeführt. Als Standort für die Klimastation und die Mehrzahl der (Evapo-)Transpirationsmessungen an Einzelpflanzen und Beständen wurde ein Feld bei Dogué festgelegt. Es liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zu dem vom Teilprojekt A2 eingerichteten Messfeld für Bodenwasser. Erste mehrwöchige Messungen zum Transpirationsverhalten mittels Blattnässe-Sensoren in Kombination mit einem Saftflussmessgerät wurden durchgeführt. Die Klimastation wurde im März aufgebaut und wird seitdem kontinuierlich betrieben. Aus den Messdaten konnte u.a. die Hauptwindrichtung bestimmt werden, deren Kenntnis für die Installation einer Eddy-Kovarianz-Messapparatur an dieser Stelle bedeutsam ist. Zusätzlich zu den Standarddaten werden von der Klimastation direkte und indirekte kurz- und langwellige Strahlung sowie der Bodenwärmefluss aufgezeichnet. Des Weiteren wurde eine TDR-Sonde an der Station und eine weitere in fünf Meter Entfernung installiert. Mit Hilfe angelernter Mitarbeiter aus dem Dorf Dogué werden die Bodenwassergehalte in drei (0-30, 30-60 und 60-90 cm) Tiefen in regelmäßigen Abständen bestimmt. In Bonn fanden Vorarbeiten zu Betrieb und Kalibrierung von Wägelysimeter (Aufbau im Frühjahr 2002) und Blattbenetzungs-Messgeräten, sowie zu den für Sommer 2002 geplanten Eddy-Kovarianzmessungen statt.

Die Ergebnisse werden mit den Arbeitsgruppen A1 und A2 diskutiert und fließen in die Modellierung ein. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe A3 Fernerkundung werden die Möglichkeiten einer Regionalisierung geprüft.

Teilprojekt A4**Soziodemographische Entwicklung und Migration im Hinblick auf die Knappheit der Ressourcen**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. W. Schug (Koordinator) Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie, Universität Bonn	Versorgungslage mit Wasser
Prof. Dr. W. Henrichsmeyer Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie, Universität Bonn	Politikinformationssysteme
Prof. Dr. M. Janssens Institut für Obstanbau und Gemüseanbau Abt. Tropischer Pflanzenbau	Bodennutzungssysteme

Zusammenfassung

Nach Abschluss konzeptioneller Überlegungen sowie nach interner Abstimmung von Definitionen und nach Festlegung der Untersuchungsgebiete befinden sich die verschiedenen Untersuchungsbereiche in der Feldforschungsphase.

Im Mittelpunkt steht dabei die Datensammlung, die sich auf die Anwendung ökoskopischer und demoskopischer Methoden der Marktforschung einschließlich der teilnehmenden Beobachtungen konzentriert.

Soweit bereits Sekundärdaten existieren, werden sie je nach Qualität und Relevanz für die verschiedenen Fragestellungen der Forschungsvorhaben übernommen bzw. bearbeitet. Im Zusammenhang mit der Datenanalyse können Indikatoren bzw. Beurteilungsmaßstäbe entwickelt werden, die für die Interpretation des Datenmaterials herangezogen werden können.

In Ergänzung hierzu werden demoskopische Erhebungen (mündliche und schriftliche Befragungen, Experteninterviews (Delphi-Methode) und die teilnehmende Beobachtung) durchgeführt. Die Ergebnisse bieten vor allem auch qualitative Informationen, die komplementär zu den Sekundärstatistiken die verschiedenen Untersuchungsbereiche transparent machen. Während Primärerhebungen in den Workpackages A4-1 und A4-2 im Vordergrund stehen, stützt sich die Analyse der Bodennutzungssysteme (A4-3) auf die direkte Sammlung von Bodenproben oder die direkte Messung der Pflanzendichte.

Der Stand in der Durchführung der verschiedenen Untersuchungsabschnitte ist wegen innerer und äußerer Restriktionen zwar noch unterschiedlich, hat sich aber im Verlauf des Jahres 2001 tendenziell angenähert. Lediglich die Erarbeitung eines regional differenzierten Agrarstrukturmodells ist wegen personell bedingter Unterbrechung der methodischen Arbeiten verzögert. Es wurden inzwischen aber die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass eine schnelle Anpassung an die übrigen Teilgebiete erfolgen wird.

Die Einzelberichte zeigen, dass bereits im Vorfeld der Phase der Datenauswertung wertvolle Teil- oder Zwischenergebnisse vorliegen, die Hinweise auf die weitere inhaltliche Gestaltung des Impetus Forschungsprogramms bieten.

Schließlich ist festzustellen, dass die Kooperation zwischen den Teilprojekt A3, A4 und A5 in einer immer stärkeren Vernetzung zum Ausdruck kommt. Dies lässt sich sowohl für die methodischen Ansatzpunkte als auch für die Abstimmung in der Datenerhebung und für den Austausch der Daten beobachten.

Analyse des Wasserdargebotes zur Erstellung langfristiger Wasserbilanzen für verschiedene Untersuchungsstandorte im Einzugsgebiet Haute-Ouémé, Benin

Die Wasserversorgungslage Benins soll anhand einer Wasserbilanz dargestellt werden. Die in diesem Workpackage zu untersuchende Wasserbilanz ergibt sich aus einer Gegenüberstellung des Wasserdargebotes und der Wassernachfrage. Das hier zu untersuchende Wasserdargebot definiert sich als diejenige nutzbare Menge an Süßwasser, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort der Bevölkerung zur Verfügung steht. Daher kann man in diesem Zusammenhang auch von Wasserverfügbarkeit sprechen. Das soll im Folgenden auch geschehen, da sich auf diese Weise eine Verwechslung mit der klimatischen Wasserbilanz, bzw. dem klimatischen Wasserdargebot vermeiden lässt.

Die Untersuchung der Wasserverfügbarkeit bezieht sich dem zu Folge auf die Erfassung

- der Zuständigkeiten im Wassersektor
- der Wasserversorgungsinfrastruktur
- der Menge des zur Verfügung stehenden Oberflächen- und Grundwassers und
- des Nutzereinzugsgebietes von Wasserversorgungseinrichtungen.

Die Wasserversorgungsinfrastruktur im ländlichen Raum Benins setzt sich aus natürlichen Quellen, Flüssen, Seen, Staubecken, Marigots, Brunnen und Wasserlöchern zusammen. In den städtischen Gebieten gibt es neben Brunnen auch zentrale Wasserversorgungssysteme mit öffentlichen und privaten Zapfstellen. Zur Darstellung der Versorgungsinfrastruktur soll eine Inventarisierung der Versorgungseinrichtung per GPS und ihre Darstellung in einer georeferenzierten Karte mit ARC/VIEW erfolgen.

Die Menge des zur Verfügung stehenden Wasser kann durch die Auswertung von Sekundärdaten und die Erhebung von Primärdaten bestimmt werden. Besonders im Bereich der städtischen Wasserversorgung (zentrale Versorgungssysteme) ist auf eine ausreichende Datenbasis zu hoffen. Im ländlichen Bereich sollen Pumpversuche Auskunft über den nutzbaren Wasservorrat geben. Brunnentests scheinen hier eine geeignete Methode zur Bestimmung der Ergiebigkeit bzw. der Brunnenleistung zu sein. Außerdem ist die Bestimmung einer nachhaltigen Entnahmemenge aus den Brunnen von ausschlaggebender Bedeutung, damit es zukünftig nicht zu einer Grundwasserspiegelabsenkung und damit zur Verringerung der Wasserverfügbarkeit kommt. Daten über das Volumen von stehenden Gewässern und Abflussdaten von Fließgewässern werden die Datensammlung zur Analyse der Wasserverfügbarkeit vervollständigen.

Aus der Gegenüberstellung der zur Verfügung stehenden Süßwassermengen und ihrer Einzugsgebiete bzw. der Anzahl ihrer Nutzer lässt sich eine Verfügbarkeit an Süßwasser pro Einwohner in Litern pro Tag ableiten.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über Djougou und Serou. Eine Ausweitung des Untersuchungsgebietes der Wasserverfügbarkeitsanalyse ist geplant, kann aber erst nach dem ersten Aufenthalt in Benin im März 2002 genau festgelegt werden. Des Weiteren wird eine Zusammenarbeit mit Teilprojekt A2 (Grundwasserneubildung) stattfinden und damit auch eine Untersuchung der Wasserverfügbarkeit in Dougé.

Workpackage A4-1: Entwicklung der Versorgungslage mit Wasser

Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Wassernachfrage. Dabei geht es um die Aufstellung und Analyse von Wasserbedarfsprognosen. Anhand von demographischen Daten (Wachstum und Verteilung der Bevölkerung) und ökonomischen Parametern (Einkommen, Wasserverbrauch, Wasserpreise) soll eine Nachfragefunktion erstellt und Verteilungsfragen untersucht werden.

Es soll am Ende der Recherche eine Einschätzung der Wassernachfragesektoren möglich sein, anhand derer man den zukünftigen Wasserbedarf abschätzen kann. Dazu werden die Sektoren Bevölkerung, Landwirtschaft und Industrie als Hauptabnehmer genauer betrachtet.

Bisherige Vorgehensweise

Im Jahr 2001 wurden zwei Feldaufenthalte durchgeführt. Der erste Aufenthalt vom 09.01-10.02.2001 diente dazu, ein Untersuchungsgebiet zu finden, das für die Fragestellung geeignet ist. Gleichzeitig wurden Sekundärdaten gesammelt. Im zweiten Feldaufenthalt vom 20.05-08.08.2001 konzentrierten sich die Untersuchungen auf das Untersuchungsgebiet. Mittels Expertenbefragungen und Fragebögen wurden relevante Aspekte erfasst. Brunnenzeitanalysen und eine interdisziplinäre Wasseranalyse mit dem Teilprojekt A5 rundeten das Aufgabengebiet ab.

Wichtigste Zwischenergebnisse

Untersuchungsgebiet

Ziel war das Finden eines Untersuchungsgebietes, welches die Wasserverhältnisse repräsentativ von Gesamtbenin wiederspiegelt. Zu diesem Zweck konzentrierte sich die Suche auf ein Gebiet, in dem dörfliche Strukturen mit einer überwiegenden Brunnenversorgung und städtische Strukturen mit und ohne einem städtischen Wasseranschluss anzutreffen waren.

Mit Sérou, einem kleinen Dorf auf der Strecke Parakou - Djougou im Dongagebiet, konnte ein Untersuchungsgebiet gefunden werden, das sich sehr gut im Hinblick auf die Fragestellung eignet. Hier wurden in einer Fragebogenbefragung insgesamt 30 Haushalte in einer Zufallsstichprobe ausgewählt. Diese Befragung fand in der Regenzeit statt und ist auch für die Trockenzeit im nächsten Feldaufenthalt geplant. Gleichzeitig wurden innerhalb der interdisziplinären Wasseranalyse 8 Haushalte ausgewählt, in denen Wassermessungen zum Verbrauch stattfinden. Diese Untersuchung umfasst einen Zeitraum vom Juli 2001-Januar 2002. Je nach gegebenen Möglichkeiten ist geplant, diese Analyse bis März zu verlängern, damit auch die Regenzeit erfasst werden kann.

Djougou, eine kleine Stadt im Dongagebiet wurde als zweites Untersuchungsgebiet ausgewählt. Dabei konzentrieren sich die Untersuchungen auf das Stadtgebiet Medina. Hier wurden 30 Haushalte mit Wasseranschluss und 30 Haushalte ohne Wasseranschluss innerhalb der Fragebogenaktion befragt. Gleichzeitig wurden auch hier 8 Haushalte ausgewählt, die im Rahmen der interdisziplinären Analyse genauer untersucht werden.

Fragebogen

Mit Hilfe des Fragebogens wurden sozioökonomische Aspekte erfasst, mit deren Ergebnisse das Ziel erreicht werden soll, Rückschlüsse über Korrelationen und Regressionen zum Wasserverbrauch zu zie-

hen. Die Untersuchung fand in insgesamt 90 Haushalten statt, wobei auf folgende Aufteilung Wert gelegt wurde:

30 Haushalte in Sérrou mit Zugang zu einem Dorfbrunnen (Dorf)

30 Haushalte in Djougou öffentlichen Wasseranschluss (Peripherie)

30 Haushalte in Djougou mit einem öffentlichen Wasseranschluss (Stadt).

Insgesamt werden dazu über 70000 Daten mittels SPSS, einem Statistikprogramm, verwaltet. Da die Eingabe der Daten noch nicht vollendet ist, können im folgenden Abschnitt nur Teilergebnisse der gesamten Befragung präsentiert werden. Es ist zu erwarten, dass die Endergebnisse im Frühjahr 2002 vorgestellt werden können.

Das Thema Wassermangel nimmt mit 65 % der befragten Frauen den höchsten Stellenwert ein, wenn nach den größten Problemen am Wohnort gefragt wird. Somit ist Wassermangel ein zentrales und aktuelles Thema in der gegenwärtigen Situation im Untersuchungsgebiet. Dennoch ist für fast 95 % der Befragten Wassermangel kein Grund für eine Abwanderung. Dies wird damit begründet, dass es notwendig ist, mögliche Lösungen zu finden. Als weiteren Punkte wurden Hauseigentum oder die Familie angegeben.

Bezogen auf die Wasserquelle bevorzugten in der Regenzeit die meisten Befragten mit 88 % den Dorf- bzw. Hausbrunnen. Auf Rank 2 folgte die Nutzung über öffentliche Wasserversorgungsnetze. Die Regenwassernutzung wurde von 10 % der Befragten angegeben. Die Marigotversorgung (Wasserlöcher) und die Versorgung über die öffentlichen Netze der Nachbarn traten mit 2 bzw. 1 % in der Hintergrund.

Interessant war die Tatsache, dass fast alle Besitzer von öffentlichen Netzen ihren Anschluss in der Regenzeit auch aktiv nutzen. Dennoch wurden andere Quellen wie z.B. das Brunnenwasser zusätzlich für die Wasserversorgung herangezogen.

Als Lösungsstrategie für die Verwaltung knapper Ressourcen wird u.a. ein Wasserpreis diskutiert. Fast 85 % der Befragten würden einen solchen Preis akzeptieren, besonders in der Trockenzeit. Der derzeit akzeptierte Wasserpreis liegt bei 12,5 CFA pro mittleres Bassin („bohn son“).

Wasserkonflikte sind bei knappen Gütern zu erahnen. Umso mehr war das Ergebnis überraschend, dass sich die meisten Konflikte um die Nichteinhaltung einer zeitlichen Rangfolge handelten. Von Konflikten aufgrund vorbeiziehender Rinderherden wurde nicht berichtet. Dies ist damit zu erklären, dass mit umherziehenden Rinderherdenbesitzern Vereinbarungen getroffen wurden, Marigots weit außerhalb des Dorfes zu nutzen.

Brunnenzeitanalyse

An einem Tag in der Regenzeit wurde der Hauptbrunnen von Sérrou im Hinblick auf die Wasserverantwortlichen, Wassergefäße, Wasserholzeiten und entnommenen Mengen untersucht.

Dabei konnte festgestellt werden, dass die Wasserverantwortung nach wie vor bei den Frauen liegt und sie von Ihren Kindern, vorwiegend den Mädchen, unterstützt werden. Insgesamt konnten 11 verschiedene Wassergefäße analysiert werden, wobei die größte Bedeutung dem sogenannten „Bassine“ zukommt. Hauptsächlich wurde das „Moyenne Bassin“, mit einem Fassungsvermögen von ca. 35 Litern von den Frauen genutzt.

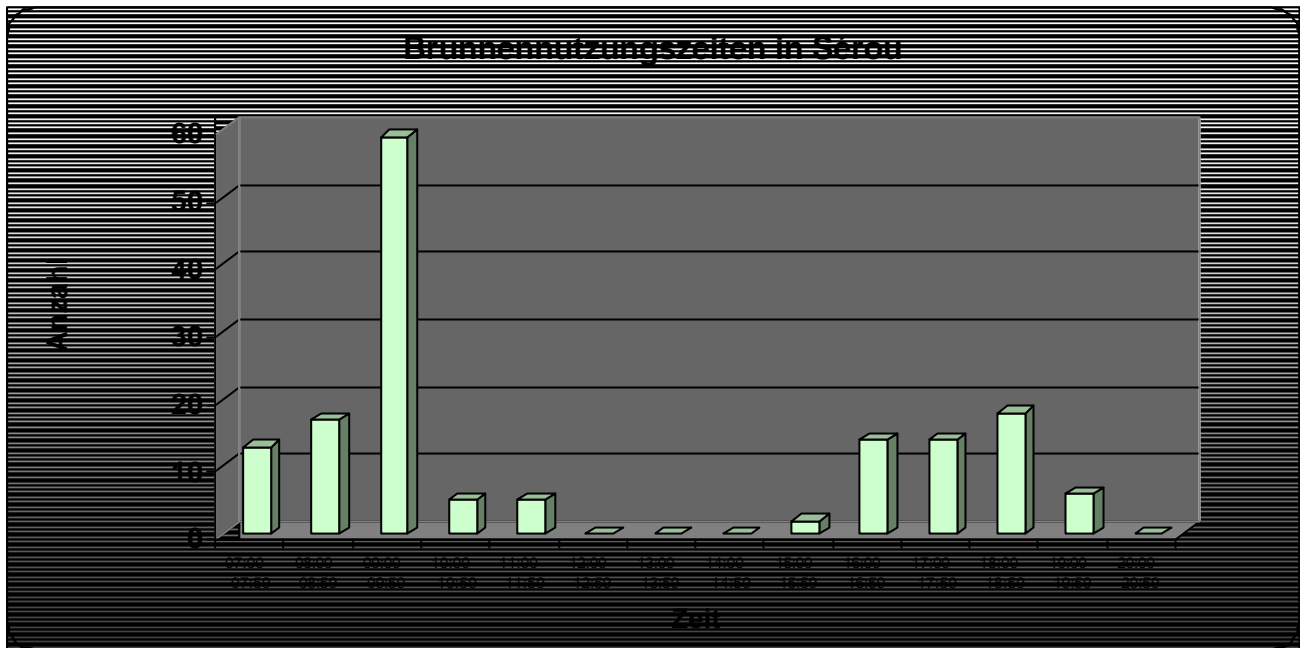


Abb. A4-1: Schaubild zu den Wasserholzeiten. Es zeichnen sich morgens und nachmittags Kernzeitenbereiche ab.

Interdisziplinäre Wasseranalyse mit Teilprojekt A5

Ziel dieser Analyse waren die folgenden Fragestellungen:

Welcher Haushalt bezieht von welcher Quelle wie viel Wasser?

Sind Zusammenhänge erkennbar zwischen Sozialstrukturen (Wohlstand, Familienstruktur) und Wasserverbrauch?

Zu diesem Zweck wurden insgesamt 40 Haushalte in 5 verschiedenen Orten ausgewählt. Da auch hier die Dateneingabe zur Zeit stattfindet, können die ersten Ergebnisse im Frühjahr 2002 präsentiert werden.

Analyse verschiedener Entwicklungsstrategien im Hinblick auf Ressourcenverknappung und Bevölkerungswachstum im oberen Ouémé-Catchment

Ziele und methodische Vorgehensweise

Querschnittsanalyse

Zu Beginn der zweiten Feldforschungsphase wurde die Tiefen- und Querschnittsanalyse der im Catchment tätigen Entwicklungsorganisationen fortgeführt, die Methodik erweitert und erste Indikatoren gebildet. Die Querschnittsanalyse mittels eines teilstandardisierten Fragebogens wurde mit dem Ziel durchgeführt, herauszufinden welche Finanzvolumina von welchen Gebern in die Region gelangen, an welche Gruppen und „Zone d'intervention“ sie vor Ort verteilt werden und welche finanziellen und arbeitsbedingten Beziehungen sich daraus innerhalb der vielschichtigen Organisationslandschaft und dem privaten Sektor ergeben.

Tiefenanalyse

Zweites Ziel dieses ersten Arbeitsschrittes war die weitere Identifizierung von Organisationen des Agrarsektors und des Mikrofinanzwesens zur Aufnahme in die parallel verlaufende Tiefenanalyse. Diese beiden Bereiche erfüllen am ehesten die Kriterien „flächenmäßig hohe Signifikanz“, „Breitenwirksamkeit“, „Einfluss auf natürliche Ressourcen“ (hauptsächlich Ackerland) und „einkommensgenerierende Effekte“ für die Bevölkerung. Eine Bearbeitung von Projekten der nachhaltigen Waldwirtschaft und des Wasserwesens steht noch für die zweite Hälfte der laufenden Forschungsphase an. Eine weitere Gruppe von Projekten, welche in der Untersuchung berücksichtigt werden, befasst sich mit Vorbereitungsmaßnahmen zur Dezentralisierung (Ausbildungsmaßnahmen zur Erstellung dörflicher Entwicklungs- und Landnutzungspläne). Diese Aktivitäten sind aufgrund der immer noch ausbleibenden Dezentralisierung ins Stocken geraten, bzw. auf Eis gelegt worden. Sie werden jedoch weiterhin mit eingeschränktem Arbeitsaufwand, aufgrund ihrer zukünftig hohen Bedeutung als Ansatzpunkt für eine räumliche Planung, beobachtet, welche m.E. die derzeit einzige greifbare Steuerungsmöglichkeit der marktvermittelten Entwicklungstendenzen (Abholzung, ungeplante Landerschließung Bodenspekulation, Besitzkonzentration...) innerhalb dieses agrarischen Restraumes darstellt.

Im Mittelpunkt der Tiefenanalyse stehen erstens die Erfassung und Bewertung der verschiedenen Arbeitsweisen (Problem- und Zielgruppenanalyse, Auswahl der Zielgruppen und Interventionsgebiete, Fortschrittskontrolle usw.) und zweitens vor allem die Interdependenzen zwischen den Ausführungsorganen in einem „überforderten Milieu“ und ihre rekursiven Auswirkungen auf die ursprünglichen Durchführungsstrategien sowie vor allem die Kurz- und Langfristwirkungen auf die Handlungsweisen der Empfänger. Drittens wird daran anschließend nach den Auswirkungen auf die verschiedenen Arten der Ressourcennutzungen der Empfänger gefragt und schließlich viertens gesondert auf den Stellenwert der in ihrer Bedeutung rasch anwachsenden Zielgruppe der Migranten in den Entwicklungsstrategien der Projekte eingegangen.

Die Arbeitsweise untergliedert sich in eine Handlungs- und Wirkungskettenanalyse mittels offener Leitfadenterviews vom Empfänger bis zum Projektleiter, um nachzuvollziehen wie sich beispielsweise eine in der Querschnittsanalyse identifizierte „Gebermode“ lokal konkret äußert. Dieser Arbeitsschritt geht in den zweiten der „*entwicklungspolitischen Dorfprofile*“ über, in welchem vor Ort möglichst viele „ressource persons“ zu entwicklungspolitischen Aktivitäten und den Problemen im Dorf befragt werden.

Zwischenergebnisse der Querschnittsanalyse

Wie bereits nach den ersten Voruntersuchungen im Januar und Februar vermutet wurde, intervenieren die wenigsten der bisher 41 erfassten internationalen und nationalen Organisationen im Bereich der Landwirtschaft, welcher die größten Auswirkungen auf die natürliche Ressourcenbasis hat. Der Grund ist in der fast 100% Abhängigkeit des relativ jungen ONG-Sektors von internationalen Gebern zu suchen. Für diese fungieren sie als „Intermédiaires“ zur Durchführung großer Programme in den Bereichen Bildung, Gesundheit, lokale Institutionenförderung, Infrastruktur oder Mikrofinanzierung, führen einzelne Arbeitsschritte innerhalb einer Projektzyklusphase aus (z.B. Zielgruppen- und Problemanalyse auf Dorfebene, Gruppenanimationen, Kampagnen zu Alphabetisierung, Aidsaufklärung usw.) oder werden - wenn es sich um ein integriertes Sektorprogramm handelt - mit der Durchführung von kompletten Komplementärprogrammen (beispielsweise Alphabetisierung der Frauengruppen eines Mikrofinanzprojektes) betraut. Über einen nennenswerten Eigenfinanzierungsanteil verfügten lediglich zwei Organisationen und eine Mitgliederbasis – allerdings nicht auf finanzieller Ebene – hat eine einzige ONG aufzuweisen. Es handelt sich also nicht um ONG's, sondern in den meisten Fällen um reine *Consultingunternehmen*. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des von den Gebern angestrebten Nebeneffekts der Institutionenförderung ist auch bedenklich, dass nur 7 der untersuchten ONG's sich um die Einrichtung eigener Fonds bemühen und dies ausschließlich im Bereich des bereits enger werdenden Marktes des ländlichen Spar- und Kreditwesens. In diesem Sektor agieren auch die weitverbreiteten traditionellen Finanzinstitutionen der „Tontines“ auf die noch näher eingegangen wird.

Zwischenergebnisse der Tiefenanalyse

In oben beschriebener Weise wurden bisher in 5 Dörfern 9 Ressourcepersonen, 3 „groupements villageois“ und 5 Frauengruppen befragt. Die Untersuchung der entwicklungspolitischen Tätigkeiten in einem Stadtteil Parakous ist in Arbeit. Auf eine ausführliche Darstellung der Spezifika der im folgenden genannten Organisationen muss an dieser Stelle zu Gunsten einiger auffälliger Sektortendenzen verzichtet werden.

Ländliches Spar- und Kreditwesen

Es gibt 4 ländliche Entwicklungsbanken (CLCAM, PROMIC, PADSA, CBDIBA), eine wegen ihres nur lokalen Wirkungsbereiches noch nicht genauer identifizierte Anzahl von Finanz-ONG's, von denen bisher 7 in die Untersuchung einbezogen wurden und eine unüberschaubare Anzahl von „Tontines“. Häufigste Kreditform ist der zweckgebundene Einzelkredit für in Gruppen organisierte Frauen, die in ihren einkommensgenerierenden Maßnahmen begleitet werden und eine Organisationsberatung erhalten („suivi“, „encadrement“,). Fast alle Frauengruppen waren vorher bereits in Form von „Tontines“ organisiert. Da in diese klassischen Sparvereine nur wirtschaftlich bessergestellte Frauen aufgenommen werden, haben die Mikrofinanzinstitutionen großen Erfolg. Diese erfolgreichen Kooperation läuft allerdings völlig an einer Problem- und Zielgruppenorientierung vorbei, da die wenigsten Mikrofinanzinstitutionen Anstrengungen unternehmen nicht organisierte aber wirtschaftlich aktive arme Frauen in Gruppenbildungsprozesse einzubeziehen. Im Gegenteil führt das Auftreten mehrerer Finanzinstitutionen in einem Dorf zu einer Konkurrenz um diese Gruppen mit den bekannten negativen Nebeneffekten des „Downing“ der Komplementärprogramme, Mehrfachkreditnahme, Scheingruppenbildung usw.. Die Kredite werden hauptsächlich im Handel und der Transformation von Agrarprodukten eingesetzt. Der durch Kredite induzierte Landnutzungswandel der ONG CBDIBA in Tschatchou in der Form von Kleingärten, Teck- und Acadjouplantagen ist in der Fläche bisher vernachlässigbar.

Die Zusammenarbeit mit Migranten wurde von den meisten Verantwortlichen als zu risikoreich bewertet („*Ici ce n'est pas chez eux, peut-être demain ils seront parti*“). Lediglich eine Migrantenfrauengruppe konnte bisher als Kreditnehmer bei PADSА identifiziert werden.

Die Bevorzugung von Frauen als Zielgruppen mit der Begründung des beliebten entwicklungspolitischen Vorurteils Männer hätten eine niedrigere Sparquote und könnten ihr Geld nicht gewinnbringend investieren, liegt einzig und allein in der Tatsache begründet, dass sie fast alle in den risikoträchtigen Baumwollanbau involviert sind (und/oder in die kaum weniger risikoreiche Nussproduktion), für den keine Finanzinstitution außer CLCAM, die ursprünglich dafür gegründet wurde und deshalb auch in größten Zahlungsschwierigkeiten ist, Haftung übernehmen möchte. Somit wird einem der regionalen Kernprobleme von Seiten des sich diversifizierenden Finanzsektors aus dem Wege gegangen. Für den zweiten Teil der Feldforschungsphase ist vor allem eine Vertiefung der Untersuchung des interessanten flächendeckenden Banken- und Aktiensystems der Organisation PROMIC und der Einbezug mehrerer „Tontines“ in die Untersuchung geplant.

Agrarsektor

Der Einfluss der bisher untersuchten Projekte auf die Agrarproduktion ist als eher gering zu bewerten. In den 5 bisher untersuchten Dörfern konnte außer dem „encadrement“ des CARDER keine einzige Maßnahme zur Förderung dieses Sektors festgestellt werden. Die Maßnahmen der Projekte (Ochsenanspannung, Verbreitung des Traktors, Einführung von verbesserten Produktionssystemen, Förderung der culture vivrières) in der Region sind punkthaft und entziehen sich aufgrund der bisherigen Vorgehensweise einer Bewertung nach obigem Muster. Dasselbe gilt für zwei Projekte der Tierproduktion.

Fest steht allerdings, dass seit dem Einsetzen der Strukturanpassungsprogramme das einzige breitenwirksame Instrument des landwirtschaftlichen Beratungssystem in einem Niedergang begriffen ist und diese Lücke nicht durch Projektmaßnahmen ausgefüllt wird. Lediglich das Infrastrukturprojekt (PAMR) versucht in einer Projektkomponente die von INRAB entworfenen „Systèmes améliorés de production (SAP)“ zu verbreiten.

Um den tatsächlichen agrarstrukturellen Wandel durch privatwirtschaftliches Engagements zu begreifen, wurde deshalb begonnen landwirtschaftliche Großbetriebe um Parakou zu kartieren (bisher 2) und Verantwortliche zu interviewen, was bisher noch kein Zwischenergebnis zulässt. Neben dem Stellenwert der „Fermes“ in der landwirtschaftlichen Produktion werden sich vor allem ihre Beschäftigungseffekte für Migranten und die durch die hohe Flächenausdehnung zu Tage tretende Bodenrechtsproblematik mit den Anrainerdörfern als interessant erweisen. Im Bereich des agrarstrukturellen Wandels ist auch eine weitere Untersuchung der Tätigkeiten des „Projet d'Appui au Diversification du Secteur Agricole“ geplant.

Infrastrukturprojekte

Die beiden Infrastrukturprojekte PAMR und AGEFIB der Weltbank haben die Marktentwicklung von der Basis aus über die Errichtung von „infrastructure sociocommunautaires“ zum Ziel. Die Dorfbevölkerung und die involvierten Unternehmer sollen mit marktlichen Verfahren (Ausschreibungen, Kostenvoranschläge usw.) vertraut gemacht werden, um so Transaktionskosten zu senken, Klientelismus zu minimieren und die lokalen Einkommen zu steigern. Weitere Komponenten sind die oben erwähnten SAP's, Alphabetisierung und Ausbildung sowie Kreditvergabe für einkommensgenerierende Maßnahmen. Während die Problemidentifizierung im „top down approach“ erfolgt, wird die Auswahl der zu verwirk-

lichen Infrastrukturen im partizipativen Verfahren auf Dorfebene durchgeführt, wobei in Migrantenmilieus die Umsetzung aus den o.g. Gründen hapert.

In den bisher untersuchten Dörfern, musste festgestellt werden, dass der Ansatz häufig an den prioritären Problemen der Dorfbevölkerung vorbeigeht und ein Vergleich der Finanzvolumina mit den Einkommenseffekten der Dorfbevölkerungen offenbart die involvierten Unternehmer als die eigentlichen Gewinner dieser Art von Projekten.

Workpackage A4-2: Bevölkerungsentwicklung, Migration, Siedlungsdynamik und Ressourcenausstattung im oberen Ouémé-Einzugsgebiet, Bénin

Im Mittelpunkt des Teilprojektes A4-2 stehen weiterhin 3 Themenschwerpunkte:

1. Die Untersuchung neuer sozialer Milieus und Formen politischer (Selbst-) Organisation und der Transformation einheimischer Systeme
2. Die Erfassung und Interpretation der zuwanderungsbedingten Siedlungsdynamik
3. Die Aufnahme und Analyse der zuwanderungsbedingten Landnutzungsänderungen und neuer Landnutzungsmuster

Mit dem Bau der Piste zwischen Oubérou im Westen und Bassila im Osten hat sich die Bevölkerungszahl im südlichen Teil des IMPETUS-Untersuchungsgebietes nach 1997 durch Zuwanderung in die autochthonen Dörfer, durch Siedlungsneugründungen sowie durch eine gebremste Abwanderung der einheimischen Bevölkerung mehr als verdoppelt. Der räumliche Forschungsschwerpunkt liegt weiterhin in diese Region, die die größte Dynamik der spontanen, un gelenkten Agrarkolonisation aufweist. Durch den Ausbau der südlichen Parallel-Piste Wari Maro-Wanou-Bassila und den damit verbundenen, für Anfang 2002 geplanten Brückenbau über den Fluss Térou ist dieser Raum aufgrund des zu erwartenden Immigrationenschub als neues Untersuchungsgebiet hinzu gekommen. Die Feldarbeiten werden in insgesamt 6 autochthonen Dörfern, 11 von Zuwanderern gegründeten Siedlungen und zahlreichen neuen Einzelgehöften durchgeführt. Zum besseren Verständnis der Abwanderungsgründe werden exemplarische Kurzuntersuchungen in älteren Migrantensiedlungen entlang der Teerstrasse Parakou-Djougou sowie in zwei 'klassischen' Abwanderungsgebieten des beninischen Nordwesten (Unterpräfektur Ouaké, ca. 30 km westlich von Djougou, Region um Tanguiéta) vorgenommen.

Die Ansiedlung zugewanderter Bauern und die damit verbundene Brandrodung weiter Waldflächen findet in einem relativen institutionellen Vakuum statt und ist durch die totale Abwesenheit staatlicher Regierungsorgane gekennzeichnet. Die Kenntnis um die Funktionsweise der von den Zuwanderern geschaffenen neuen sozialen Milieus, der Formen politischer (Selbst-) Organisation und der Transformation einheimischer Systeme wird für das Langfristziel von IMPETUS, der Managementplan für den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser in der Region, von nicht geringer Bedeutung sein. Ein Managementplan benötigt verantwortliche, legitimierte Ansprechpartner mit Autorität und Sanktionsmöglichkeiten. Entscheidungsfindungsprozesse in den Zuwanderermilieus sind dagegen durch informelle, oft anarchische Strukturen gekennzeichnet. Unterschiedliche Migrantengruppen agieren in einem Geflecht von politischen Allianzen und Konflikten miteinander und konkurrieren um die Kontrolle der neuen dörflichen Institutionen. Die Zuwanderung und die damit verbundene Transformation sozialer und ökonomischer Strukturen auf lokaler Ebene schafft auch in den autochthonen Siedlungen Gewinner und Verlierer dieses sozialen Wandels und führt zu einschneidenden Veränderungen im traditionellen Machtgefüge. Für

die Erforschung solcher Strukturen und Prozesse müssen qualitative Methoden der Feldforschung eingesetzt werden.

Die seit Dezember 2000 permanent durchgeführte Fragebogenkampagne erfasst auf Haushaltsebene Geburtsregionen, ethnische Zugehörigkeit, Haushaltsgröße, Altersstruktur, Herkunftsgebiete, Migrationsrouten, Migrationsgründe, Informationsnetzwerke, Beziehungen zur Heimatregion etc. Zur Zeit liegen 382 jeweils von den Haushaltsvorständen beantwortete Fragebögen zur Auswertung vor. Bei der festgestellten durchschnittlichen Haushaltsgröße von 6,8 Personen wurden damit rund 2600 Menschen erfasst. Ziel bleibt weiterhin die Komplettaufnahme aller Zuwanderer im gewählten Untersuchungsraum bis März 2002.

Die Aufnahme und Analyse zuwanderungsbedingter Landnutzungsänderungen und neuer Landnutzungsmuster wird weiterhin in enger Zusammenarbeit mit der Fernerkundungskomponente des Teilprojekt A3 (Dr. H.P. Thamm) durchgeführt. Engmaschige Landnutzungskartierungen im Feld-Maßstab per GPS in ausgewählten 'hot spots' auf Grundlage der Satellitenbildszenen werden weiterhin den Schwerpunkt der 'ground truth'-Arbeiten bilden. Ergänzt wird dies durch die GPS-Kartierung von Rodungsfronten, Holzabfuhrpisten, die die potentiellen zukünftigen Besiedlungsleitlinien nördlich und südlich der Hauptpiste darstellen und konfliktträchtigen Kontaktzonen von Zuwanderern und autochthoner Bevölkerung. Hier lassen sich GPS- bzw. Fernerkundungsdaten mit den durch Fragebögen oder Interviews gewonnenen sozialwissenschaftlichen Daten verknüpfen, um neben quantitativen auch zu qualitativen Aussagen bei der Problematik der zuwanderungsbedingten Landnutzungsänderung zu kommen. Diese Arbeiten dienen als eine Grundlage der späteren interdisziplinären Modellierung von Landbedeckungsänderungen und Entwaldungsprozessen.

Die Bodenrechtsproblematik ist eine forschungsübergreifende Thematik, die mit dem anhaltenden Zustrom von einwandernden allochthonen Bauern in Zukunft verstärkt das politisch-ökonomische Verhältnis zwischen einheimischer Bevölkerung und Zuwanderern bestimmen wird. Das zur Zeit praktizierte traditionelle Bodenrecht gibt den Zuwanderern eine nur geringe Rechtssicherheit, was sich auch auf die Ressourcenausstattung des Raumes auswirkt. So verhindert das Verbot der Anlage von Baumkulturen zur Zeit eine zumindest teilweise Wiederaufforstung der gerodeten Flächen. Die anstehenden Dezentralisierungsmaßnahmen und Territorialreformen in Bénin werden Bodenrechtskonflikte noch stärker sichtbar werden lassen als bisher, da die Selbstverwaltungskompetenzen der Gemeinden gestärkt werden und lokale Entwicklungsplanung, Flächennutzung und andere konfliktträchtige Verwaltungsfelder neuen dörflichen Politikstrukturen übertragen werden sollen.

Workpackage A4-3: Bodennutzungssysteme

Die Arbeitsgruppe A4-3 beschäftigt sich mit den Bodennutzungssystemen in oberem Ouémé-Einzugsgebiet. Unter besonderer Berücksichtigung der Wassernutzung und nachhaltigen Landnutzung untersucht diese Arbeitsgruppe die Dynamik von organischer Substanz und analysiert die Lage der Ernährungssicherung.

Methodik

Nach der explorativen Untersuchung im Jahr 2000 im oberen und mittleren Ouémé-Einzugsgebiet, wurde die Methodik zur weiteren Arbeit festgelegt. Die Datenerhebung wurde auf zwei Dörfer begrenzt: **Dogué**, ein Dorf indem es zur Zeit keine Bodenknappheit gibt. Die dortigen Bauer können die Agrar-

produktion nicht durch die Verbesserung der Agrarproduktivität (Boden- und Arbeitsproduktivität), sondern durch nur die Ausdehnung der Agrarnutzfläche (auf Kosten der naturnahen Vegetation) steigern. **Sérou**, ist dagegen ein Dorf, in dem keine Chancen bestehen, die landwirtschaftliche Produktion durch neue Rodungen zu erhöhen. Die Bauer aus Sérou haben nur die Möglichkeit ihr Produktionsniveau zu halten, in dem sie die Brachdauer verkürzen.

In jedem Dorf wurde die Landnutzung in vier Gruppen aufgeteilt: Wälder, Brache, Kaschnüsse², Agrarnutzfläche (Yams, Maniok, Sorghum/Hirse, Mais, Baumwolle, Bohnen, Erdnüsse, Reis). Die unterschiedlichen Landnutzungssysteme werden auf Basis ihrer Wassernutzungseffizienz (Kg Biomasse/mm³, Kg Kohlenstoff/mm; Kalorien/mm) und ihrer CO₂-Speicherkapazität (CO₂-Quelle oder -Senken) verglichen.

Geplante und durchgeführte Aktivitäten in 2001

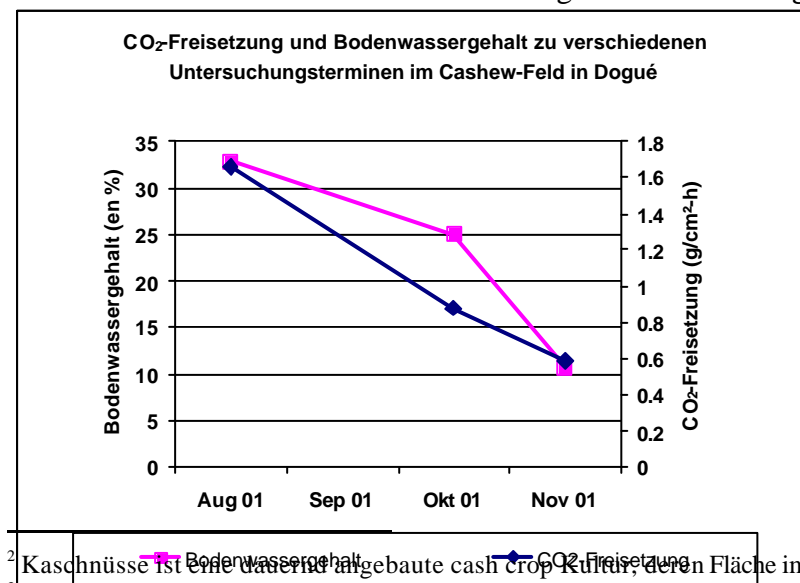
Entnahme von Bodenproben; Entnahme von Streuen am Boden; monatliche Streusammlung; Bestimmung der Pflanzendichte; Dichtebestimmung von Agroforestsäume; monatliche Bestimmung der Pflanzenhöhe; Bestimmung von Baumhöhen und -umfängen; Bestimmung des Blattflächenindex; Bestimmung landwirtschaftlicher Erträge; Bestimmung der Pflanzentrockenmasse; Messung von Lufttemperaturen und -feuchte sowie von Niederschlag in Sérou/Djougou; Messung von CO₂-Freisetzung im Feld; Messung gravimetrischer Bodenwassergehalte; Bestimmung landwirtschaftlicher Betriebsgrößen pro Haushalt.

Zwischenergebnisse

Da die Auswertungsergebnisse sowie die Ergebnisse statistischer Analysen noch nicht verfügbar sind, werden hier nur die Zwischenergebnisse über die CO₂-Freisetzung vorgestellt, die jedoch die vorhandene organische Substanz im Boden widerspiegeln.

CO₂-Freisetzung und Bodenwassergehalt

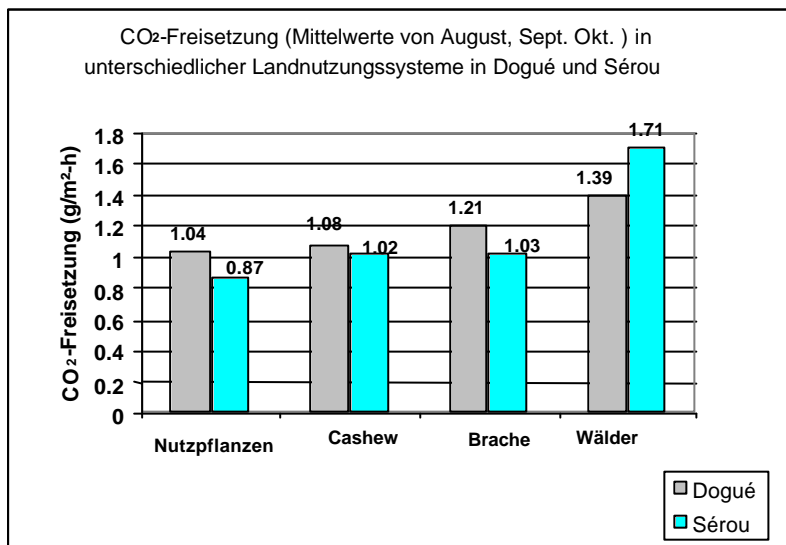
Die CO₂-Freisetzung spiegelt die mikrobielle Aktivität und den organischen Substanzgehalt im Boden wieder. Sie wurde im Feld mit Hilfe eines tragbaren Porometers gemessen. Für jede Parzelle (30*30m)



wurden 10 Messungen durchgeführt, in dem die in ca. 1 cm tief im Boden gepresste Messkammer 200 Sekunden lang die CO₂-Freisetzung ermittelte. Der gravimetrische Bodenwassergehalt wurde in einer Bodentiefe von 15 cm mit Hilfe eines TDR bestimmt. In allen Parzellen wurde die höchste CO₂-Freisetzung im August ermittelt, wo auch

gleichzeitig ein hoher Bodenwassergehalt (z.B. 44% im Reisfeld, 35% im Feld von Kaschnuss (Cashew) in Dogué..) ermittelt wurde. Im Durchschnitt lag der gravimetrische Bodenwassergehalt bei ca. 35% und 10 % als obere und untere Grenze zur CO₂-Freisetzung. Die untere Grenze gravimetrischer Bodenwassergehalte wurde Ende Oktober/ Anfang November erreicht, die obere Grenze im Juli. Von daher liefern die Parzellen in Dogué und Sérou während der Regenzeit eine hohe CO₂ Freisetzung in die Atmosphäre. Besonders von Juli bis Ende Oktober. Diese Zeitraum geht mit einer sehr hoher Biomassenproduktion einher d.h. die Parzellen speichern mehr CO₂ von der Atmosphäre in den Pflanzen als in der Trockenzeit. Ohne die Erstellung einer Kohlenstoff-bilanz ermöglichen die ermittelten Werte der CO₂-Freisetzung noch keine Klassifizierung der untersuchten Parzellen in CO₂-Quellen oder -Senken.

Es ist hier festzustellen, dass:



Erstens: abnehmende CO₂-Werte sowohl in Dogué als auch in Sérou sind zu ermitteln, wenn man gemäß dem neben-stehenden Schaubild Wälder > Brache > Cashew > und Nutzpflanzen miteinander vergleicht. Der Grund liegt in der vorhanden organischen Substanz im Boden, indem eine größere organische Substanz höhere CO₂-Werten bedingt.

Zweitens: die Werte der CO₂-Freisetzung innerhalb der Parzellen in Dogué, mit Ausnahme der

Wälder, sind höher als in den Parzellen von Sérou. Der Wald von Sérou verfügt über mehr organische Substanz im Boden, da im Gegensatz zum Wald in Dogué, keine Buschfeuer gelegt wurde, da er als „heilig“ angesehen wird. Beim Vergleich der Nutzpflanzen miteinander wurde im Reisanbau die niedrigste Bodenatmungsrate (0.44g/m²-Stunde) in Dogué gemessen und bei der Mischkultur Mais+Sorghum (1.2g/m²-Stunde) in Sérou sowie bei der Mischkultur Mais+Manioc (1.47g/m²-Stunde) in Dogué die höchste CO₂-Freisetzungswerte ermittelt. Die niedrigste CO₂-Freisetzung von Reisfeldern ist wahrscheinlich durch den hohen gravimetrischen Bodenwassergehalt von über 38 % in 0-15 cm Tiefe verursacht worden. Das zeigt aber nicht, dass der Reisanbau kein Treibhausgas in die Atmosphäre liefert. Es gab keine Möglichkeiten alle Treibhausgas, zu messen, sonst sind die Reisfeldern die große Lieferanten von CH₄ in die Atmosphäre.

Vernetzung innerhalb und außerhalb des Teilprojekts

Innerhalb des Teilprojekts A₄ liegt der Schwerpunkt der Zusammenarbeit zwischen A₄₋₃ und A₄₋₂ bei der Identifikation landwirtschaftlicher Entwicklungsstrategien, zwischen A₄₋₃ und A₄₋₁ bei der Untersuchung der Haushalte hinsichtlich ihrer sozioökonomischen Situation (Einkommen, Ausgabe, landwirtschaftliche Erträge,). Außerhalb des Teilprojekts A₄ arbeitet A₄₋₃ zusammen: mit A₃₋₂ über die Bestimmung vom Streufall und Bäumhöhe, mit A₃₋₁ über die Untersuchung zur Vegetationsverteilung und Biomasseproduktion, mit A₃₋₃ über die Bestimmung von organischer Substanz im Boden und über die

nachhaltige Landwirtschaft, mit A_{2-1} und A_{2-2} über die Bestimmung vom Bodenwassergehalt, mit A_{2-3} über Bodenbeschreibung⁴ und –erosion.

Geplante Aktivitäten für das kommende Jahr 2002

Für das kommende Jahr 2002 werden die Daten über Biomasseproduktion, Kohlenstoffbilanz und Wasserbilanz ausgewertet. Gleichzeitig werden die gleiche obergenannte (siehe Punkt 3) Aktivitäten weiter durchgeführt.

Modellierung von Landnutzung und Versorgungssicherung bei Ressourcenknappheit und Niederschlagsvariabilität

In den ersten 5 Monaten des Jahres 2001 wurden die im Vorjahr begonnenen Arbeiten zur Entwicklung des regional differenzierten Agrarstrukturmodells für Benin planmäßig weitergeführt. Herr Hinterthür hat sich in dieser Phase in enger Zusammenarbeit mit erfahrenen Mitarbeitern des Lehrstuhls vor allem mit der Erarbeitung der methodischen Grundlagen des anspruchsvollen Angebotsmodells beschäftigt und erste Schritte der EDV-technischen Umsetzung auf den Weg gebracht. Parallel dazu hat er im Anschluss an seinen anfänglichen Aufenthalt in Benin mit dem schrittweisen Erfassen der verschiedenen Kategorien von Daten begonnen, die für die Modellspezifizierung erforderlich sind.

Diese vielversprechenden Arbeiten wurden am 1. Juni durch die Kündigung von Herrn Hinterthür abrupt unterbrochen, da ihm im Rahmen des Projektes keine volle BAT II a-Stelle gewährt werden konnte. Angesichts der dreijährigen Erfahrung in einem ähnlich ausgerichteten Forschungsprojekt der Universität Hohenheim und seiner sehr guten methodischen und organisatorischen Fähigkeiten hatten wir uns für eine Entlohnung nach BAT II a von Beginn an ausgesprochen.

In der zweiten Jahreshälfte standen im Vordergrund die Bemühungen, einen geeigneten Nachfolger für Herrn Hinterthür zu gewinnen, die bereits erarbeiteten Modellelemente zu sichern und die Arbeiten zum Aufbau der Datenbasis nicht abbrechen zu lassen.

Nach einer längeren Phase des Suchens und Testens konnte im Dezember als Nachfolger von Herrn Hinterthür Herr M'Barek gewonnen werden, von dem wir erwarten, dass er mit Unterstützung von Mitarbeitern der Modellierungsgruppe des Lehrstuhls die Weiterentwicklung des komplexen Modellsystems weiter vorantreiben kann. Herr M'Barek wird seine Dissertation Anfang Januar 2002 in Hohenheim abschließen und ab 15. Januar 2002 seine Arbeit in Bonn aufnehmen.

Zur Erarbeitung der Datengrundlage für das Agrarsektormodell hat im Jahr 2001 Dr. Adanguidi in Nebentätigkeit vor Ort in Benin beigetragen. Nach der Einarbeitung von Dr. M'Barek wird auf der Grundlage der Erfahrungen der Bonner Modellierungsgruppe das Konzept eines "Basic Data System" zu entwickeln sein, das die relevanten Daten in modellgerechter Form umfasst. Interesse an einer Mitarbeit an der Entwicklung des Modellsystems hat neben Dr. Adanguidi auch Dr. Issaka bekundet, der nach Abschluss seiner Dissertation in Hohenheim im Jahr 2002 nach Benin (wohl an die Universität) zurückkehrt.

⁴ Geplante Aktivität in Sérrou für die kommende Feldkampagne

Wenn es gelingt, die beiden Agrarökonomen aus dem Benin in die Arbeiten zur Erstellung des Agrarsektormodells (in Nebentätigkeit) einzubinden, dürften sich die Chancen für ein zügiges Aufholen des durch das Ausscheiden von Herrn Hinterthür verursachten Bearbeitungsrückstandes deutlich erhöhen.

Teilprojekt A5

**Risiko und Unsicherheit im Umgang mit einer knappen Ressource:
Ethnologische und medizinische Perspektiven auf Wasserverfügbarkeit,
Wasserqualität und Wassermanagement**

Antragsteller	Fach
Dr. J. Rissland (<u>Koordinator</u>)/ Prof. Dr. H. Pfister Institut für Virologie, Universität zu Köln	Medizin: Virologie
Dr. Dr. R. Baginski Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene, Universität zu Köln	U- Medizin: Bakteriologie
Prof. Dr. M. Bollig Institut für Völkerkunde, Universität zu Köln	Ethnologie: Ökonomisch und kognitiv

Zusammenfassung

Die Arbeiten in dem interdisziplinären Teilprojekt A5 aus Ethnologie und Medizin sind im zweiten Förderjahr erfolgreich vorangetrieben worden. Zwei von drei völkerkundlichen Workpackages befinden sich seit Oktober 2000 in der individuellen Feldforschungsphase, die noch bis März 2002 andauern wird. Aufgrund des längerfristig ausgelegten Studienkonzepts liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt lediglich einzelne Beobachtungen vor, die erst nach Beendigung der Feldarbeit systematisch ausgewertet werden können. Im medizinischen Bereich konnten seit Zustandekommen des Zollabkommens mit der Republik Benin im August 2001 die im letzten Zwischenbericht aufgeführten, unabdingbaren Vorarbeiten nahezu vollständig abgeschlossen werden. Neben der Erstellung einer Brunnendatenbank mit derzeit über 1000 Wasserquellen im Forschungsgebiet wurden sowohl das stationäre Labor in Parakou als auch das mobile Spezialfahrzeug in Betrieb genommen. Die Aufnahme der mikrobiologischen Analytik war daher nach Beendigung notwendiger Validierungsarbeiten zum Anfang des Jahres 2002 möglich.

Im Personalbereich konnten beide Disziplinen weitere qualifizierte Mitarbeiter hinzugewinnen. Leider verzögerte sich die Einstellung des Wissenschaftlers für das Workpackage A5-1 durch äußere Umstände erneut und erfolgte erst zum 01.09.2001 (anstelle zum 01.06.2001). Gegenwärtig wird in diesem Workpackage die kurzfristige Aufnahme der individuellen Feldarbeit vorbereitet.

Wasser und Haushaltsökonomie im oberen Ouémé Becken

Im Fokus der seit Oktober 2000 laufenden ethnologischen Feldstudie steht die Erfassung lokalgebundener Handlungsrationitäten ländlicher Haushaltsmitglieder. Bei der bisherigen Untersuchung sozioökonomischer Strategien wurden zwischenzeitlich deutliche Muster einer bipolaren Haushaltsführung identifiziert. Dies bedeutet, dass die meisten Haushalte Rechte, Pflichten, Arbeit und finanzielles Budget streng geschlechtsspezifisch trennen. Vor dem Hintergrund dieser Gender-Problematik werden in der aktuellen Feldforschungsphase Langzeitstudien zu den Themenfeldern Frauenwirtschaft, Arbeit, Budget, Wasserverbrauch und Baumwollanbau durchgeführt. Durch diese Schwerpunkte und die holistische Betrachtung verschiedener Variablen (z. B. Familienstruktur und Religion) soll eine vertiefende Analyse ökonomischer Risikostrategien ermöglicht werden.

Methodik

- 1) **Frauenwirtschaft:** Die Ermittlung komplexer Sachverhalte wie familiäre Netzwerke, interethnische Konfliktmuster, historische Wirkungsfelder und geschlechtsspezifische Strategien erfolgt über kontinuierliche Tiefeninterviews. Zudem werden Lebensgeschichten von Frauen verschiedener Herkunft, Altersgruppen und Familiensituation aufgezeichnet.
- 2) **Longitudinale Fallstudien:** Zwanzig Frauen und Männer nehmen in Bougou an einer langzeitlichen Befragung zu den Themen „Arbeit, Budget und Markt“ teil. Parallel werden Verlaufstagebücher zu finanziellen Strategien geführt und Besitzstrukturen verzeichnet.
- 3) **Zeitbudgetstudien:** Auf qualitativer und quantitativer Ebene werden in fünf bzw. 52 Haushalten Tagesabläufe ökonomischer Akteure erhoben. Untersucht wird dabei die Praxis geschlechtsspezifischer Arbeitsteilung. Im Zentrum der Analyse steht u.a. die Hypothese, dass Dorffrauen durchschnittlich mehr Zeit für ökonomische Tätigkeiten verwenden als Männer.
- 4) **Baumwollanbau** stellt eine landwirtschaftliche Strategie mit erhöhten Risikofaktoren dar, die jedoch gleichzeitig zu einer schnellen finanziellen Akkumulation führen kann und deshalb in der Region derzeit einen Boom erfährt. Dieser Sachverhalt wird über Interviews erfasst.
- 5) **Longitudinale Wasserverbrauchsanalyse:** In interdisziplinärer Kooperation mit A4-1 (Schopp) und A5-3 (Klein) wird langfristig Konsumverhalten in ländlichen/urbanen Gebieten untersucht (Dörfer Bougou, Pélébina, Dendougou, Sérrou / Stadt Djougou). Dokumentiert werden u.a. Verbrauch, Einsatz und Herkunft von Nutzwasser. In A5-2 wird der analytische Fokus einerseits auf Zusammenhänge zwischen Wasserverbrauch und Familienstrukturen gelenkt, andererseits auf Korrelationen zwischen dorfspezifischen Wasserversorgungsbedingungen und dem resultierenden Zeit- und Arbeitsaufwand der Frauen.

Einzelne Beobachtungen

- Zu 4) In den Dörfern Bougou and Aroum kam es bei Frauen mit eigenen Baumwollfeldern vermehrt zu akuten Verlusten. Ursachen sind u.a. ein Mangel an Fachwissen und eine Verzögerung der eigenen Erntetermine, da Frauen prinzipiell verpflichtet sind, zunächst auf den Feldern ihrer Männer zu arbeiten.
- Zu 5) Unterschiede im Wasserverbrauch lassen sich bislang weniger zwischen armen und reichen Haushalten als zwischen verschiedenen Dörfern belegen. Der Vergleich des verbrauchsintensiveren Bougou mit dem sparsameren Pelebina korreliert dabei mit der Wasserzugangssituation, da in Bougou 90% der Befragten, in Pelebina jedoch lediglich 8% diese als "mittel" bzw. "gut" bewerteten.

Wasser und Befinden: Indigene Medizinen im Haute Vallée Ouémé, Bénin

Bei den aktuellen Untersuchungen handelt es sich im Wesentlichen um drei Langzeitstudien, die im Dorf Dendougou in einem Sample von acht Familien durchgeführt werden. Die Familien wurden unter Einbezug des *local knowledge* anhand der Indikatoren Wohlstand und Wasserbezugsquelle ausgewählt.

Methodik

- 1) Auf die *longitudinale Wasserverbrauchsanalyse*, die in enger Zusammenarbeit mit A4-1 (Frau Schopp) und A5-2 (Frau Hadjer) erfolgt, wurde bereits im Bericht von A5-2 eingegangen.
- 2) Bei Studie II, einer *Dokumentation zu Krankheitsvorkommen und -häufigkeiten*, werden in Zusammenarbeit mit dem Krankenhauslabor des Malteser Ordens in Djougou Blut- und Stuhlproben der Dorfbevölkerung auf Malaria und Darmparasiten untersucht. Die Studie hat sowohl zum Ziel, den Gesundheitsstatus ganzer Familien in Abhängigkeit zur Wasserquelle zu betrachten, als auch Krankheitsvorkommen in saisonale bzw. geschlechtsspezifische und altersgebundene Abhängigkeit zu setzen. Ferner soll individuelles Befinden mit objektiven Laborergebnissen verglichen werden.
- 3) Studie III behandelt *Familiengesundheit und therapeutische Wege*. Dabei wird für jede Person ein persönlicher „Befindenskalender“ angelegt, der es später erlaubt, Krankheitsverläufe und Krankheitshäufigkeiten einzelner Personen sowie ganzer Familien in saisonaler Abhängigkeit darzustellen. Insgesamt wird durch diese Erhebung ein prozentualer Überblick über die Häufigkeiten und Arten der im Dorf vorkommenden Krankheiten sowie eine Übersicht über den Gesundheitszustand der Bevölkerung gewonnen. In diesem Zusammenhang werden auch die therapeutischen Verfahren hinsichtlich der Aspekte Therapie, Unkosten, „Therapie Managing Group“ und „Rational Choice Approach“ untersucht. Interviews zu den Themengebieten beruflicher Werdegang, Zusammenarbeit zwischen SpezialistInnen, Bezüge zwischen Wasser, Krankheiten und medizinischem Weltbild sowie teilnehmende Beobachtung bei indigenen medizinischen SpezialistInnen stellen einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit dar.

Einzelne Beobachtungen

zu 3) Besonders auffällig trat in dieser Studie erneut der unsachgemäße Umgang mit Medikamenten in Bezug auf Dosierung und Dauer der Behandlung hervor. Neben der finanziellen Situation der Betroffenen lässt sich dies auch auf falsche Beratung durch die VerkäuferInnen zurückführen. Es wurde ein Fragebogen konzipiert, um das Fachwissen des Mitarbeiters des Dorfgesundheitszentrums und der in Djougou befindlichen ApothekerInnen und StraßenhändlerInnen zu überprüfen. In den Interviews werden auch die Themen *Sorcellerie* (Hexerei), *Genies*, *Diabes* und *Fetiches* angesprochen. Die Diskussion dieser Themengebiete erweist sich häufig als schwierig, da im Dorf unterschiedliche Definitionen zu diesen Erscheinungen existieren und sich viele SpezialistInnen aus Angst bedeckt halten, selbst der Hexerei bezichtigt zu werden. Aus emischer Sicht ist diese Angst durchaus begründet, da im vergangenen Jahr bereits zwei Todesfälle auf den Vorwurf der Hexerei zurückgeführt werden konnten. Beide Fälle betrafen die Familien von indigenen Spezialisten.

Wasser und virale Kontamination: Nachweis von viralen Indikatoren in verschiedenen Trinkwasserquellen des oberen Ouémé Becken

Wie im letzten Zwischenbericht angekündigt, wurden in der abgelaufenen Förderperiode die Vorarbeiten zur Schaffung einer geeigneten Infrastruktur fortgesetzt und überwiegend abgeschlossen.

Brunnendatenbank

Als eine der grundlegenden Voraussetzungen für den Aufbau eines Surveillance-Systems wurde das Hauptaugenmerk auf eine komplette Erfassung der zur Trinkwasserversorgung herangezogenen Quellen gelegt. Da ein Grossteil der Bevölkerung im Untersuchungsraum zwischen Parakou, Djougou und Bassila insbesondere in der Trockenzeit darauf angewiesen ist, auch Oberflächenwasser als Trink- und Brauchwasser heranzuziehen (vgl. Zwischenbericht 2001 WP A5-2 u. A5-3), wurde neben den Brunnen auch der jeweilige Trockenflussabschnitt (marigot) georeferenziert erfasst. Insgesamt befinden sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits über 1000 abgrenzbare Wasserquellen in der eigenentwickelten Datenbank, wobei neben den Positions- auch Konstruktionsdaten mitaufgezeichnet wurden.

Die geplante Datenharmonisierung zwischen den einzelnen Teilprojekten unter einer gemeinsamen ArcView-Oberfläche wurde ebenfalls realisiert. Ein Beispiel für die Vorteile einer integrierten Darstellung gibt die beigelegte Übersicht (s. Abb. 1). Hier sind den einzelnen Punkten die spezifischen Brunnen- und Oberflächenwasserdaten des Teilprojektes A5 zugeordnet und können durch eine frei wählbare Kombination von verschiedenen Projektionsebenen mit Daten aus anderen Teilprojekten abgeglichen werden.

Personal

In beiden Workpackages wurden jeweils Studenten der Humanmedizin mit Afrikaerfahrung als Doktoranden (in WP A5-4 Herr Florian Sauter, in WP A5-5 Frau Mona Denzel) gewonnen. Beide befinden sich, nach entsprechender Einarbeitung in die Verfahren der wasserhygienischen Diagnostik und die Techniken der Nährmedienherstellung durch die beiden medizinischen Institute des Klinikums der Universität zu Köln, seit September bzw. Oktober 2001 in Parakou. Im Workpackage A5-5 wurde mit Frau Britta Körner vorübergehend eine weitere Medizinisch-technische Assistentin eingestellt. Sie soll voraussichtlich ab März 2002 die Laborarbeiten nach dem schwangerschaftsbedingten Ausscheiden von Frau Heike Kulartz alleinverantwortlich weiterführen. Zum 01.04.2001 wurde das Volontariat des beninischen Biochemikers, Herrn Mazzou Farouk, in ein festes Anstellungsverhältnis umgewandelt.

Stationäres und mobiles Labor

Nach Zustandekommen des Zollabkommens mit der Republik Benin und Fertigstellung des Umbaus im September 2001 wurde die Einrichtung des stationären Labors durch die Doktoranden, Antragsteller und lokale Helfer Mitte Dezember erfolgreich abgeschlossen. Das mobile Spezialfahrzeug wurde auf dem Seeweg nach Benin befördert und konnte nach Einrichtung von solarbetriebenen Brutschrank, Kühltruhe, Aufkonzentriereinheit, Funkgerät und separater Gasversorgung zum Ende des Jahres 2001 in Betrieb genommen werden.

Probennahme

Zur Vorbereitung der Probennahme wurden in beiden Workpackages Validierungsarbeiten vorgenommen. Die Herstellung von Kulturmedien und die biochemischen Differenzierungsmethoden unter tropischen Bedingungen wurden anhand von bakteriellen Referenzstämmen überprüft. Eine Effizienzkontrolle der virologischen Aufkonzentriereinheit erfolgte durch künstlich kontaminierte Wasserproben. Die Logistik für einen Probentransport nach Deutschland, der für die molekularbiologischen Nachweise viraler Erbinformation erforderlich ist, wurde etabliert und erwies sich unter Berücksichtigung internationaler mikrobiologischer Arbeitsstandards als durchführbar.

Ausblick

Nach Beendigung der Validierungsarbeiten wurde die mikrobiologische Analysetätigkeit mit Beginn des Jahres 2002 aufgenommen.



Abb. A5-1: ArcView Darstellung der Trinkwasserquellen im Untersuchungsgebiet zwischen Parakou, Djougou und Bassila. Die blauen Kreise entsprechen Clustern von georeferenzierten Brunnen und Oberflächengewässern, die erst bei grösserer Auflösung unterschieden werden können. Die Gesamtzahl der erfassten Einzelstandorte beläuft sich derzeit auf über 1000. (orientierender Massstab: Entfernung Parakou - Djougou ca. 130 km)

Projektbereich B

Teilprojekt B1**Zeitliche und räumliche Variabilität des Niederschlags**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. P. Speth (Koordinator) Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln	Meteorologie: Klimadiagnose
Prof. Dr. M. Kerschgens Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln	Meteorologie: kleinskalige Modellierung
Prof. Dr. A. Hense Meteorologisches Institut, Universität Bonn	Meteorologie: Klimadynamik
Prof. Dr. C. Simmer Meteorologisches Institut, Universität Bonn	Meteorologie: Fernerkun- dung und mesoskalige Modellierung

Zusammenfassung

Gemäß des im Projektantrag formulierten Zeitplanes wurde das zweite Projektjahr im wesentlichen für Arbeiten an folgenden Themenstellungen genutzt:

- i) Erstellung von Niederschlags- und Verdunstungsklimatologien
- ii) Vertiefende Analysen der großräumigen Antriebe für Fluktuationen des Winter-niederschlags
- iii) Abflussprognose aus der Schneeschmelze

Kernstück der Arbeiten zum Punkt i) bildeten eine Reihe verschiedener Testläufe und ein Feintuning an den einzelnen Komponenten der projektierten und im ersten Jahr erstellten Modellkette ECHAM bzw. ERA ? REMO und GME bzw. NCEP ? LM ? FOOT3DK. Das Regionalmodell REMO befindet sich nach guten Übereinstimmungen mit beobachteten Niederschlägen sowohl auf Monats- als auch auf Tagesbasis bereits in der Langzeitintegrationsphase (10 Jahre), ausgehend von 1991 (0.5° Auflösung, ganz Nordafrika bis 15°S). Mit Hilfe des Lokalmodells (7 km Auflösung, ganz Marokko) wurden Fallbeispiele der wichtigsten Typen niederschlagserzeugender Prozesse untersucht: Extratropische Fronten, die durchweg realistisch simuliert wurden und orographisch angefachte Gewitter, die häufig zu schwach modelliert sind. Letztere Tatsache bildet eine der wissenschaftlichen Kooperationsachsen mit dem Marokkanischen Wetterdienst, deren Vorhersagemodell ALBACHIR sehr ähnliche Probleme aufweist. Am feinskaligen Ende der Modellkette (1 km Auflösung, südliches Drâatal) wurde die Repräsentation der Landoberfläche und des Bodens durch Einführung eines höhenabhängigen Bodentypfeldes in das FOOT3DK verbessert. Qualitätsprüfungen von FOOT3DK-Simulationen an scharfen Gradienten der Oberflächenbeschaffenheit erwiesen sich als zufriedenstellend. Sensitivitätsstudien mit künstlicher Erhöhung des Bodenwassergehaltes in den Oasen zeigten sowohl eine plausible Erhöhung der Evapotranspiration, als auch eine Stabilisierung der Atmosphäre durch niedrigere Temperaturen am Boden. Zwei Niederschlagsituationen der Jahre 2000 und 2001 sind bereits simuliert und werden gegenwärtig noch ausgewertet.

Bezüglich der Niederschlagsfernerkundung aus Satellitendaten wurde im Berichtszeitraum der Basisalgorithmus für Regenmessung über Land (mit TRMM) fertiggestellt und mit anderen verglichen. 4 Jahre (1998-2001) TRMM Rohdaten liegen inzwischen archiviert vor sowie eine Ver-

dunstungsklimatologie (1987-1999) über dem Ozean aus SSM/I Daten (für 01-06/1998 zusätzlich auch aus TRMM Daten).

Des Weiteren wurden zu Punkt ii) die Rolle von Höhenträgen für den Winterniederschlag in Marokko eingehend untersucht. Höhenträge können auf zwei Arten zur Niederschlagsbildung beitragen, nämlich durch Reduktion der statischen Stabilität durch Meridionaltransport von kalter, feuchter Luft sowie durch dynamische Hebung an der Trogvorderseite. Niederschlagsrelevante Tröge für die Region südlich des Hohen Atlas reichen sehr weit nach Süden (bis ca. 33°N) und die Trogachsen befinden sich unmittelbar westlich der Küste. Die größten Niederschlagsmengen fallen, wenn dabei die Trogvorderseite genau über der Untersuchungsregion zu liegen kommt. Höhenträge stellen somit eine weitere wichtige großskaligen Einflussgröße für Niederschlagsfluktuationen für Marokko im Allgemeinen und für das Einzugsgebiet des Drâa im Besonderen dar.

Die unter Punkt iii) genannten Arbeiten bezüglich der Abflussprognose aus der Schneeschmelze ergaben, dass in einigen typischen Modellsituationen der Beitrag der Verdunstung zur Schneeablation teilweise größer war als die Ablation aus der Schneeschmelze. Dieses bedarf jedoch der weiteren eingehenden Prüfung.

Folgende Ergebnisse wurden im zweiten Projektjahr in den einzelnen Workpackages erzielt:

Workpackage B1-1: Diagnose der Niederschlagsvariabilität

Aufgrund des Fehlens eines dichten und langjährigen Messnetzes von synoptischen Stationen in Marokko - insbesondere im Untersuchungsgebiet - und der messtechnischen Schwierigkeiten hinsichtlich des Niederschlages in den schwerzugänglichen Hochgebirgsregionen des Atlas, stehen derzeit keine zeitlich und räumlich hochaufgelösten Niederschlagsfelder zur Verfügung, wie sie insbesondere für die Anwendung von Abfluss- und Vegetationsmodellen erforderlich sind. Aufgabe dieses Workpackages ist es, diese Felder auf der Grundlage von qualitätsgeprüften Stationsmessungen, Daten aus der Satellitenfernerkundung sowie durch ein dynamisches *Down-Scaling* auf der Basis einer genesteten Modellkette (ERA bzw. ECHAM ? REMO und GME bzw. NCEP ? LM) zu bestimmen. Für hochaufgelöste Simulationen einzelner Niederschlagsereignisse sowie zur flächendeckenden Berechnung der Verdunstung im mittleren und unteren Drâatal wird die o.g. Modellkette an ihrem feinskaligen Ende um das noch höher auflösende FOOT3DK-Modell [ca. 1 km] erweitert. Folgende Arbeiten sind hierzu im zweiten Projektjahr durchgeführt worden:

Modellkette: ECHAM

Auf der Basis SST (Meeresoberflächentemperatur) -angetriebener Simulationen mit dem Klimamodell ECHAM4 konnte insbesondere für den westlichen Teil der Sahara und die Atlas-Region kein signifikanter Beitrag der Meeresoberflächentemperaturen zur Gesamtvariabilität der Niederschläge festgestellt werden. Ein deutlicherer Einfluss liegt dagegen in der zentralen Sahara und Nordafrika vor, wo vor allem auf der dekadischen Zeitskala ein Vorhersagepotential aus dem globalen SST-Feld existiert. Eine regionale Differenzierung der relevanten Meeresregionen offenbarte einen Dipol der SST im subtropischen Nordatlantik, welcher vermutlich mit einer verstärkten Gyre-Zirkulation in Zusammenhang steht und vor der Westküste Westafrikas kalte SST-Anomalien hervorruft. Eine weitere ausgeprägte

Telekonnektion besteht zum tropischen Ostpazifik, wobei El Niño-Ereignisse mit positiven Niederschlagsanomalien im nördlichen Westafrika einhergehen.

Letztlich steht der Niederschlag in der Region auch in Verbindung zur großräumigen Druckkonfiguration in den Tropen und damit zur Walker-Zirkulation. Relativ feuchte Jahre treten in Nordafrika dann auf, wenn der Druckgradient zwischen indischem und atlantischen Ozean in den niederen Breiten besonders groß ist.

Die Sensitivität gegenüber steigenden Treibhausgaskonzentrationen wurde anhand langjähriger Szenarioläufe gekoppelter Klimamodelle untersucht. Die meisten einbezogenen Modellrealisierungen prognostizieren für Nordwestafrika einen deutlichen Rückgang der Jahresniederschläge bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Ein Zusammenhang mit der NAO ist zwar physikalisch denkbar, aber nicht alle untersuchten Modelle beschreiben gleichzeitig einen Trend zu einer stärkeren NAO, so dass dieser Zusammenhang weiter unsicher bleibt. Die Sensitivität des nordafrikanischen Niederschlages ist zwar, absolut gesehen, geringer als in den westafrikanischen Tropen und im Sahel, aber im Verhältnis zum Mittelwert viel relevanter.

Modellkette: REMO

Da die atmosphärischen Prozesse im Untersuchungsgebiet von Teilprojekt B1 ausgesprochen stark durch die Orographie geprägt sind, die in den Globalmodellen nur unzureichend aufgelöst werden kann, kommt dem dynamischen *Downscaling*-Verfahren mit dem Regionalmodell REMO eine besondere Bedeutung zu. Ein Testmonat mit bekanntermaßen hohen Niederschlagssummen in der Antiatlasregion wurde bereits erfolgreich realisiert und ausgewertet. Nicht nur auf Basis der Monatsniederschläge, sondern auch auf der Tagesskala konnten hervorragende Übereinstimmungen zwischen REMO und verschiedenen Beobachtungsdatensätzen aus WP B1-2 gefunden werden. Seit einigen Wochen läuft nun eine Langzeitintegration von Anfang 1991 ausgehend, die letztendlich eine 10-jährige Niederschlagsklimatologie in 50 km-Auflösung bereitstellen soll.

Modellkette: Lokalmodell (LM)

Mit Hilfe des Lokalmodells des DWD wurden Fallbeispiele der wichtigsten Typen niederschlagserzeugender Prozesse untersucht: Extratropische Fronten, orographisch angefachte – nicht frontbegleitende – Gewitter, Advektion warm-feuchter Luft tropischen Ursprungs in der mittleren Troposphäre und die sogenannten Atlas-Leezyklogenese. Hierbei zeigte sich, dass Frontdurchgänge wegen ihrer dynamischen Dominanz gegenüber lokalen Windsystemen und ihrer guten Präsenz in den Analysen, die das Lokalmodell steuern, durchweg gut modelliert werden konnten.

Die orographisch angefachten Gewitter waren normalerweise zu schwach simuliert worden, was möglicherweise an dem – unter Teilprojekt A1 bereits beschriebenen – konzeptionellen Mangel der Konvektionsparametrisierung liegt. Da dasselbe Problem beim Marokkanischen Wetterdienst (DMN) beobachtet wurde und mehrfach zu Fehlvorhersagen mit größeren ökonomischen Schäden führte, ergab sich hier ein günstiges Feld für eine wissenschaftliche Kooperation. Es wurde vereinbart, dass das Problem mangelhafter Gewittervorhersagen an einigen Fällen mit dem marokkanischen Wettervorhersagemodell ALBACHIR und dem LM untersucht wird, wobei der Einfluss der Initialisierung der Feuchtefelder mit Hilfe der Assimilation von Fernerkundungsdaten auf die Qualität der Kurzfristvorhersage im Zentrum der Untersuchung stehen soll. Die Entwicklung eines speziellen für die Datenassimilation benötigten Ver-

fahrens wurde abgeschlossen (Haase, 2001). Für die Assimilation stehen sowohl Satellitendaten (TRMM, METEOSAT) von IMPETUS als auch Radardaten der DMN zur Verfügung; für eine qualitative Validierung der Vorhersagen werden die im Teilprojekt B2 erhobenen Stationsdaten wertvoll sein.

Flankierend wurden Modellierungen zum Phänomen der Sahara-Zyklogenese im Lee des Atlasgebirges vorgenommen. Im Zentrum des Interesses stand hierbei ein Spezialfall vom 20.10.2000, der sehr gut von dem Lokalmmodell auf einem 0.25°-Gitter wiedergegeben wurde. Der synoptische Antrieb, der die Zyklogenese ermöglichte und die mesoskaligen Prozesse, die zu für die Region ungewöhnlichen Niederschlägen führten, konnten detailliert untersucht werden. Diese Arbeiten wurden im Rahmen von Konferenzen und Workshops einem breiteren Publikum vorgetragen, eine Publikation der Ergebnisse befindet sich in Arbeit.

Die Einbindung des Projektes in nationale Forschungsarbeiten spiegelt sich in verschiedenen Kooperationen wieder: Ein neuer Aspekt der Arbeiten zu mesoskaliger Modellierung ergibt sich aus der Beteiligung an einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus dem PIK, dem DKRZ, dem DWD und der TU Cottbus, die zum Ziel hat, das Lokalmmodell als neues regionales Klimamodell für Simulationen längere Zeiträume (Dekaden) einsetzbar zu machen. Hier werden die in IMPETUS vorgenommenen Arbeiten zur Implementierung des SVAT-Moduls TOPLATS und die noch zu erarbeitende an mesoskalige Modelle angepasste Konvektionparametrisierung einfließen. Weiter findet eine Beteiligung an der Arbeitsgemeinschaft *WG Water* des MPIfM Hamburg statt, in welcher die Rolle der Hydrologie in der Regionalen Klimamodellierung untersucht wird. An beiden Arbeitsgruppen sind auch Vertreter anderer GLOWA-Projekte beteiligt. Die Ergebnisse der Arbeiten zur Assimilation von Radardaten wurden beim Deutschen Wetterdienst übernommen, der die globalen Analysen für die Initialisierung der LM Simulationen zur Verfügung stellt.

Modellkette: FOOT3DK

Verbesserungsmöglichkeiten zur Repräsentation der Landoberfläche und des Bodens waren Gegenstand der Untersuchungen im zweiten Projektjahr. Um die Variabilität der Bodentypen und die Plausibilität der den verschiedenen Landnutzungsklassen zugeordneten Parameter einschätzen zu können, wurde in Jahr 2001 ein Feldaufenthalt durchgeführt. Folgende Ergebnisse sind daraus hervorgegangen: als erste Näherung wurde ein höhenabhängiges Bodentyp-Feld erstellt. In Zusammenarbeit mit Teilprojekt B2 soll das Bodentyp-Feld noch realistischer angegeben werden. Die Übergabe des Bodenwassergehaltes aus der Nestingvorgabe an FOOT3DK muss noch auf Konsistenz mit der Parameterisierung des Feuchte- und Wasserhaushaltes getestet werden. Diese Fragestellung wird aktuell bearbeitet.

Um die Fähigkeit des Modells FOOT3DK, mit scharfen Gradienten in der Oberflächenbeschaffenheit umzugehen, zu testen wurden Untersuchungen mit einem Testkataster durchgeführt, das in der östlichen Hälfte mit Ödland und in der westlichen Hälfte mit Wald bedeckt ist. Diese Simulationen wurden mit stationärem geostrophischem Wind am Oberrand des Modells und einem vorgegebenen TEMP als Vertikalstruktur angetrieben. In dieser Testreihe wurde auch die Verwendung verschiedener Schließungsannahmen für die Parameterisierung der Konvektion optimiert. Insgesamt lässt sich die Qualität von FOOT3DK-Simulationen an scharfen Gradienten der Oberflächenbedingungen als zufriedenstellend betrachten.

Für zwei Niederschlagsituationen der Jahre 2000 und 2001 wurden bereits FOOT3DK-Simulationen in LM-Simulationen genestet. Für diese Beispiele wurden jeweils zwei mögliche Advektionsverfahren

benutzt. Außerdem wurden Simulationen mit künstlicher Erhöhung des Bodenwassergehaltes in den Oasen durchgeführt, um die Sensitivität des Modells für kleinräumige Variationen im Bodenwassergehalt zu testen und damit eine Voraussetzung für die Simulation von bewässerten Anbaugebieten zu schaffen. Die Verwendung des sog. Upwind-Advektionsschemas statt des Quasi-Monotonen-Semi-Lagrange-Schemas führt zu deutlichen Veränderungen im Windfeld. Dies resultiert aus der Erhaltungsneigung der Strömung bei Verwendung des Upwind-Schemas, die in instationären Situationen unrealistische Ergebnisse aufgrund der hohen numerischen Diffusion liefert. In folgenden Simulationen wird das QMSL-Advektionsschema benutzt. In den Simulationen mit künstlich erhöhtem Bodenwassergehalt in den Oasen zeigt sich nicht nur eine plausible Erhöhung der Evapotranspiration, sondern auch eine Stabilisierung der Atmosphäre durch die niedrigeren Temperaturen am Boden, die dazu führt, daß die Winde stärker durch die Orographie beeinflusst und kanalisiert werden.

Im Hinblick auf eine zu erstellende Niederschlags- und Verdunstungsklimatologie ist es notwendig, die verschiedenen im Untersuchungsgebiet vorkommenden typischen Wettersituationen zu simulieren. Anhand der Ergebnisse bez. Analyse der großräumigen Zirkulation (WP B1-2) wird hierzu eine Auswahl von Situationen getroffen, die zur Simulation geeignet erscheinen. Um die Möglichkeiten der Validierung der Modellergebnisse zu verbessern sollten diese Situationen möglichst im Messzeitraum der bisherigen IMPETUS-Arbeiten liegen. Zwei geeignete Niederschlagsereignisse des Jahres 2001 wurden bereits ausgewählt und werden zur Zeit bearbeitet.

Die Validierung der Simulationen stellt noch eine große Herausforderung dar. Im Simulationsgebiet liegen drei der IMPETUS Meßstationen (El Miyit, Jebel Hssain, Lac Iriki). Derzeit werden mögliche Methoden der Extrapolation dieser Meßwerte in die Fläche erarbeitet. Dabei kann auf dreistündig aufgelöste Satellitenbilder zurückgegriffen werden. Die Verwendung bereits bestehender Niederschlags- oder Verdunstungsdatensätze erscheint nicht sinnvoll, da die Datensätze entweder gerade in den Subtropen große Fehler aufweisen oder die zeitliche und räumliche Auflösung nicht ausreichend ist. Die Literaturrecherche zur Evapotranspiration in ariden und semi-ariden Gebieten wird fortgeführt. Auch hieraus lassen sich Anhaltspunkte zur Ergebnisvalidierung ableiten, z.B. durch Hochrechnung der Verdunstung einzelner für das Untersuchungsgebiet typischer Pflanzen.

Niederschlagsfernerkundung mit Satelliten

Das Hauptziel ist hierbei die Entwicklung und Verbesserung von Algorithmen zur Messung von Niederschlag für Satelliten getragene passive Mikrowellenradiometer und Radar. Im Berichtszeitraum wurde ein bereits außerhalb von IMPETUS entwickelter Algorithmus für Daten der Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) weiter entwickelt (für Details siehe Teilprojekt A1-1) und für das Untersuchungsgebiet Nordwestafrika getestet.

Im nächsten Schritt sollen die abgeleiteten Regenwassergehalte zusammen mit den TRMM Standardprodukten zu einem ersten Vergleich mit den Simulationen des Lokalmodells genutzt werden. Die Radardaten werden auch zum Vergleich mit den Ergebnissen des FOOT3DK Modells eingesetzt.

Workpackage B1-2: Analyse der großräumigen Antriebe für Niederschlagsfluktuationen

Die Zielsetzung ist hierbei, ein verbessertes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Niederschlagsereignissen in Marokko auf der einen Seite und Mustern der großskaligen atmosphärischen Zirkulation auf der anderen Seite anhand von Beobachtungsdaten zu gewinnen. Die damit verbundenen physikali-

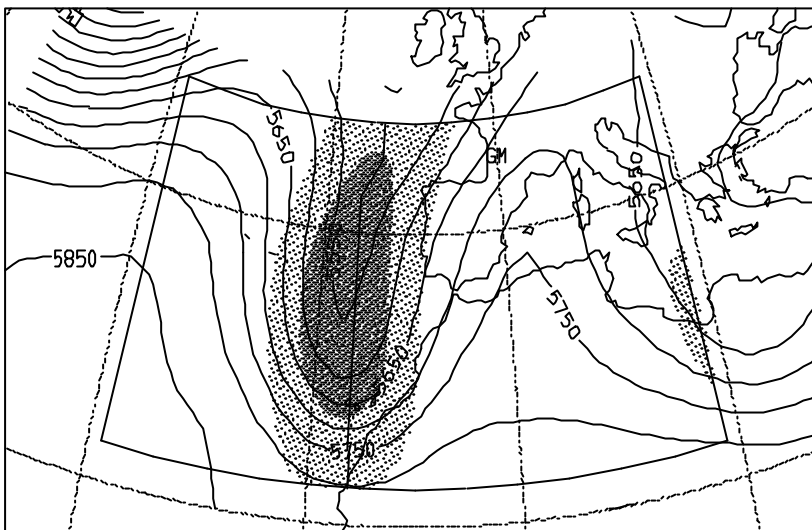
schen Prozesse einschließlich Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozeanoberfläche werden dabei auf unterschiedlichen Zeitskalen erhellt werden. Die Untersuchung des Gebietes des Drâa hinausgehen und auch die übrigen Landesteile Marokkos zugehen.

Einfluss von Höhenträgen auf den Niederschlag

Im ersten Projektjahr wurde bereits der Einfluss verschiedener meteorologischer Faktoren (häufigkeit, Nordatlantische Oszillation (NAO), Wetterlagen etc.) auf den Niederschlag in Marokko untersucht (siehe Zwischenbericht 2000). Daran anknüpfend wurde im Jahr 2001 die Betrachtung einer weiteren wichtigen Einflussgröße, nämlich die von Höhenträgen auf verschiedene Weise positiv zur Niederschlagsbildung in den mittleren Breiten bei. Da das Auftreten von Höhenträgen im Allgemeinen mit einem Meridionaltransport von kalter und meist feuchter Luft verbunden ist, führen sie vor allem in den südlicheren mittleren Breiten, wo die Luft am Boden relativ warm ist, zu einer Reduktion der statischen Stabilität und folglich häufig zu konvektiven Prozessen. Darüber hinaus kann bei der Wanderung von Trögen aufgrund von nach oben zunehmender Advektion positiver Vorticity auf der Trogvorderseite dynamisch Hebung erzeugt werden. Dies ist häufig auch mit der Bildung von Bodentiefs (Zyklogenese) verbunden. Zwecks Bestimmung des Einflusses der Tröge auf den Niederschlag in Marokko wurde im Teilprojekt B1 eigens ein Algorithmus entwickelt, mit dem Trogebenen und -achsen aus dem Feld der geopotentiellen Höhe in 500 hPa der NCEP-Reanalysen bestimmt werden können. Dabei wird ein Gitterpunkt als einem Trog zugehörig identifiziert, falls die Differenz der durchschnittlichen geopotentiellen Höhe des $10^\circ \times 7,5^\circ$ großen Gebietes um diesen Punkt mit der mittleren geopotentiellen Höhe der westlich bzw. östlich angrenzenden Gebiete einen Schwellenwert von 25 gpm überschreitet. Die Trogachse ist dann die Achse maximaler Differenzen durch ein Troggebiet (siehe Abb. B1-1).

Zur Bestimmung des statistischen Zusammenhangs zwischen Niederschlag und Trogachsenhäufigkeit wurde aus den 12stündig aufgelösten Niederschlagsdaten der marokkanischen und benachbarten algerischen Stationen Ensembles von Niederschlagsereignissen für 9 Niederschlagsregionen für das Winterhalbjahr Oktober bis März und den Zeitraum 1977-1998 gebildet. Dabei wird jeder 12-Stunden-Zeitraum mit 1 mm Niederschlag oder mehr als Niederschlagsereignis angesehen. Im nächsten Schritt kann man nun die durchschnittliche Auftretenshäufigkeit von Trogachsen während der Termine des Niederschlagsensembles mit der Klimatologie (alle Termine) vergleichen und die statistische Signifikanz der Differenz bestimmen. Für die insgesamt 404 Niederschlagsereignisse der Region Ouarzazate/Errachidia ergibt sich ein sehr stark ausgeprägtes und statistisch signifikantes Maximum unmittelbar westlich der marokkanischen Küste bei etwa $32,5^\circ \text{N}$ und somit ein Zusammenhang mit sehr weit nach Süden reichenden Trogachsen (siehe Abb. B1-2).

Abb. B1-1: Veranschaulichung des Algorithmus zur Trogachsenbestimmung. Isolinien zeigen die geopotentielle Höhe in 500 hPa (Konturintervall 50 gpm), die graue Schattierung kennzeichnet das Troggebiet und die dicke, schwarze Linie die Trogachse.



Eine weiterführende statistische Analyse ergibt, dass fast 90% der Niederschlagsereignisse und -menge dieser Region mit dem Auftreten von Trogachsen im Bereich von 5°W bis 25°W verbunden ist. Die größten Niederschlagsmengen (über 40%) fallen im Zusammenhang mit Trogachsen im Bereich zwischen 20°W bis 15°W, also auf der Trogvorderseite; hier treten auch die höchsten Intensitäten (definiert als die Niederschlagsmenge pro Ereignis) auf. Im Vergleich mit den anderen 8 Regionen weist die Region Ouarzazate/Errachidia einen sehr ausgeprägten und auf einen relativ kleinen Längenbereich ausgedehnten Zusammenhang mit Trögen auf. Zeitgleich zum Auftreten von niederschlagsrelevanten Trögen beobachtet man häufig Bodenzyclonen westlich von Marokko oder Portugal, bei den relativ östlichen Trögen auch einige Zyklonen im Lee des Atlas. Insgesamt erscheint jedoch der Zusammenhang zu den Höhenträgen stärker ausgeprägt oder zumindest leichter identifizierbar zu sein.

Nachdem somit ein weiterer wichtiger Parameter für die Winterniederschläge in Marokko analysiert wurde, soll im weiteren Verlauf der Untersuchungen verstärkt auf Faktoren für die meist heftigen, aber relativ seltenen Niederschläge des Sommerhalbjahres und die damit verbundenen Wechselwirkungen zwischen Tropen und Extratropen eingegangen werden.

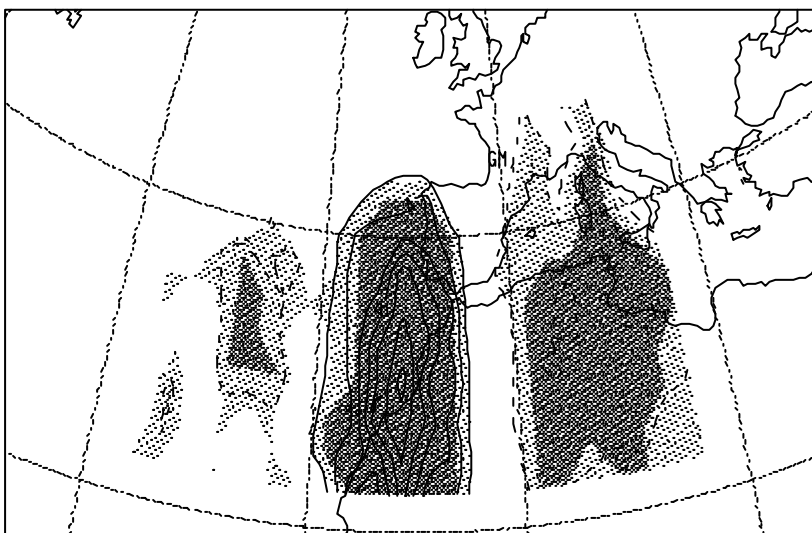


Abb. B1-2: Differenzen in der Trogachsenauftretswahrscheinlichkeit zwischen dem Niederschlagsensemble für die Region Ouarzazate/Errachidia und der Klimatologie jeweils für das Winterhalbjahr Oktober bis März (Zeitraum 1977-1998). Konturintervall ist 2%, die Schattierung kennzeichnet statistische Signifikanz auf dem 95%- bzw. 99%-Niveau.

Workpackage B1-3: Prognose des Abflusses aus der Schneeschmelze im Hohen Atlas

Die Arbeiten zur Abschätzung des Abflusses aus Schnee im Hohen Atlas wurden fortgeführt. Das bereits in 2000 entwickelte Modell, das als *Koppler* zwischen meteorologischen Antriebsdaten und hydrologischem Modell zu verstehen ist, wurde an typischen Situationen getestet. Es wurde festgestellt, dass der Beitrag der Verdunstung zur Schneeablation nicht nur nicht zu vernachlässigen ist, sondern teilweise sogar größer zu sein scheint als die Ablation aus der Schneeschmelze. Dieser Zusammenhang muss allerdings noch vorsichtig überprüft werden. Eine Validierung des Modells wird an den in Teilprojekt B2 ermittelten Daten der Stationen mit Flusserweiterungen vorgenommen, da hier zumindest die Summe von turbulentem sensiblen und latenten Wärmefluss als Residuum bestimmbar ist. Der meteorologische Koppler und die ersten Ergebnisse wurden in einer Veröffentlichung (Born, 2001) beschrieben.

Im Rahmen der Kooperation wurde bei einem Besuch der DMN von Vertretern der Teilprojekte B1/B2 und des marokkanischen Wetterdienstes die Zusammenarbeit bezüglich der Abflussvorhersage aus Schneebedeckungen begonnen, in deren Verlauf eine marokkanische Wissenschaftlerin zur gemeinsamen Weiterentwicklung des Modells für einen längeren Zeitraum Bonn besuchte.

Im Text zitierte Literatur:

- Born, K., 2001: Coupling Meteorological and Hydrological Models: A Step Towards Modelling Snowmelt Runoff in the High Atlas Mountains, *submitted to Hydrological Processes*.
- Haase, G., 2001: Physikalische Initialisierung des LM mit Radarreflektivitäten (Teil VI). Meteorologisches Institut der Universität Bonn, Bericht, 18 pp.

Teilprojekt B2**Wasserverfügbarkeit und Bodendegradation**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. B. Diekkrüger (Koordinator) Geographisches Institut, Universität Bonn	Hydrologie
Prof. Dr. B. Reichert / Prof. Dr. J. Thein Geologisches Institut, Universität Bonn	Hydrogeologie, Sedimentgeologie, Hydrogeochemie
Prof. Dr. A. Skowronek Institut für Bodenkunde, Universität Bonn	Bodenkunde
Prof. Dr. M. Winiger, Geographisches Institut, Universität Bonn	Geographie, Klimatologie

Zusammenfassung

Während des Feldaufenthaltes im Oktober/November 2001 konnten von Teilprojekt B2-1 in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten B1, B2-2, B2-3, B3-2 und B3-3 die fünf restlichen Klimastationen entlang des Transektes aufgebaut werden. Das im letzten Zwischenbericht vorgestellte Messprofil ist nunmehr komplett. In Ergänzung zu den ersten Planungen wurde eine zusätzliche Klimastation an der Nordabdachung des M'Goun aufgebaut, da diese auch in das hydrologische Einzugsgebiet des Drâa einzuordnen ist. Im Hinblick auf die Qualitätskontrolle der Stationsdaten wurden erste Vergleichsmessungen durchgeführt. Zur Ablage, Organisation und im Hinblick einer problemlosen Verteilung, wurden die Stationsdaten in MS-Excel ähnlich einer Datenbank strukturiert. Von Teilgruppe B2-2 wurden entlang von S-N Transekten über den M'Goun-Kamm Bodentemperatur-Logger installiert, die es ermöglichen sollen, Einschneigungs- und Ausaperungszeitpunkt und die Position der Schneegrenze regional präziser bestimmen zu können, als es aus den Satellitenbildern möglich ist. Zwischen der Direction de la Météorologie Nationale in Casablanca und Teilprojekt B2-2 wurde eine Kooperation vereinbart. Die Arbeiten von Teilprojekt B2-3 konzentrierten sich auf die 4 südlichen Testsites. Zur Erfassung der Oberflächenabflüsse wurden Pegel installiert, die den Wasserstand kontinuierlich aufzeichnen. Um kurzzeitige Schwankungen des Bodenfeuchteregimes zu registrieren, wurden 4 Klimastationen zusätzlich mit jeweils drei TDR-Sonden bestückt. Bei zwei Testsites wurden die Einzugsgebiete mit einem differenziellen GPS kartiert, hydrologisch relevante Landschaftseinheiten vermessen und ein hochaufgelöstes DGM erstellt. An dem im Frühling 2001 erprobten Messkonzept wurde festgehalten: Entlang von Transekten wurden Haubeninfiltrometer und Kleinberegnungsanlage eingesetzt sowie an allen Untersuchungsstandorten weitere Bodenproben für bodenphysikalische Analysen entnommen. In zwei Geländekampagnen wurden von Teilprojekt B2-4 bis auf M'Goun und Tizi Tounza alle Testsites feldbodenkundlich bearbeitet. In Absprachen mit Teilgruppe B2-3 wurden insgesamt 100 Bodenschürfe angelegt, beschrieben sowie allgemeine Standortkennzeichnungen und eine Erosionsschadenskartierung vorgenommen. Feld- und Labordaten dienen der taxonomischen Einordnung der Böden, der Einschätzung ihrer Erodibilität und wichtiger hydrologischer Eigenschaften. Die Daten wurden zur weiteren Bearbeitung in eine entwickelte Datenbank eingegeben.

Auf der lokalen Skala wurden von Teilprojekt B2-5 die geologischen Spezialkartierungen der Testgebiete fortgeführt. Für die hydrologische Bewertung der Testgebiete konnten, neben detaillierten strukturgeologischen Aufnahmen, Grundwasseraufschlüsse sowie ausgewählte Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet beprobt werden. Die für eine hydrogeologische Bewertung entscheidenden Wasserbilanzgrößen werden in enger Zusammenarbeit mit den Teilprojekten B1, B2-1 und B2-2 erarbeitet. Entlang von vier N-S Profilen vom Hohen Atlas über das Becken von Ouarzazate in den Jbel Sarhro wurden Grund- und Oberflächenaufschlüsse beprobt und hydrochemisch sowie isotopenhydrologisch untersucht.

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Workpackages von B2 vorgestellt werden.

Als ein Beispiel für die laufende Interpretation der Stationsdaten von Teilgruppe B2-1 wird das Niederschlagsereignis im August 2001 in El Miyit (EMY) aufgeführt. Insgesamt wurden 12,8 mm Niederschlag gemessen. Wie der Vergleich mit den Niederschlagsdaten der Station Zagora (1964-1990, ca. 30 km nördlich El Miyit, ORMVAO) zeigt, sind solche Gewitterniederschläge in der Region südlich des Hohen Atlas in unregelmäßigen Abständen im August und September zu verzeichnen. Nicht zuletzt hieraus erklärt sich die sehr hohe Variabilität der Niederschläge vor allem in den Sommermonaten (vgl. HASLER, 1980).

Zeitpunkt, Intensität, Andauer zeigen die konvektive Herkunft der Niederschläge an. Aus einem erstellten Satellitenfilm⁵ wird ersichtlich, dass die Feuchtigkeit aus der etwa bei 10° N liegenden ITCZ herangeführt wird. Im Zusammenhang mit einem nach Süden vorstoßenden Höhentrog werden an dessen Vorderseite feuchte, tropische Luftmassen aus dem mitteltroposphärischen Niveau nach Norden verfrachtet. Verstärkt wird die Konvektion durch den über die Passatinversion reichenden Hohen Atlas, der die obere Troposphäre zusätzlich aufheizt. So können sich südlich des Hohen Atlas Wolken-Cluster ausbilden, deren Niederschläge den Boden erreichen und nicht zuvor verdunsten. Im Satellitenbild sind die Cluster deutlich zu erkennen.

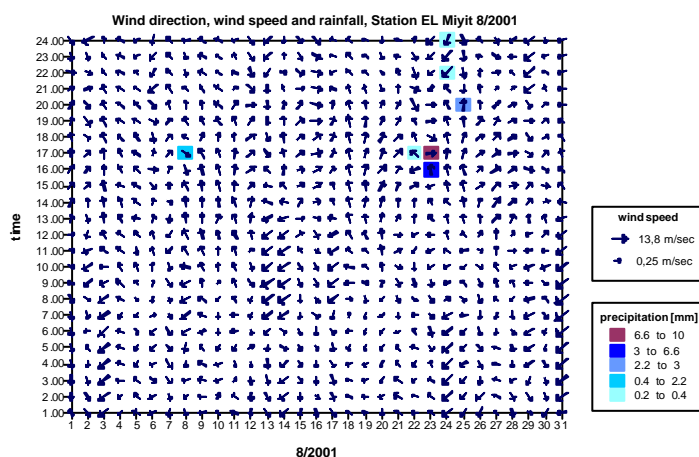


Abb. B2-1: Windrichtung, -geschwindigkeit und Niederschlag in El Miyit. August 2001

Abb. B2-1 zeigt ein Monatsdiagramm, in dem Bodenwind, Windstärke und Niederschlag im August 2001 dargestellt sind. Hier zeigt sich, dass der synoptische Wind nicht deutlich aus den Bodendaten hervorgeht, da er von einem thermisch induzierten tagesperiodischen Windsystem am Boden überlagert wird (tagsüber SE-SW, nachts NW-NE). Die Kenntnis dieser kleinskaligen Windsysteme ist eine wichtige Voraussetzung, um reliefbedingte Luv- und Leeeffekte, die wiederum die Verteilung der Niederschläge steuern, zu erkennen.

Ein weiteres Beispiel zeigt eine Auswertung von in Marokko recherchierten Niederschlagsdaten (Service Hydraulique). Dargestellt ist ein

⁵ Die Meteosat-Bilder und Zusatzinformationen wurden von B1 (P. Knippertz) zur Verfügung gestellt.

gleitendes Mittel der Niederschläge zweier Stationen im Hohen Atlas von 1975-2000 (Abb. B2-2). Die Station Ifre liegt an der südlichen Abdachung des Hohen Atlas und kann in den IMPETUS-Transpekt eingereicht werden. Die Station M'semrir liegt östlich des Transekts.

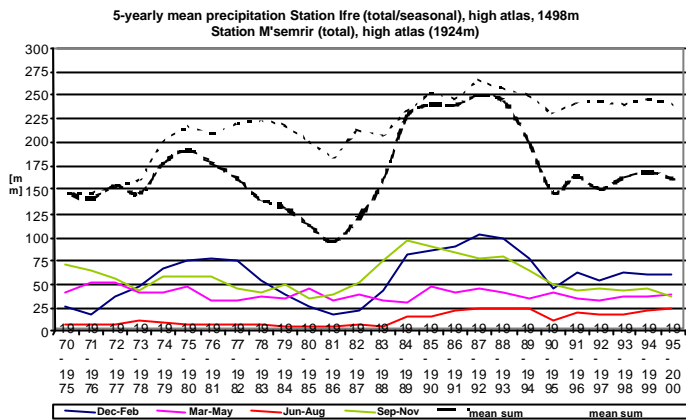


Abb. B2-2: Niederschlagsstationen Ifre und M'semrir
(Datenquelle: Service Hydraulique)

Deutlich zu erkennen sind mittelfristige Schwankungen, so auch drei trockenere Phasen zwischen 1970-1978, 1982-1986 und ab 1995. Löst man die Jahressummenkurve auf den saisonalen Niederschlag auf, wird erkennbar, dass die trockeneren Jahre jeweils auf einen signifikanten Rückgang der Winterniederschläge die den Hauptteil des Jahrestotals ausmachen zurückzuführen sind. Bei der Station M'semrir deutet sich demgegenüber ein Trend zunehmender Niederschläge an. Die trockenen Phasen sind in höheren Lagen offenbar nicht so stark ausgeprägt wie in der Tallage.

Neben den Feldkampagnen mit der Installation weiterer Messgeräte zur Schneeerkundung lag der Schwerpunkt in Teilprojekt B2-2 auf der Schneefernerkundung mit Satellitendaten. Kalibrierte und georeferenzierte NOAA AVHRR-Szenen stehen aus dem Datenpool des Teilprojektes B3 zur Verfügung. Verschiedene Verfahren zur Schneekartierung wurden getestet (*Normalized Difference Snow Index*; Klassifikationen nach *Parallel piped* und *Maximum Likelihood*). Zur Validierung wurde eine hochaufgelöste Landsat 7 ETM-Szene herangezogen. Die Schneekarten in Abb. B2-3 basieren auf einem dreistufigen Test:

Normalized Difference Snow Index (NDSI) > 0 [$NDSI = \frac{VIS - MIR}{VIS + MIR}$]

Kanal 5 (TIR) > -10°C

Kanal 2 (NIR) / Kanal 1 (VIS) < 0

Die Festlegung der Schwellwerte erfolgte nach Spektralanalysen von Schneeflächen in den einzelnen Szenen. Wie sich gezeigt hat, müssen die Schwellwerte angepasst werden, da Beleuchtungsunterschiede und häufige geringe Schneebedeckung unscharfe Klassengrenzen zwischen Schnee/nicht-Schnee zur Folge haben. Die Szenen werden nach der automatischen Georeferenzierung nachreferenziert. Grundlage sind die aus dem Geländemodell GTOPO30 berechneten Abflussbahnen. Die Kooperation mit der DMN (Direction de la Météorologie Nationale) Casablanca ist in der jetzigen Phase u.a. diesen Punkten gewidmet. Die Bewertung der Verfahren zur Schneekartierung ist noch nicht abgeschlossen, da bzgl. Situationen mit geringer Schneebedeckung, wie sie im Hohen Atlas häufig auftreten, weiterer Forschungsbedarf besteht. Eine letzte Festlegung wird nach Validierung mit eigenen Messdaten (Bodentemperatur-Logger, Klimastationen, Fotos) nach der nächsten Feldkampagne erfolgen.

Die Schneekarten geben für den Winter 1995/96 eine Mindestschneebedeckung an, da nicht alle Szenen wolkenfrei waren. Durch Ausaperung zwischen den hier erkennbaren Schneefällen (vor dem 25.12.95, 20.1. und 18.3.96) wird die Schneedecke zum größten Teil wieder abgebaut. Die Klimadaten der Station Ifre im Einzugsgebiet des Mgoun zeigen in den Monaten Januar und März überdurchschnittlich hohe Niederschläge, ein Großteil davon als Schnee. Im Winter 1997/98 fielen zwischen Janu-

ar und März ähnlich hohe Niederschläge, es kam aber zu keiner ausgedehnten Schneedecke, was nach den bisher vorliegenden Klimadaten (Monatsmittel und –summen) durch höhere Lufttemperaturen und somit flüssigen Niederschlag zu erklären ist.

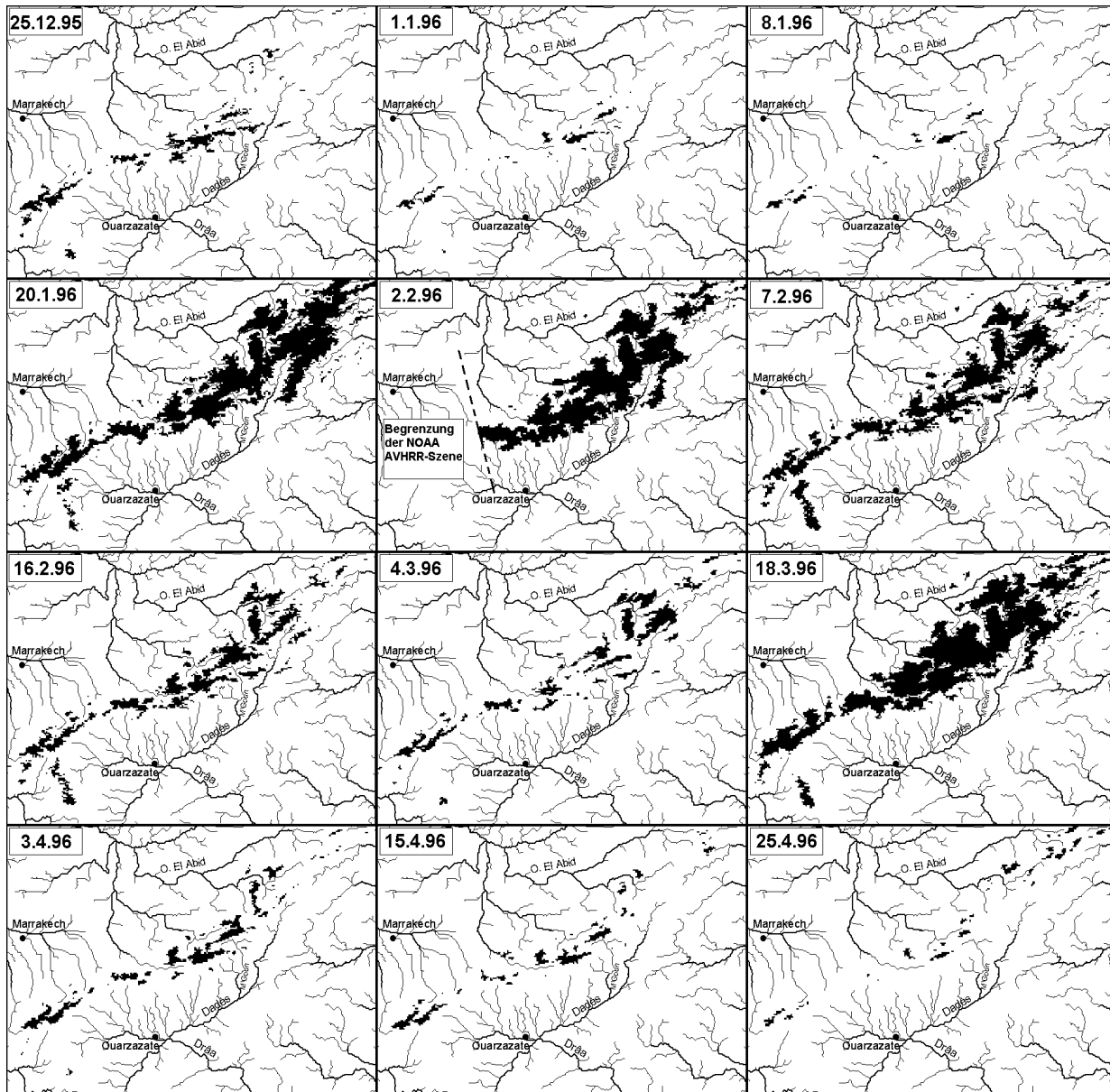


Abb. B2-3: Schneekarten des Hohen Atlas/Marokko (Ausschnitt) aus NOAA AVHRR-Daten für den Winter 1995/96

Für die Modellierung des Abflusses aus der Schneeschmelze sind nach bisherigen Beobachtungen zu beachten: mehrere Neuschnee- und Ausaperungsperioden während des Winters; verstärkte Sublimation infolge hoher Einstrahlung und geringer Luftfeuchte. Die Modellierung beginnt nach Verfügbarwerden der Impetus-Stationsdaten aus dem Hohen Atlas sowie klimatologischer und hydrologischer Daten der Kooperationspartner. Vorgesehen ist der Einsatz eines modifizierten *Snowmelt Runoff Models* (MARTINEC, et al. 1998) sowie eines Energiebilanz-Modells in Absprache mit Teilprojekt B1 (Testperiode Winter 1995/96) und DMN.

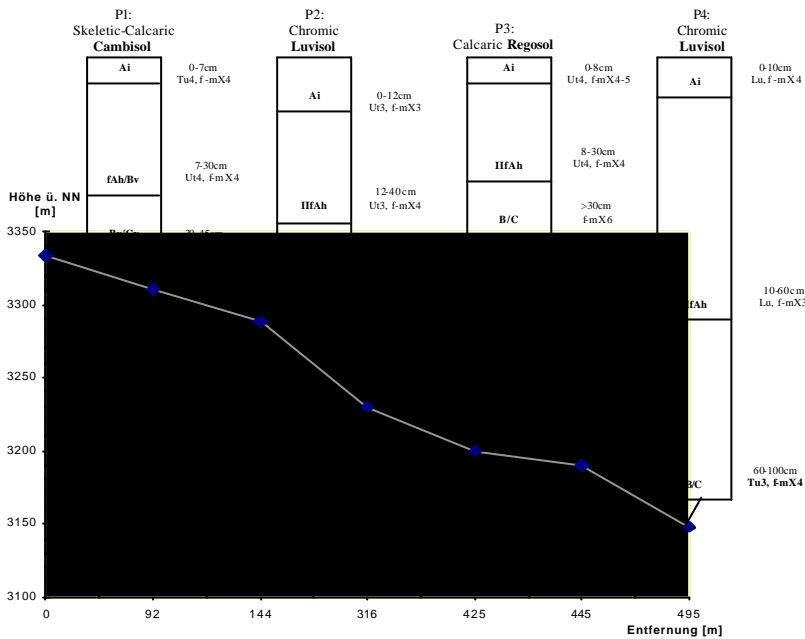
Auf der Testsite El Miyit (EMY) wurde von Teilgruppe B2-3 eine detaillierte Aufnahme der Topographie mit Hilfe eines differentiellen GPS vorgenommen. Das auf Basis dieser Geodaten entwickelte Höhenmodell liegt in einer Auflösung von 5 bis 10 m vor und stellt für die Untersuchungsfläche die räumliche Grundlage des hydrologischen Modells dar, mit welchem der Bodenwasserhaushalt beschrieben wird. Alle durchgeführten Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt und zur Abflussbildung werden in einem GIS verarbeitet und visualisiert. Auf der Grundlage der im Gelände erhobenen Daten wird derzeit eine erste Anwendung und Parametrisierung des Modells am Beispiel der Testfläche El Miyit vorgenommen.

Durch die Anlegung weiterer Messtranekte ist das Untersuchungsgebiet in repräsentative Landschaftseinheiten unterteilt worden. Neben der Erhebung der bodenhydrologischen Eingangsparameter sind Experimente zur Evaporation von Böden mit hohem Steingehalt durchgeführt worden.

Am Fallbeispiel der Testsite El Miyit bestätigt sich, dass erwartungsgemäß das Bodenwasserregime einerseits eine starke Abhängigkeit zum Relief aufweist und dass andererseits die Substratbeschaffenheit für die kleinräumige Abflussbildung und Versickerung ausschlaggebend ist. Aufgrund des hohen Sandgehaltes (>80%) und der großen Bodenmächtigkeit zeichnen sich Tiefenlinien und Konkavitäten durch die höchsten Infiltrationskapazitäten aus. Im Gegensatz zum Unland (Reg) treten in den Wadibetten durchschnittlich fünfmal höhere Infiltrationsverluste auf. Die im Transekt vorgenommenen Untersuchungen zur Infiltration lassen erkennen, dass sich die räumliche Variabilität ausschließlich auf die zwei Landschaftseinheiten „Wadi/Tiefenlinie“ und „Reg“ beschränkt – diese jedoch von der Topographie überprägt ist. In Kombination mit den von Teilprojekt B2-4 im Catena-Prinzip angelegten Profilaufnahmen wird abgeleitet, dass abnehmende Infiltrabilität und geringere Bodenmächtigkeit infolge zunehmender Hangneigung positiv korreliert sind. Während am kolluvial geprägten Unterhang infolge der größeren Bodenmächtigkeit auch höhere Infiltrationsraten zu verzeichnen sind, weisen die steileren und schuttreichen Hangpartien eine deutlich geringere Infiltrationskapazität auf.

Neben diesem Reliefbezug werden die vertikalen Wasserflüsse von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche geprägt. Je mehr die Steinbedeckung an der Oberfläche die Infiltrationsfähigkeit eines Bodens vermindert, desto stärker wird auch der nach oben gerichtete Wasserfluss blockiert. In Experimenten zur Evaporation konnte nachgewiesen werden, dass der gravimetrisch bestimmte Verdunstungsverlust in Böden mit definierter Steinbedeckung 3 bis 5 Mal geringer ist als in Böden ohne Oberflächenbedeckung. Darüber hinaus ist der Verlust von Bodenfeuchte besonders niedrig, wenn die Steine nicht isoliert vom Feinmaterial auf dem Boden liegen, sondern an den Seiten und der Unterkante von Substrat umschlossen und verbacken sind. Die Ergebnisse der Evaporationsversuche entsprechen den Aussagen von VAN WESEMAEL et al. (2000), welche die Bedeutung des Steingehaltes auf Infiltration und Verdunstung in einem semi-ariden Untersuchungsgebiet beschrieben haben. Für die Ausweisung hydrologisch repräsentativer Landschaftseinheiten in El Miyit kann festgestellt werden, dass das sandige und exponiert liegende Substrat der Tiefenlinien deutlich von den blockschuttreichen, nahezu „versiegelten“ Steinpflasterflächen abzugrenzen ist. Den feinmaterialreichen Vegetationsstandorten kommt eine pedo-hydrologische Sonderstellung zu. Mit den höchsten Infiltrationsverlusten, stark verzögerter Abflussbildung und geringer oberflächennaher Bodenfeuchte tragen die Vegetationseinheiten zur kleinräumigen Differenzierung des Untersuchungsgebietes bei. Die räumliche Verteilung von Steinpflastern, Tiefenlinie bzw. Konkavität, Vegetationsstandorte und die Überprägung durch das Relief sind die entscheidenden Bedingungen zur Ausweisung hydrologisch relevanter Großeinheiten auf der Testfläche El Miyit.

Beispielhaft für die bodenkundliche Standortkartierungen von Teilprojekt B2-4 sollen erste Ergebnisse der Testsite Tichki vorgestellt werden. An dem südexponierten, 30 bis 40% geneigten Hang bei Tichki



dominieren stark bis sehr stark skelettreiche Böden (40 – 60 Masse-%), die nach der *World Reference Base for Soil Resources* (BAILLY et al. 1998) international klassifiziert werden (s. Abb. B2-4). Hohe Anteile an den leicht erodierbaren Fraktionen Grobschluff Fein- und Feinstsand sowie geringe Humusgehalte ergeben sehr hohe Erodierbarkeitsfaktoren von über 0,5 nach der *Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung* (ABAG). Materialtransport ist

Abb.B2-4: N-S Bodencatena Tichki

auch in den periglazialen Frostschuttrinnen zu beo-

bachten.

Die Igelpolster-Vegetation akkumuliert abgetragenes Bodensubstrat, verursacht Terrassenbildung und spielt offenbar eine wichtige Rolle für den Bodenschutz. Die Aufnahmen der Vegetationsbedeckung und der Terrassen ergaben einen durchschnittlichen Bodenrückhalt von 2,6m³ am Oberhang und 5,5m³ am Mittelhang auf jeweils einer Fläche von 625m².

Die geologische Spezialkartierung der Testsite Ameskar ist beendet, detaillierte Informationen zur Geologie und Hydrogeologie, erhoben von Teilgruppe B2-5, liegen nunmehr vor. Das Gebiet liegt am Südhang des Zentralen Hohen Atlas, unmittelbar nördlich des Tertiärbeckens von Kandoula, einem schmalen, dem Becken von Ouarzazate vorgelagerten Molassebecken, das mit mehreren hundert Meter mächtigen grobklastischen jungen Abtragungsprodukten des Hohen Atlas gefüllt ist. Das Gebiet ist Teil der großen tektonischen Decken von Kandoula, in der mächtige Karbonatfolgen des unteren Jura in der Endphase der Gebirgsbildung, von Norden her weit über den südlichen Rand des ehemaligen Atlasriffs hinaus, auf den Kraton des AntiAtlas geschoben wurden. Die stratigraphische Abfolge, insbesondere aber der strukturelle Bau sind erheblich komplexer als es die erste Aufnahme im Herbst 2000 erwarten ließ. Das erste grobe Profil des letzten Zwischenberichtes musste daher erheblich revidiert werden.

Die starke tektonische Gliederung im Umfeld der Testsite bestimmt maßgeblich das hydrogeologische Abflussregime. Grundwasseraustritte sind überwiegend an die Schnittlinie zwischen tektonischen Zertüchtungszonen und/oder Schichtflächen zwischen Grundwasserstauern und -leitern geknüpft. Eine hydrogeologische Bewertung der Gesteinsschichten ist in der Tab. B2-1 gegeben.

Tab. B2-1: Hydrogeologische Bewertung der Gesteinseinheiten in der Testsite Ameskar

geol. Einheit	Lithologie	Hydrogeologische Bewertung	Mächtigkeit
---------------	------------	----------------------------	-------------

Jungquartär	Kiese, Sande	Porenaquifer, gute bis sehr gute Durchlässigkeit	0 – 30 m
Altquartär	Kalkklasten in karbonatischer Matrix	kombinierter Poren-, Kluftaquifer, gute Durchlässigkeit	20 – 50 m
karbonatischer Lias	Kalke, Dolomite,	Karstaquifer	100 – 500 m
siliziklastischer Lias	Kalke, Dolomite, verkieselte Sandsteine	Kluftaquifer, geringe Durchlässigkeit	20 – 50 m
kontinentale Obere Trias/ Unterer Lias	Ton-, Siltsteine	Aquitarde	wenige Meter
eingeschaltete Basalte	Dolerite, z.T. vergrünt	Kluftaquifer, mit z.T. guter Durchlässigkeit abhängig von Kluftdichte und -öffnung	50 -300 m
kontinentale Obere Trias	Sand-, Siltsteine, matrixgestützte Konglomerate	Geringleiter, Kluftgrundwasserleiter abhängig von Kluftdichte und -öffnung	200 m

Bei der hydrochemischen Charakterisierung der beprobten Grundwässer im Testgebiet Ameskar zeichnet sich eine eindeutige, durch die Chemie des Grundwasserleiters bestimmte Typisierung ab (Abb. B2-5). Auffällig ist, dass einzelne Quellaustritte Mischwässer der geogenen Grundtypen (z.B. Basalt, Karbonate) darstellen, wobei die jeweiligen Mischungsanteile von den hydraulischen Bedingungen abhängen.

Für die eindeutige Zuordnung der jeweiligen Quelleinzugsgebiete können die Isotopenanalysen herangezogen werden (Abb. B2-6). Seit Herbst 2001 werden die für die Inputfunktion benötigten ^{18}O und ^2H -Gehalte des Niederschlags regelmäßig erfasst, so dass die Einzugsgebiete demnächst bestimmt werden können.

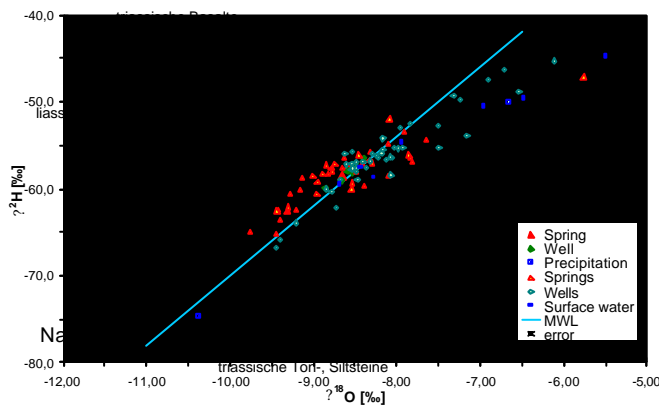


Abb. B2-5: Dreiecksdiagramm ausgewählter Quellen der Testsite Ameskar

Die Geologie im Oberlauf des Hauptvorfluters Asif n'Ait Ahmed, der auch im Herbst mit hohem Abfluss in das Kartiergebiet eintrat, ist durch die bisherigen Aufnahmen nicht erfasst. Für die angestrebte hydrologische Gesamtbilanz muss die westlich und nordwestlich von Ameskar

anschließende Region detailliert untersucht werden. Geologische und hydrogeologische Detailkartierungen sind für das Frühjahr 2002 geplant. Zusätzlich werden die hydrogeologischen Aufnahmen im regionalen Maßstab (Nördliches Draa-Einzugsgebiet) intensiviert.

Abb.

Literatur

- Bailly, F., Mueller, K.; Nieder, R., Schön, H.-G. (1998): World Reference Base for Soil Resources - Bezugsgrundlage der Boden-Ressourcen der Erde (WRB). Deutsche Übersetzung. - ISS, ISRC, FAO. World Resources Reports 84, Rom.
- Hasler, M. (1980): Der Einfluss des Atlasgebirges auf das Klima Nordwestafrikas. Geogr. Bernensia, Bd. 11, Bern.

- Martinez, J., Rango, A., Roberts, R. (1998): Snowmelt Runoff Model (SRM) User's manual. Updated Version. Geogr. Bernensia, Series P, Vol. 35, Bern.
- van Wesemael, B., Mulligan, M. and Poesen, J. (2000). Spatial patterns of soil water balance on intensively cultivated hillslopes in a semiarid environment: the impact of rock fragments and soil thickness. Hydrological Processes 14.

Teilprojekt B3

Funktionelle Beziehungen zwischen der Vegetationsdynamik, dem Wasserkreislauf und dem Einfluss des Menschen

Antragssteller	Fach
Prof. Dr. N. Jürgens (Koordinator) Botanisches Institut und Botanischer Garten der Universität Hamburg	Vegetationsökologie
Prof. Dr. G. Menz Geographische Institute, Universität Bonn	Geographie: Fernerkundung
Prof. Dr. H. Goldbach / Dr. J. Burkhardt (Koordinator) Agrikulturchemisches Institut, Universität Bonn	Ökophysiologie / Pflanzenernährung
Prof. Dr. M. Janssens Institut für Obstanbau und Gemüseanbau Abt. Tropischer Pflanzenbau	Ökophysiologie / Pflanzenbau

Zusammenfassung

In 2001 wurden die logistischen und organisatorischen Aufbauarbeiten des Teilprojekts abgeschlossen, sowie ein dichtes Kontaktnetz zu themenverwandten marokkanischen und europäischen Arbeitsgruppen geknüpft. Die floristische Einarbeitung ist soweit gediehen, dass sie bereits im Berichtszeitraum ein effektives vegetationskundliches Arbeiten sowie die Erstaufnahme der Dauerbeobachtungsflächen ermöglichte. Vegetationskundliche Arbeiten mit dem Ziel des Prozessverständnisses der Vegetationsdynamik wurden parallel auf drei räumlichen Skalen durchgeführt, auf der Mesoskala der Testsites jeweils eng verknüpft mit Fragestellungen von Geländeklima, bodenkundlicher Differenzierung und Landnutzung. Im Fernerkundungsbereich wurden verschiedene halbautomatisierte Einlese- und Geokorrektur-Tools für NOAA- und LANDSAT-Daten entwickelt und implementiert, sowie erste Klassifikationen der Vegetation des südlichen AG gerechnet. Mit fernerkundlichen Methoden und unter Einsatz zweier differentieller GPS-Empfänger wurden digitale Geländemodelle von Testgebieten erstellt.

Der Frage der Steuerfunktion der Vegetation für den Gebietswasserhaushalt wurde mit Bestimmungen der Bestandesbiomasse und Evapotranspirationmessungen dominanter Halbwüstenpflanzen an den Testsites El Miyit und Taoujgalt nachgegangen. Des Weiteren sind Experimente für ein verbessertes Kulturpflanzenmanagement auf Versuchsflächen und Laborexperimente in Marokko und Deutschland angesetzt worden.

Organisatorischer Projektfortschritt und Vernetzung mit anderen Forschergruppen

In 2001 wurden die logistischen Aufbauarbeiten der Arbeitsgruppe erfolgreich abgeschlossen. Besonders zu erwähnen ist in diesem Kontext der Aufbau von insgesamt 10 Zäunungsexperimenten und 34 Dauerbeobachtungsflächen der vegetationsökologischen Teilarbeitsgruppe an den Testsites entlang des IMPETUS-Transekts vom Hohen Atlas bis zum Lac Iriki nahe der algerischen Grenze.

Die Sommermonate wurden von der landwirtschaftlichen Teilarbeitsgruppe dazu genutzt, die Messinstrumente (Blattnässesensorik RESI, Transpirationsmessgerät LICOR 6400, Wägelysimeter) zu testen und Probleme technischer Natur zu identifizieren und zu lösen. Gemeinsam mit der ORMVAO wurden

in der Herbstkampagne 2001 das Wägelysimeter sowie eine Klimastation in der Oase von Zagora installiert. Es wurde ein Standort in direkter Nähe zu den Messapparaturen der ORMVAO und des belgischen Forschungsprojektes SIGMADRAA gewählt, um die unterschiedlichen Methoden zur Evapotranspirationmessung zu vergleichen. Wägelysimeter und Klimastation in der Versuchsstation Asrir werden in enger Zusammenarbeit mit der ORMVAO betrieben. Versuchskonzepte und Strategien hierzu wurden in gemeinsamer Diskussion mit der ORMVAO erstellt.

Parallel zum logistischen Aufbau sind Kontakte zu den Partnerinstitutionen und thematisch verwandten Forschungsprojekten in der Region geknüpft worden, insbesondere zu den Projekten ROSELT, PBTHA (Projet de Biodiversité et Transhumance dans le Haut Atlas), zur Arbeitsgruppe um Dr. Mohammed Rejdali am Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II in Rabat, zur Gruppe um Dr. M. Fennane am Institut Scientifique in Rabat, sowie zur Arbeitsgruppe von Prof. Dr. U. Deil am geobotanischen Institut der Universität Freiburg.

In Kooperation mit Prof. Goossens der Universität Gent (Belgien) konnte eine Methode zur Generierung von Digitalen Geländemodellen aus Fernerkundungsdaten entwickelt werden. In Zusammenarbeit mit Dr. M. Canty (KFA Jülich) entstanden verschiedene Detaillösungen zur Satellitenbild-Verarbeitung wie z.B. ein Programm zur automatischen Passpunkt-Generierung. Mit der GTZ Zagora wurde eine Zusammenarbeit bei der Untersuchung des Tamariskenwaldes westlich von M'hamid vereinbart. Zusätzlich ist in diesem Kontext die Teilnahme von B3-Mitarbeitern an zwei Methodenworkshops der Biota-Projekte (BMBF Biolog-Programm) und am Statusseminar der Biolog-Projekte im Dez. 2001 zu erwähnen.

Workpackage B3-1/2: Analyse raum-zeitlicher Vegetationsmuster

Auf der Makroskala

Die floristische Einarbeitung in das Untersuchungsgebiet ist gut vorangeschritten. Zur Bestimmung der Arten im Untersuchungsgebiet wurden im Jahr 2002 insgesamt 1277 Herbarbelege gesammelt, die im Herbarium Hamburgense aufbewahrt werden.

In der Vegetationsperiode 2001 wurden insgesamt 150 pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen im oberen und mittleren Draa-Einzugsgebiet erhoben. Die Aufnahmen wurden jeweils mittels GPS räumlich verortet und an ein Arc-View gestütztes GIS des Untersuchungsgebietes gekoppelt. Eine erste Klassifikation ergibt eine klare Dreigliederung der Vegetation des Untersuchungsgebietes sowie seine Zugehörigkeit zu drei unterschiedlichen Florenräumen bzw. vegetationskundlichen Großräumen: Mediterrane und oro-mediterrane Vegetationseinheiten an den Hängen des Hohen Atlas sowie den Nordflanken und Hochlagen von Jebel Sirua und Jebel Sarrho, irano-turanische Steppengesellschaften in den Tal- und Beckenlandschaften von Hohem Atlas und Antiatlas sowie saharische Vegetationseinheiten vom Südfuß des Antiatlas bis zur algerischen Grenze.

Die halbautomatische Prozessierung von NOAA AVHRR Rohdaten für Gesamtmarokko zu einem geokodierten und kalibriertem Produkt konnte Skript-gesteuert operationalisiert und abgeschlossen werden. Zur Verbesserung von Klassifizierungen der LANDSAT und NOAA Daten wurden weitere ‚Ground Truth‘ Daten im Gelände erhoben. Als effektives Werkzeug hat sich die Nutzung eines GPS erwiesen.

Die geometrische Korrektur von LANDSAT MSS Daten wurde abgeschlossen und eine erste Veränderungsanalyse der Vegetation des südlichen Einzugsgebietes wurde durchgeführt (1974 –1999). Zwei Verfahren zur topographischen Normalisierung von Relief-bedingten Beleuchtungsunterschieden in Satellitenszenen wurden dafür in der Programmierumgebung IDL umgesetzt. Zur Klassifikation der LANDSAT Daten wurden verschiedene moderne Klassifikationsverfahren evaluiert und getestet: Linear Spectral Unmixing, Spectral Angle Mapper, Mixture Tuned Matched Filtering.

Auf der Mesoskala

Auf der räumlichen Skala der Testsite-Kleineinzugsgebiete wurde mit der strukturellen und funktionellen Analyse von Vegetationsmustern begonnen:

Im Kleineinzugsgebiet der Testsite von Bou Skour wurde mit einem differenziellen GPS eine individuen-genaue Vegetationskartierung, in Form von Transekten mit jeweils 5 Meter Abstand, quer zum Höhengradienten durchgeführt. In Verbindung mit den von B.Weber (AG Dieckkrüger, B2) gesammelten Daten kann daraus einerseits ein hochauflösendes Höhenmodell erstellt werden. Andererseits können die einzelnen Arten in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt und ökologisch interpretiert werden. Durch diesen Ansatz können die aus den Dauerbeobachtungsflächen gewonnenen Erkenntnisse auf Landschaftsebene übertragen und modelliert werden.

Auf der Testsite El Miyit wurden Bäume und größere Gehölze mit dem dGPS individuell genau kartiert. Dies soll neben der ökologischen Analyse auch als Grundlage für die Flächenbilanz von Biomasse und Transpiration dienen.

Mit einem Differentiellem GPS (Leica 300) wurden hochgenaue Passpunkte zur Entzerrung von IKONOS und CORONA Daten aufgezeichnet. Dabei wurde auch ein terrestrisches Geländemodell aus DGPS Punkten erstellt, das als Referenz für weitere Untersuchungen dient. Unter Verwendung von photogrammetrischer Software konnte mit den erhobenen DGPS Punkten bereits ein hochaufgelöstes digitales Geländemodell für zwei Testregionen aus CORONA Daten abgeleitet werden.

In Zusammenarbeit mit der AG Winiger (B2) wurde im Ameskar-Gebiet ein kombiniertes Vegetations-/Bodentemperaturtransekt über den Atlas-Hauptkamm mit Bodentemperaturloggern angelegt. Von der Auswertung dieses Transekts erwarten wir wichtige Aufschlüsse über mikroklimatische Steuerfaktoren für die oromediterranen Vegetationsmuster.

Gemeinsam mit Barbara Casciarri (AG Casimir, B4) wurde begonnen, im Becken von Tagounite und seinen begrenzenden Randketten (Testsite Jebel Hssain) die langfristige demographische Entwicklung der mobilen pastoralen Gruppen sowie daraus abgeleitet die Entwicklung des Weidedrucks sowie die Veränderungen der Vegetation zu analysieren. Die Censusedaten aus den letzten Jahrzehnten seit Beginn der französischen Besetzung bis heute liegen bereits vor, derzeit wird versucht die Daten der Viehzählungen der Gemeinde Tagounite zu erhalten.

Auf der Mikroskala

Auf den Testsites wurden sowohl innerhalb als auch außerhalb der Weideausschlussflächen insgesamt 35 vegetationskundliche Dauerbeobachtungsflächen (DB-Flächen) angelegt. Lediglich bei der Hochgebirgs-Klimastation auf ca. 3800 m am Jebel M'Goun wurde auf die Anlage von vegetationskundlichen Dauerbeobachtungsflächen aufgrund der fehlenden Vegetation verzichtet.

Die DB-Flächen umfassen je 100 m² und sind in einem Raster von 1 m² markiert und aufgespannt. Die Daten werden in ¼ m² Flächen aufgenommen, wobei jeweils vom Wurzelpunkt der Pflanze ausgegan-

gen wird. Dies dient einerseits zur Erstellung einer individuengenauen Karte der Vegetationsverteilung in den DB-Flächen, andererseits bietet sich ein Rahmen um Vegetationsveränderungen über den Jahreslauf und aufgrund unterschiedlicher Nutzungsintensität exakt zu dokumentieren.

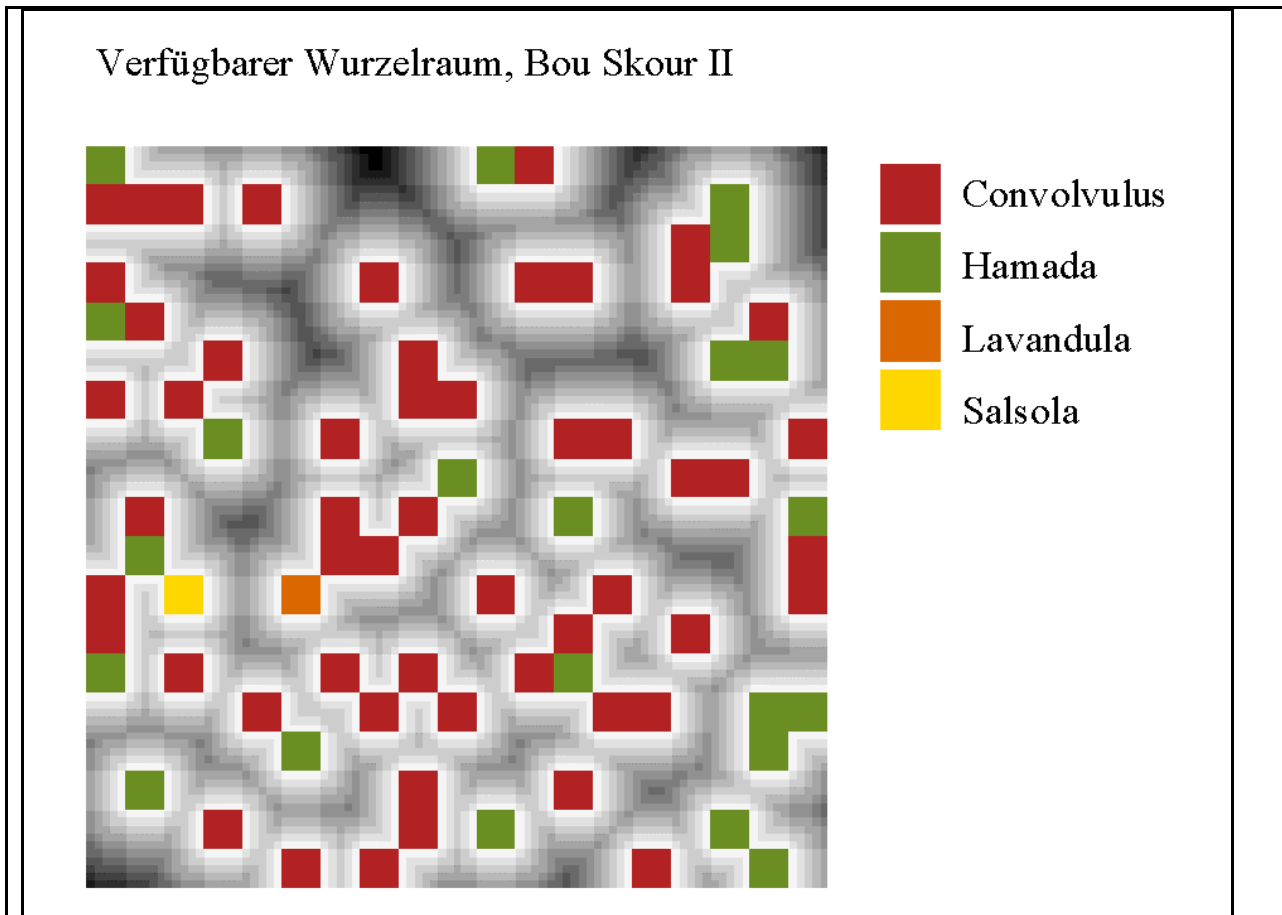


Abb. B3-1: Zentralteil der DB-Fläche Bou Skour II mit Analyse der räumlichen Abstände zwischen individuenbelegten Rasterzellen als Annäherungs-Maß für den verfügbaren Wurzelraum

Die erhobenen Parameter für jedes Individuum umfassen Biomassezuwachs, Blüh- und Fruchtfolgen, sowie Keimungs- und Absterbeereignisse. Letzten Endes sollen über die DB-Flächen Aussagen über die Dynamik, des Regenerationsverhalten und über potentielle Dichte und Biomasse der Vegetation in den ökologischen Einheiten der Testsites gemacht werden. Direkt ableitbar ist aus den Zäunungsexperimenten der Einfluss der Beweidung auf die Vegetation. Durch die Veränderung von Dichte und Biomasse der Vegetation ist die Analyse der Vegetationsdynamik für Infiltrations- und Abflussverhalten des Niederschlags sowie die Bestandesevapotranspiration und daher für die Modellierung des Gebietswasserhaushaltes von entscheidender Bedeutung (Abb. B4-1).

Die DB-Flächen innerhalb der Zäunungsflächen wurden 2001 größtenteils bereits zweimal (Frühling, Herbst) ausgezählt, die Außenflächen lediglich einmal. Da Letztere nach jeder Auszählung wieder abgebaut werden müssen, wurden die Eckpunkte mit im Boden vergrabenen Magneten dauermarkiert.

Derzeit sind die Karten einer individuengenauen Vegetationsverteilung in Arbeit. Daten zur Vegetationsdynamik und über den Beweidungseinfluss können erst ab der zweiten Freilandsaison geliefert werden.

Workpackage B3-1: Steuerfunktion der Vegetation für den Gebietswasserhaushalt

Biomassebestimmung

Um die vorhandenen und in Zukunft erhobenen Transpirationsmesswerte von Einzelblättern auf die Fläche zu extrapolieren, wurden artspezifische Biomassebestimmungen durchgeführt. Dazu wurden ausgewählte Individuen digital fotografiert und die Ausdehnungen der Pflanzen ausgemessen. Aus diesen erhobenen Daten werden über digitale Bildbearbeitung die Volumina der Pflanzen ermittelt.

Parallel dazu wurde mit destruktiven Methoden die Biomasse bestandesbildender Arten auf den Testsites von El Miyit und Taoujgalt bestimmt, getrennt nach lebender und toter oberirdischer Biomasse.

Durch die Kombination beider Verfahren ergeben sich für jede Pflanzenart spezifische Kalibrierungsfaktoren, mit deren Hilfe Biomassebestimmungen konservativ (auf digitaler Erhebung basierend) durchgeführt werden können und somit auch der jährliche Biomassezuwachs bestimmt werden kann.

Transpirationsmessungen

Transpirationsmessungen wurden auf den Testsites EL MIYIT und TAOUJGALT an den dort wichtigsten bestandesbildenden Pflanzenarten durchgeführt (EL MIYIT: *Acacia tortilis ssp. raddiana*, *Anvillea radiata*, *Gaillonia reboudiana*, *Ziziphus lotus*; TAOUJGALT: *Teucrium polium agg.*, *Artemisia herba alba agg.*). Aufgrund eines Ausfalls des Transpirationsmessgerätes, welcher nicht in Marokko behoben werden konnte, sind die vorher erhobenen Daten noch zu verifizieren. Die erhoffte Kalibrierung der Blattnässesensorik RESI konnte aus diesem Grund noch nicht befriedigend durchgeführt werden. Die erhobenen Datensätze befinden sich noch in der Auswertungsphase.

Workpackage B3-3: Verbessertes Kulturpflanzenmanagement

Am Institut für Agrikulturchemie in Bonn wurden erste Gewächshausversuche mit Hydrogelen durchgeführt, wobei zwei verschiedene Polyacrylatverbindungen und eine Silikatverbindung getestet wurden. Vorversuche zur Einbringungsmethode der Hydrogele in die Bodensubstanz durchgeführt um zu klären, ob ein Aufquellen der Hydrogele vor dem Einmischen in die Bodensubstanz Vorteile für die Pflanzen bringt.

In der Herbstkampagne wurden in Marokko verschiedene Versuche mit Hydrogelen angesetzt. Dazu wurden zwei verschiedene Standorte gewählt, Zagora im Süden und Ouarzazate im nördlichen Mittelteil des Untersuchungsgebietes. Diese beiden Flächen wurden aufgrund der unterschiedlichen klimatologischen Gegebenheiten und der günstigen Infrastruktur (Bewachung, Gießwasserverfügbarkeit, Verkehrsanbindung, Weideausschluss) ausgewählt. In Zagora wurde ein Feldversuch mit Winterweizen (BT Achtar) in der Versuchsstation Asrir der ORMVAO in vierfacher Wiederholung pro Variante angelegt. In der IMPETUS-Basis Tissergate (7 km nördlich von Zagora) wurde ein Topfversuch mit *Artiplex halimus* in neunfacher Wiederholung pro Variante angesetzt.

In Ouarzazate wurde ein Feldversuch mit *Atriplex halimus* in vierfacher Wiederholung und Topfversuche mit *Atriplex halimus* und *Citrus limon*. in jeweils neunfacher Wiederholung pro Variante angesetzt. Die Datenanalyse dieser Hydrogelversuche ist noch nicht beendet, es ist aber zu erkennen, dass die mit den Polyacrylaten versetzten Varianten besser mit Wasserstress zurecht kamen als die Silikat- und Kontrollvarianten.

Ausblick

Für das Frühjahr 2002 sind Lysimeter-Messungen mit *Zea mais*, welche als Kulturpflanze mit hohem Wasserverbrauch großflächig von den Landwirten dieser Region angebaut wird, geplant. Ziel dieser Messungen ist es, den Wasserverbrauch der Pflanze unter den dort herrschenden klimatischen Bedingungen zu charakterisieren und zusammen mit der ORMVAO Strategien zu entwickeln, um die dort zur Verfügung stehenden Wassermengen effizienter zu nutzen. Eine größere Messkampagne im kommenden Frühjahr, in der räumliche Gradienten des Transpirationsverhalten dominanter Halbwüstenpflanzen untersucht werden sollen, mit Mitarbeitern des Botanischen Instituts der Uni Hamburg ist in Vorbereitung.

Daneben sind für die kommende Vegetationsperiode vorrangig die Wiederholung der Dauerflächenaufnahmen sowie die Fortsetzung der vegetationskundlichen Erfassung des Untersuchungsgebietes geplant.

Im Februar 2002 wird ein Projekt zur raum-zeitlichen Veränderung des Tamariskenwaldes westlich von M'hamid auf Grundlage von hochauflösenden CORONA und IKONOS Satellitendaten durchgeführt. An dieser arbeitsintensiven Feldkampagne wird eine Studentengruppe der Universität Bonn im Rahmen eines geographischen Geländepraktikums teilnehmen.

Bisherige Publikationen

- Thamm H.-P., Schmidt, M., Mévo Guézo, G, Menz,G. (2000): An integrative management project for efficient and sustainable use of fresh water in western Africa (IMPETUS), Proceedings of the 1st EARSeL Workshop on Remote Sensing in Developing Countries. Gent, Belgium.
- Schmidt,M., Goossens,R., Menz,G.(2001): Processing techniques for CORONA satellite images in order to generate high-resolution digital elevation models (DEM). Proceedings of the 21 EARSeL Symposium May 2001. Paris, France.
- Schmidt,M., Goossens,R., Menz,G., Altmaier,A., Devriendt,D. (2001): The use of CORONA satellite images for generating a high-resolution digital elevation model (DEM). Proceedings of the IGARSS 2001 Conference, July 2001. Sydney, Australia.
- Altmaier, A.,Kany, C., Schmidt, M. Menz, G. (2001): Generierung eines 3D-Modells aus CORONA-Satellitenbildern. J. Strobl, T. Blaschke und G. Griesebner (Hrsg.): Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2001, Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII.
- Goossens, R., Schmidt, M., Altmaier,A., Benoit,F., Menz,G. (2001): Extraction of Digital Elevation Models and ortho-images from CORONA KH4B data. Proceedings of ISPRS workshop: High resolution mapping from space 2001, Hannover, Germany.
- Rao, K.S., Phalke, S.M., Sakalley, J., Schmidt, M.: Assessment of Geo-coding and Height Accuracy of the DEM derived from SRTM. Submitted to IEEE
- Thamm, H.P., Schmidt,M. (2001): Erhebung von Ground Truth mit dem GPS Link von ERDAS IMAGINE für eine Klassifizierung der Landnutzung in Benin und Marokko im Rahmen des IMPETUS Projekts. Proceedings of: Geosystems user Group meeting 2001, Germering, Germany.
- Menz, G., Schmidt,M., Finckh, M., Jürgens, N. (2001): Assessment of spatio-temporal vegetation dynamics in the Drâa catchment using a multisensor approach. Proceedings of the international symposium: Arid Regions Monitored by Satellites: from Observing to Modelling for Sustainable Management, Marrakesh, Morocco.

Teilprojekt B4**Wasserverteilung, -rechte und -konflikte**

Antragsteller:	Fach
Prof. Dr. M. Casimir (Koordinator), Institut für Völkerkunde, Universität zu Köln	Ethnologie: Ökonomisch und kognitiv
Prof. Dr. M. Rössler, Institut für Völkerkunde, Universität zu Köln	Ethnologie: Ökonomisch, sozial-politisch und kognitiv

Zusammenfassung

Die zweite Projektphase war für die Mitarbeiter von Teilprojekt B4 von zwei dreimonatigen Feldforschungsaufenthalten in den jeweiligen Untersuchungsregionen gekennzeichnet. Für die einzelnen Bearbeiter stand dabei die intensive Datenerhebung und –sammlung, sowie die Literaturrecherche, besonders von „grauer“ Literatur vor Ort, im Vordergrund. Anhand von sozial-geographischen und ethnologischen Untersuchungsmethoden wurden an den verschiedenen Standorten im Drâa-Tal auf verschiedenen räumlichen Ebenen (Stadt Ouarzazate als Oberlieger / Dörfer Tiraf und Blida als Unterlieger) Daten zu Wasserversorgung, -verteilung und –verbrauch erhoben. Dabei wurden ethno-demographische und sozioökonomische Daten auf Haushaltsebene in den Dörfern bzw. in den ausgesuchten Stadtteilen erfasst und Informationen zu wirtschaftlichen Hauptaktivitäten in den Untersuchungsgebieten gesammelt (Dattelernte in den Oasen, Tourismus in Ouarzazate). Die von den Bearbeitern aus verschiedenen Perspektiven gewonnenen Daten erlauben erste Aussagen über die Handlungen und Reaktionen der verschiedenen Akteure und Nutzergruppen in Bezug auf die Wasserknappheit und das Wassermanagement, die in den folgenden Beiträgen kurz skizziert werden.

Dynamik des sozioökonomischen Strukturwandels im Umgang mit Wasser bei pastoralen und Agrargemeinschaften im südlichen Draa-Tal

Die Feldarbeiten in der zweiten Feldforschungsphase wurden während der kharif-Jahreszeit, die hinsichtlich der wirtschaftlichen Aktivitäten, wie auch der soziopolitischen Beziehungen zwischen den verschiedenen Gruppen des Draa- Tals eine zentrale Rolle spielen, durchgeführt. Die Arbeiten fanden sowohl in den betreffenden Oasen (vorzugsweise in den Palmenhainen Ktaoua und Mhamid) als auch in der Stadt durchgeführt.

Koordinationstätigkeit, Kontakte und Literaturrecherche

Inter-IMPETUS

Die Arbeiten wurden innerhalb B4 zusammen mit D. Schlütter durchgeführt, wobei es besonders um die Bezüge zur gemeinsamen Problematik ging und um eine Diskussion der angewandten Methoden die für die Arbeit der Sozialwissenschaftler in B4 und mit S. El Berr als Praktikantin bedeutsam sind. Die begonnene interdisziplinäre Zusammenarbeit mit B3 wurde weitergeführt, insbesondere mit Dr. M. Finckh (Analyse der demographischen Daten) mit dem auch gemeinsame Exkursionen durchgeführt wurden.

Kolloquien

Die Mitarbeiter der Teilprojekte von B4 beteiligten sich mit Vorträgen an dem mit den lokalen Partnern gemeinsam organisierten IMPETUS- Workshop (11-12.09. Ouarzazate) und bei der Projektvorstellung „Biodiversité et transhumance dans le versant Sud du Haut Atlas“, die durch PNUD, (25-26.09. in Ouarzazate) finanziert wurde.

Kontakt zu den Kooperationspartnern

Die Kontakte sowohl zum Personal der ORMVAO und des SEL (Ouarzazate und Zagora), zum CMV in Tagounite und in Mhamid als auch zum Personal der GTZ in Zagora haben sich weiterentwickelt.

Universitäre Kontakte und Bibliographierecherche

Die Recherchen der Bibliographie- und Statistikquellen wurde in der Fondation Saoudienne in Casablanca und in der Faculté des Lettres in Rabat weitergeführt. Ein neuer Kontakt wurde im Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II in Rabat geknüpft. Die Kontakte zu den Professoren M. Ait Hamza (Université Rabat) und L. Ouhajou (Université Agadir) wurden wieder aufgenommen.

Feldaufenthalt

Methodik

Projekt Ethnologie – März 2001 - Auflistung der wichtigsten Datenerhebungen:

- ?? Quantitative Datenerhebung zu Aspekten wie Demographie, Habitat, ökonomische Aktivitäten, Wasserverwaltung und anderen Ressourcen der Haushaltseinheiten wurden in Karteien und Tabellen einzutragen.
- ?? Ortung der einzelnen Wasserstellen und Ermittlung der damit im Zusammenhang stehenden sozioökonomischen Variablen sowie der hiermit verbundenen historischen Daten.
- ?? Semi-strukturierte und strukturierte Interviews von Lebensgeschichten.
- ?? Erfassen und Sammeln genealogischer Daten der betreffenden sozialen Gruppen.
- ?? Teilnehmende Beobachtung zum besseren Verständnis der täglichen Arbeitsabläufe.

In dieser Phase habe ich mich für einen verlängerten Aufenthalt in den untersuchten Palmenhainen entschieden; sie dienen der Festigung des Vertrauensverhältnisses zwischen mir und den einzelnen Haushalten und der Verbesserung meiner Sprachkenntnisse. Aus diesem Arbeitsabschnitt resultierte die Überprüfung bereits erhobener Datensätze und die Aufnahme neuer Informationen.

Material und untersuchte Bereiche

Der Datencorpus besteht aus unterschiedlichen komplexen Untersuchungseinheiten, die im Folgend aufgelistet sind:

1. Intensive Untersuchung eines Samples von 30 Haushaltseinheiten
2. Datenerhebung über 60 Wasserstellen verschiedenen Typs und unterschiedlicher Bedeutung.
3. Messung des täglichen Wasserverbrauchs innerhalb von 2 Wochen bei 5 Haushalten
4. Interviews zu einzelnen sozioökonomischen Bereichen und sowie Lebensgeschichten.
5. Schema der genealogischen Beziehungen der Haushalte zueinander und Aufnahme von Heiratsdaten
6. Chronologische Tagebuchführung mit integrativen Notizen zu den einzelnen Themenbereichen.
7. Teilnehmende Beobachtung bei der Dattelernte bei einer nomadischen Ait Unzâr- Gruppe

8. Erster Survey und einige Voruntersuchungen bei den sesshaft gewordenen Arib in Blida und Tagounite und in der Gegend von Mhamid
9. Photographische Dokumentation zu den einzelnen Themen.

Vorläufige Ergebnisse und Schlussanmerkungen

Das Dorf Tiraf

Das Ziel, die Beziehungsmuster zwischen pastoralen und ackerbauenden Gemeinschaften (bei den nomadischen und sesshaftgewordenen Ait Unzâr Gruppen und den Dorfbewohnern des *ksar* Tiraf), vor dem Hintergrund der zur Verfügung stehenden natürlichen und menschlichen Ressourcen des unteren Ktaoua, wurde weiter verfolgt. Das Interesse an diesem Dorf wird durch die Tatsache gerechtfertigt, dass das Dorf als „Extremzone“ der ökologischen Anpassung und als ein bedeutender Bezugspunkt der historischen Beziehungen zwischen den zwei Hauptakteuren des Tals - den Pastoralnomaden und den Oasenbauern - gilt. Um den Umgang mit der knappen Ressource Wasser bei den Bewohner von Tiraf zu erfassen wurden sozialen, ökonomischen und politischen Merkmale der Gruppen ermittelt. Während der, im ökonomischen Jahreszyklus, wichtigen *kharif*-Zeit konnten viele Fragen zum System der Landbesitzrechte, zur Dattelernte und der Kommerzialisierung der Datteln auf den lokalen Märkten und zur Organisation der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte beantwortet werden. Die diversen Formen der Landnutzung bebaubarer Flächen und das Verhältnisses von Landbesitz und Zugang und Verteilungsmodus des Wassers des Bewässerungssystems wurden eingehend untersucht.

Die Ait Unzâr Nomaden

Die Dattelernte im *douâr* Tiraf wurde von Mitgliedern der Ait Unzâr-Gruppen durchgeführt, die keine verwandschaftlichen Bindung weder zu Tiraf noch zu Tagounite haben. Diese jahreszyklischen Arbeiten können als ökonomische Anpassungsstrategien der pastoralen Gruppen gesehen werden, die über keinen festen Wohnsitz verfügen. Die Gruppe wurde auf ihren Wanderbewegungen in die Gegend von Beni Ali, von Zagora und auf den Wanderstrecken zwischen Tal Maidrin, Takatt und Oued Mird begleitet. Daher wurden weitere Ait Unzâr Gruppen untersucht (Tiraf, Tagounite, Mhamid Tal Maidrin und Oued Mird) um ein umfassenderes Bild der Entwicklung dieser Ait Atta- Fraktion zu gewinnen, die sich in Hinblick auf eine vollständige Sesshaftwerdung noch zurückhaltend verhalten und trotz starker Diversifikation immer noch gemeinsame politische Institutionen und ein tribales Territorium mit gekennzeichneten Grenzen ihr Eigen nennen.

Die Arib Nomaden in der Gegend von Mhamid

Um ein zukünftiges Arbeitsfeld auf die Gegend von Mhamid, und damit auf die Arib Nomaden, auszuweiten wurde eine Voruntersuchung durchgeführt. Während der sechs Aufenthalte in Mhamid und in den Dörfern des Palmenhains wurden Kontakt zu den lokalen Autoritäten aufgenommen, erste Interviews mit dem Scheikh der Arib und dem Scheikh der Grenzregion durchgeführt, und Besuche bei sesshaftgewordene Arib Familien gemacht. Weitere Kontakte wurden zu viehhaltenden Nomaden der Arib auf dem Markt von Tagounite geknüpft. Eine weitere Untersuchung wurde an den sesshaft gewordenen Familien der Arib in dem Viertel Talate in Tagounite und in Blida begonnen.

Für die Weiterführung der Untersuchungen sollen die folgenden Punkte hervorgehoben werden: eine intensivere und stärkere Koordination zwischen den Teilnehmern von B4, eine bessere Zusammenarbeit

zwischen den Sozial- und Naturwissenschaften und eine bessere Integration der marokkanischen Professoren und Wissenschaftlern und ihren noch in der Ausbildung befindlichen Studierenden.

Nach dem Aufenthalt in Bilda zwischen Februar und April 2001 wurde klar, dass die Thematik der Wassernutzerverbände – und ihre Rolle und Funktion für die lokale Wasserverteilung - insbesondere in Blida keine Bedeutung hat, da diese Institution *de jure* zwar existiert, *de facto* aber keine Funktion erfüllt. So habe ich noch während des Aufenthalts die Schwerpunkte meiner Untersuchung auf die Wasserbeschaffung innerhalb des Dorfes gesetzt. Anhand von Leitfadeninterviews, persönlichen Gesprächen, teilnehmender Beobachtung und Ortung von Wasserstellen bzw. Zisternen wurde mir klar, dass die Wasserbeschaffung je nach Verwendungszweck, einerseits durch soziale Netzwerke [gebildet durch Freundschaft, Nachbarschaft, Vertrauen, Status (evt. Verwandtschaft)] und andererseits durch die Abwanderung von Dorfbewohnern, bedingt durch Wassermangel und Missernten, erlangt wird.

Daher werde ich bei weiteren Aufenthalten mein Augenmerk stärker auf die sozialen Netzwerke und auf das Zusammenleben von Gruppen unterschiedlichen Status richten, da diese weitestgehend den Zugang zum Wasser und die Formen der Wasserverteilung steuern. Weiterhin müssen gründliche ethnodemographische Daten erhoben werden da die demographischen Prozesse (bzw. der demographische Wandel) eine wesentliche Rolle, wenn nicht sogar die Hauptrolle in dem ökonomischen bzw. dem sozioökonomischen Aufstieg einzelner Haushalte und Gruppen spielt. Diese wiederum scheinen einen starken Einfluss auf den Modus der Wassernutzung und auf die Veränderung der „traditionellen“ Wassernutzungssysteme zu haben was als Ursache für die häufige Übernutzung der lokalen Wasserressourcen angesehen werden könnte.

Städtische und ländliche Wassernutzer in Ouarzazate

In der zweiten Projektphase wurden zwei dreimonatige Forschungsreisen in das Untersuchungsgebiet vom 27.02.01 bis 26.05.01 und vom 1.09.01 bis 15.12.01 zur Datenaufnahme und Feldforschung durchgeführt. Im ersten Feldforschungsaufenthalt konnten Übersichtsdaten zur Wasserversorgung, Basisliteratur, sowie Luftbilder und Kartenmaterial beschafft werden. Im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeit konnten darüber hinaus im zweiten Feldforschungsaufenthalt detailliertere Wasserverbrauchsdaten als Exceldateien von der zuständigen Wasserbehörde ONEP erworben werden⁶. Es wurden drei repräsentative Stadtteile (älterer Stadtteil *Tassoumaat*, altes Dorf *Tamassinte*, und Neubauviertel *Al-Wahda*) ausgewählt und insgesamt 160 halbstrukturierte Interviews⁷ mit den Bewohnern der Stadtviertel geführt, um einen klaren Überblick über die sozioökonomischen Verhältnisse und die Wasserversorgung in den Beispielstadtvierteln zu bekommen. Mit Prof. Aikiouch der Universität Beni Mellal wurde im Rahmen dieses Aufenthaltes vom 18.10.01 bis 19.10.01 eine Exkursion mit marokkanischen Hilfskräften durch das Stadtgebiet Ouarzazate unternommen, die sich als sehr ergebnisreich erwies⁸.

Nach Ablauf der zweiten Projektphase wurde aus den bisherigen Untersuchungen und den ausgewerteten und erhobenen Daten ersichtlich, dass in das Wassermanagement im Raum Ouarzazate verschiedene Institutionen und Behörden eingebunden sind, die alle eigene Aufgaben und Ziele verfolgen, die in den wenigsten Fällen den Prämissen einer tragfähigen Wassernutzung entsprechen. Zwischen den verschiedenen Akteuren und der Umwelt einerseits und Akteuren/Institutionen untereinander andererseits beste-

⁶ Und zwar Einzelverbrauchsdaten für die industriellen und administrativen Verbraucher sowie für die Beispielstadtviertel.

⁷ Ein Drittel der Interviews wurde von eingearbeiteten Hilfskräften, zwei Drittel vom Bearbeiter geführt.

⁸ Prof. Aikiouch hat in seiner Doktorarbeit über Ouarzazate gearbeitet, die auf arabisch vorliegende Arbeit wurde von den Hilfskräften ins Französische übersetzt.

hen vielfältige Konfliktpotentiale. So versucht beispielsweise die ONEP durch ihre Preispolitik die Verbraucher vordergründig zum Wassersparen zu bewegen⁹. Genauer betrachtet handelt es sich aber eher um eine Kostenumverteilung zu Lasten des Staates und ihr vorrangiges Ziel ist, möglichst viel Wasser zu verkaufen¹⁰.

Überdies ist deutlich geworden, dass die ländlichen und städtischen Wassernutzer im Raum Ouarzazate durch die Abwassernutzung zur Bewässerung stadtnah gelegener Felder miteinander vernetzt sind. Die Wasserversorgung der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Perimeter von Ouarzazate wird in der Regel durch einen kleinen Staudamm östlich von Ouarzazate bei Tifltoute gesichert. Von ihm laufen zwei Hauptbewässerungskanäle erster Ordnung (arab. Seguia) entlang des nördlichen und südlichen Ouedufers flussabwärts und versorgen die angrenzenden Felder der Dörfer. Die Verteilung des Wassers erfolgt nach den lokal gültigen Gewohnheitsrechten. Auf der nördlichen Seite am Stadtgebiet wird die Seguia jedoch nur bis zum Stadtteil Tassoumaat instandgehalten und benutzt, da für die Felder unterhalb die Abwässer der Stadtviertel direkt an drei Stellen in das Bewässerungssystem geleitet werden. Diese Praktik steht ohne Zweifel in Zusammenhang mit den Trockenperioden, und kann als Reaktion der Bauern auf die anhaltende Trockenheit und den damit verbundenen Wassermangel bewertet werden¹¹.

Weiterhin ist aus den Untersuchungen und Erhebungen offensichtlich geworden, dass im Raum Ouarzazate der Zugang zur öffentlichen Trinkwasserversorgung zwar überall gegeben ist, nach Qualität und Quantität doch z.T. erheblich variiert. Eine flächendeckende Trinkwasserversorgung ist nur in den modernen Stadtvierteln gegeben, in den traditionellen, dörflichen Stadtteilen (arab. Ksar, pl. Ksour) meist auf die Hauptstrassen beschränkt¹². Hier wird die Trinkwasserversorgung durch öffentliche Wasserstellen (arab. Zaqqayia, pl. Zaqqayiat) ergänzt, an denen das Wasser

⁹ Als Reaktion der städtischen Wassernutzer auf die regelmäßigen Wasserpreiserhöhungen der ONEP ist die vermehrte Eigenversorgung auf informellem Wege durch das Bohren von eigenen Brunnen (Hotels, Hammams, Administrationen) und die vermehrte Verwendung des kostenlosen Wassers der öffentlichen Wasserstellen zu beobachten (Haushalte).

¹⁰ Die industriellen Großverbraucher werden durch den günstigeren Wasserpreis für industrielle Verbraucher (6,49 DH, ungestaffelt) bevorzugt, so dass die relativ größten Kostenanteile nach Einführung der 4. Tranche (10,72 DH) zum Großteil von den administrativen Großverbrauchern, d.h. vom Staat selber getragen werden. Dies kommt einer Subvention der öffentlichen Wasserversorgung gleich.

¹¹ Nur in sehr Niederschlagsreichen Jahren steht den Unterliegern Bewässerungswasser aus der Seguia zur Verfügung. Es muss aber berücksichtigt werden, dass vor fünf Jahren der Versuch der ORMVAO scheiterte, den Bauern das vorher geklärte Abwasser zur Bewässerung zur Verfügung zu stellen, da sich mit ungeklärtem Wasser zweifellos höhere Erträge erwirtschaften lassen.

¹² Zum Einen erschwert die verwinkelte Lehmarchitektur die Verlegung der Wasserleitungen, zum Anderen fehlen den meist ärmeren Bewohnern häufig die finanziellen Mittel für einen eigenen Anschluss (6000-10000DH).

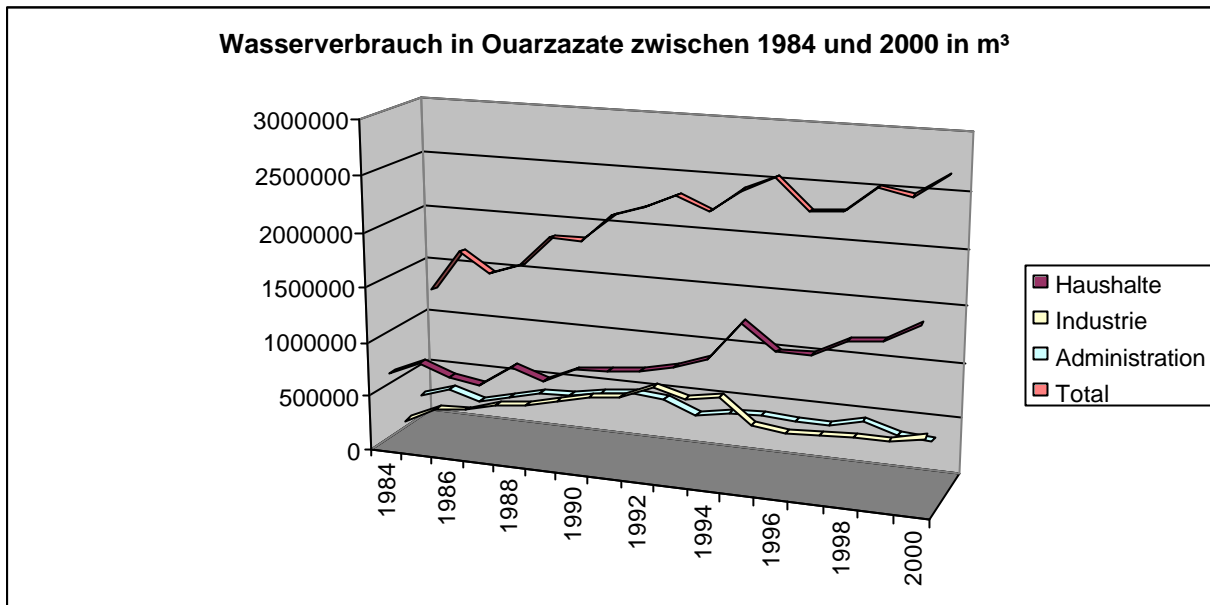


Abb. B4-1: Wasserverbrauchsentwicklung in Ouarzazate von 1984 bis 2000¹³ Quelle: ONEP

kostenlos zur Verfügung gestellt wird. In zwei am östlichen Stadtrand etwas erhöht gelegenen Stadtvierteln (Tamassinte und Fadragoum) gibt es erhebliche Probleme mit dem Wasserdruck und es kommt häufig zu Unterbrechungen der nördlichen Ouedseite seit 1997 mit Stauseewasser, welches besonders im Sommer stark chemisch aufgearbeitet werden muss, und daher eine deutlich mindere Trinkwasserqualität besitzt¹⁴.

¹³ Als einzelne Großverbraucher sind eindeutig die großen Hotels und Behörden zu identifizieren. Die zehn größten industriellen Einzelverbraucher (allesamt große Hotelanlagen) verbrauchen je 89% am gesamten industriellen Verbrauch (11% am Gesamtverbrauch) und die zehn größten administrativen Einzelverbraucher (große Behörden, Kasernen, Zentralgefängnis und Krankenhäuser) jeweils 61% am administrativen Wasserverbrauch (12% am Gesamtverbrauch).

¹⁴ Die Bewohner der Stadtteile am nördlichen Ouedufer, die über die nötigen finanziellen Mittel bzw. über die nötige Mobilität verfügen, versorgen sich mit Trinkwasser aus Brunnen und Quellen, bzw. von Verwandten und Bekannten auf der anderen Ouedseite und nutzen das Wasser der öffentlichen Versorgung nur als Brauchwasser.

Projektbereich C

Teilprojekt C2**IMPETUS-Messstationen in Benin und Marokko**

Im Jahr 2001 wurde der überwiegende Teil der im Rahmen von IMPETUS geplanten Messstationen in Benin und Marokko aufgebaut und in Betrieb genommen. Die folgenden Abbildungen und Tabellen geben einen Überblick über die Testsites in Benin und Marokko sowie über die Standorte der Messstationen von allen an den Messungen beteiligten Teilprojekten.

IMPETUS measurement sites in Benin and Morocco (as of January 2002)

In 2001, almost all of the planned IMPETUS surface and sub-surface measurements in Benin and Morocco have been installed and put into operation. The following table gives an overview about the measurements in Benin.

Sub-project	Instrument type	Parameter	Site	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Date of installation	Responsible scientist
A1	Pluviometer	Rainfall intensity, rainfall amount	IMPETUS-Dogué	1.92339	9.09278	15.01.02	A. Fink, fink@meteo.uni-koeln.de
	Pluviometer	Rainfall intensity, rainfall amount	Adjimon	2.02944	9.13092	16.01.02	
	Pluviometer	Rainfall intensity, rainfall amount	Kpaawa	2.05497	9.15517	16.01.02	
	Pluviometer	Rainfall intensity, rainfall amount	Bassila	1.67142	9.00778	17.01.02	
	Pyrradiometer	Global radiation, reflected radiation, incoming and outgoing longwave radiation	Parakou	2.61228	9.35672	03.10.01	
	Pyrradiometer		Cotonou	2.383	6.35	28.06.01	
	Anemometer	Wind speed, wind direction	Gaya (Niger)	11.8833	3.45	19.01.02	
A2	Weather station 1	Air temperature, air humidity, wind speed, wind direction, rainfall, air pressure, shortwave global radiation, radiation balance, soil temperature, soil heat flux	Aguima catchment	1.91017	9.12783	7/ 2001	S. Giertz sgiertz@uni-bonn.de
	Weather station 2		Mount CDG	1.90412	9.13156		
	4 erosion measurement parcels	Soil degradation	Vicinity of Dogué	1.92807	9.09622	4/ 2001	B. Junge junge@boden.uni-bonn.de
				1.94402	9.10534		
				1.94052	9.10268		
				1.97177	9.10431		
	21 TDR probes 15 TDR probes	Volumetric soil water content	Aguima catchment	Different sites		6/ 2001 10/ 2001	T. Faß thorsten.fass@uni-bonn.de
	SWS 1: TDR, tensiometer, suction cups	Volumetric soil water content, soil suction, soil water samples	Aguima: savannah	1.90740	9.12534	7/ 2001	S. Giertz sgiertz@uni-bonn.de
SWS 2: TDR, tensiometer, suction cups	Volumetric soil water content, soil suction, soil water samples	Aguima: Maize and cotton field	1.94321	9.10380	7/ 2001	T. Faß thorsten.fass@uni-bonn.de	
4 Water-level gauging stations	Water level	Aguima catchment	1.91240 1.92480 1.95962 1.94816	9.13090 9.13482 9.12775 9.10600	7/ 2001	S. Giertz sgiertz@uni-bonn.de	
A3	Weather station 3	Same as weather stations 1-2, plus incoming, outgoing longwave, and photosynthetically active radiation	Dogué, maize and cotton field	1.94336	9.10381	13.04.01	J. Burkhardt j.burkhardt@uni-bonn.de

Plants sap flow gauge	Water consumption of a plant or of parts of a plant	Dogué	1.94336	9.10381	20.04.01
-----------------------	---	-------	---------	---------	----------

Figure C2-1: IMPETUS supplemental meteorological observations (stations indicated in magenta) in the Upper Oueme valley (bold brown line in central Benin) and at synoptic stations in Benin and Niger. At the Beninese and Nigrian synoptic stations indicated in black, additional standard observations will be collected during the IMPETUS radiosonde campaign between May and September 2002. Such observations are not distributed via GTS.

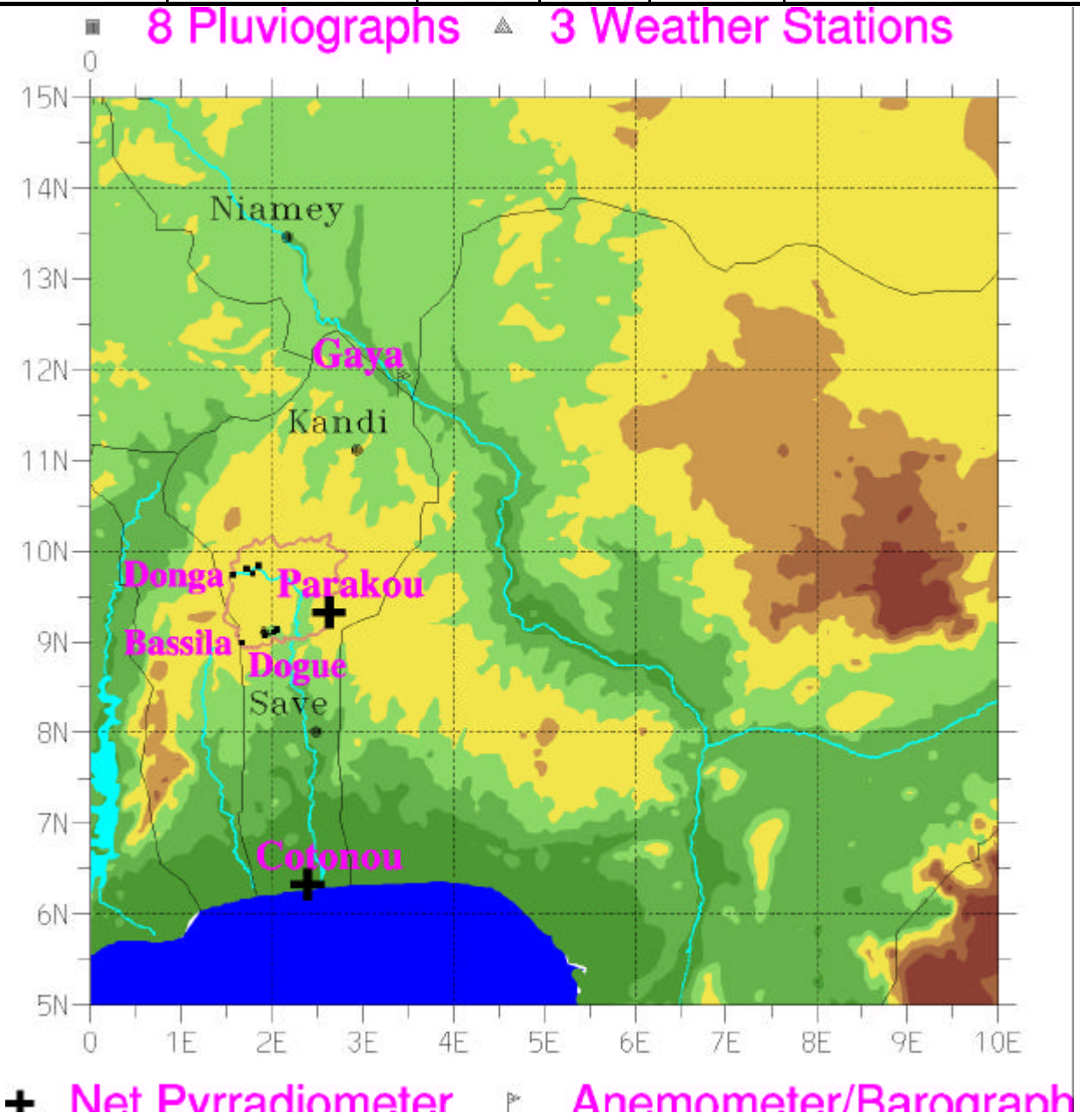


Figure C2-2 displays the locations of the IMPETUS measurement sites and additionally all other hydro-meteorological sites maintained by the following institutions:

?? **Direction Météorologique Nationale (DMN, Benin)**

?? **Direction de l'Hydraulique (DH, Benin)**

?? **Institut de Recherche pour le Développement (IRD, France)**

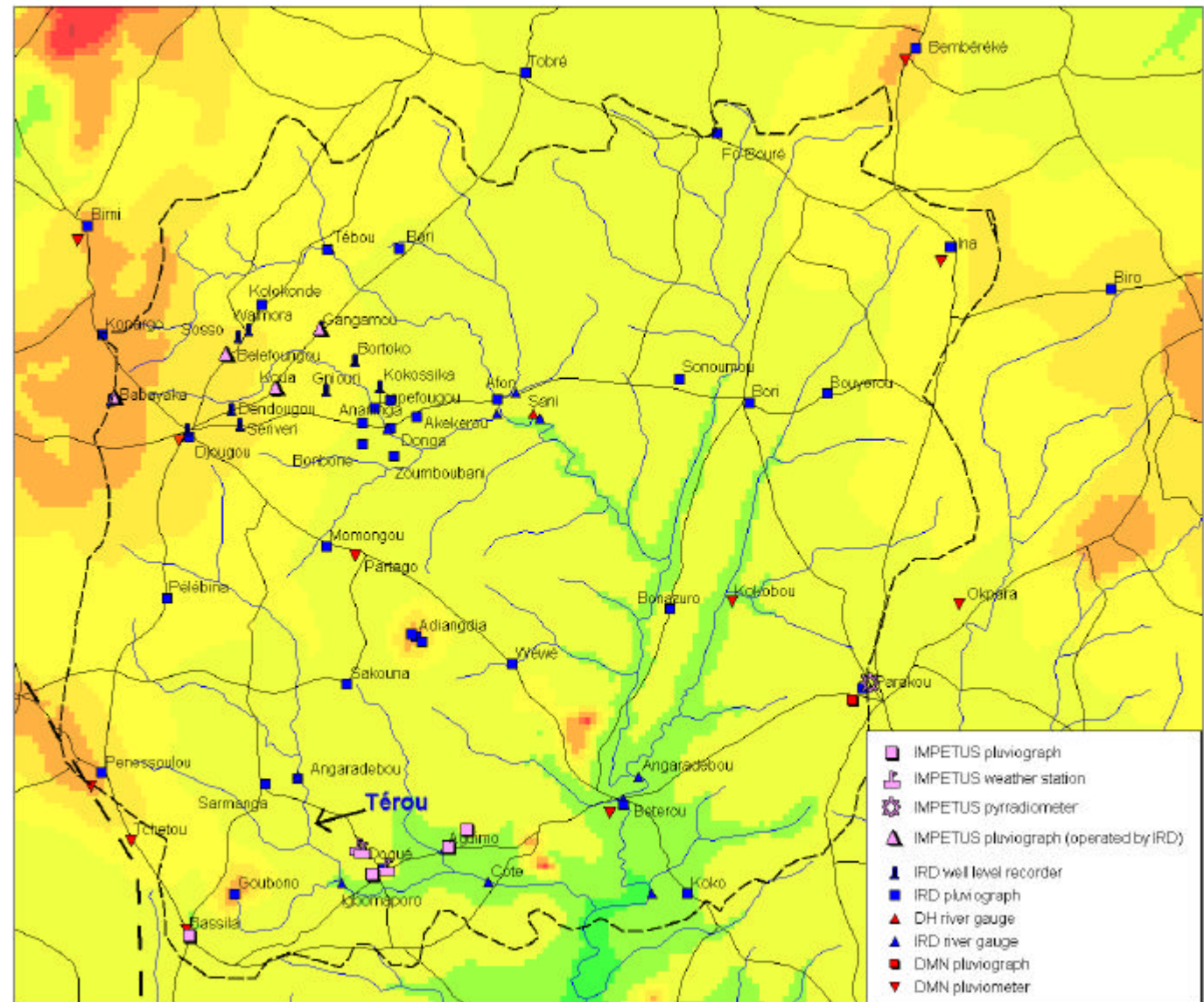


Figure C2-2: Hydro-meteorological observation network in the upper Oueme valley (Central Benin).

Figure C2-3 illustrates the hydro-meteorological observation network of subproject A2 in the catchment area of the Aguima river.

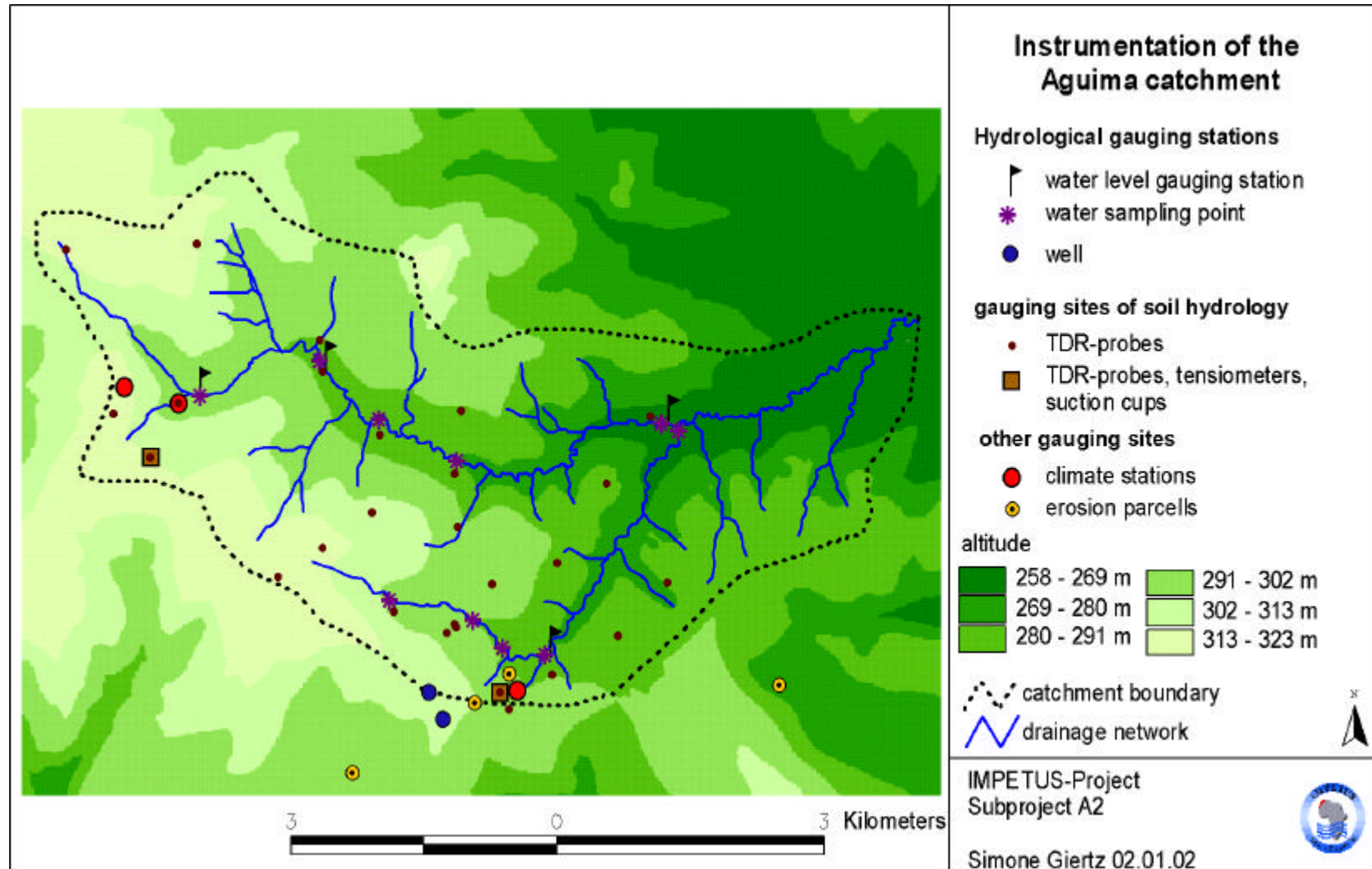


Fig. C2-3: Installed instruments of sub-project A2 in the Aguima river catchment area.

The following table gives an overview about the measurements in Morocco:

Sub-project	Instrument type	Parameter	Site	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Height ab. MSL	Date of installation	Responsible scientist
B2	Water-level gauging stations	Water level	Arguioûn	-6.31670	30.65000	1020	11.01.01	B. Weber benedikt.weber@uni-bonn.de
	Water-level gauging stations		Jebel Hssain	-5.62867	29.93670	725	11.01.01	
	Water-level gauging stations		Bou Skour	-6.33983	30.95167	1420	11.01.01	
	Water-level gauging stations		El Miyit	-5.62900	30.36367	792	11.01.01	
	Weather station 1	Air temperature, air humidity, dewpoint, wind speed, wind direction, rain gauge, air pressure (station 3, 9), shortwave global radiation, reflected radiation (stations 3, 4, 5, 6, 7 and 10), net radiation (except station 11), soil temperature, soil moisture (stations 3, 5, 6, 7), soil heat flux (stations 3, 4, 5, 6, 7 and 10), snow height (stations 8-11), TDR soil moisture (stations 3, 4, 5 and 7)	Lac Iriki	-6.34903	29.97308	445	18.10.01	M. Gumpert gumpert@giub.uni-bonn.de
	Weather station 2		Jebel Hssain	-5.62867	29.93670	725	09.04.01	
	Weather station 3		El Miyit	-5.62900	30.36367	792	16.11.00	O. Schulz o.schulz@giub.uni-bonn.de
	Weather station 4		Arguioûn	-6.31670	30.65000	1020	09.04.01	
	Weather station 5		Bou Skour	-6.33983	30.95167	1420	23.10.01	
	Weather station 6		Trab Labied	-6.57850	31.17100	1383	09.04.01	
	Weather station 7		Taoujgalt	-6.32203	31.38994	1900	21.10.01	
	Weather station 8		Imeskar	-6.24755	31.50145	2245	04.04.01	
	Weather station 9		Tichki	-6.30287	31.53744	3165	03.04.01	
	Weather station 10		M' Goun	-6.45102	31.50225	3900	08.10.01	
	Weather station 11		Tizi-n-Tounza	-6.29695	31.56927	2960	18.10.01	
	B3	Thermometer, Hygrometer	Air humidity, leaf temperature	Drâa Valley	Different sites			Aug. 2001
Photosynthesis gauge		Transpiration, CO ₂ -concentration, PAR	Drâa Valley	Different sites			Sept. 2001	
Weather station		Air temperature, air humidity, wind speed, wind direction, rain gauge, net radiation, PAR, soil heat flux	Oasis near Zagora	-5.85	30.33	700	20.09.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Lac Iriki	-6.34903	29.97308	445	17.04.01	M. Finckh mfinckh@botanik.uni-hamburg.de
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Jebel Hssain	-5.62867	29.93670	725	24.04.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	El Miyit	-5.62900	30.36367	792	25.04.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Bou Irhrem	-6.31670	30.65000	1020	28.04.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Bou Skour	-6.33983	30.95167	1420	10.04.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Trab Labied	-6.57850	31.17100	1383	07.04.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Taoujgalt	-6.32203	31.38994	1900	25.10.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Imeskar	-6.24755	31.50145	2245	12.05.01	
Permanent monitoring plots		Vegetation dynamics	Tichki	-6.30287	31.53744	3165	10.05.01	
Permanent monitoring plots	Vegetation dynamics	Tizi-n-Tounza	-6.29695	31.56927	2960	01.11.01		

Figure C2-4 displays the locations of the IMPETUS measurement sites in the Drâa catchment in Morocco:

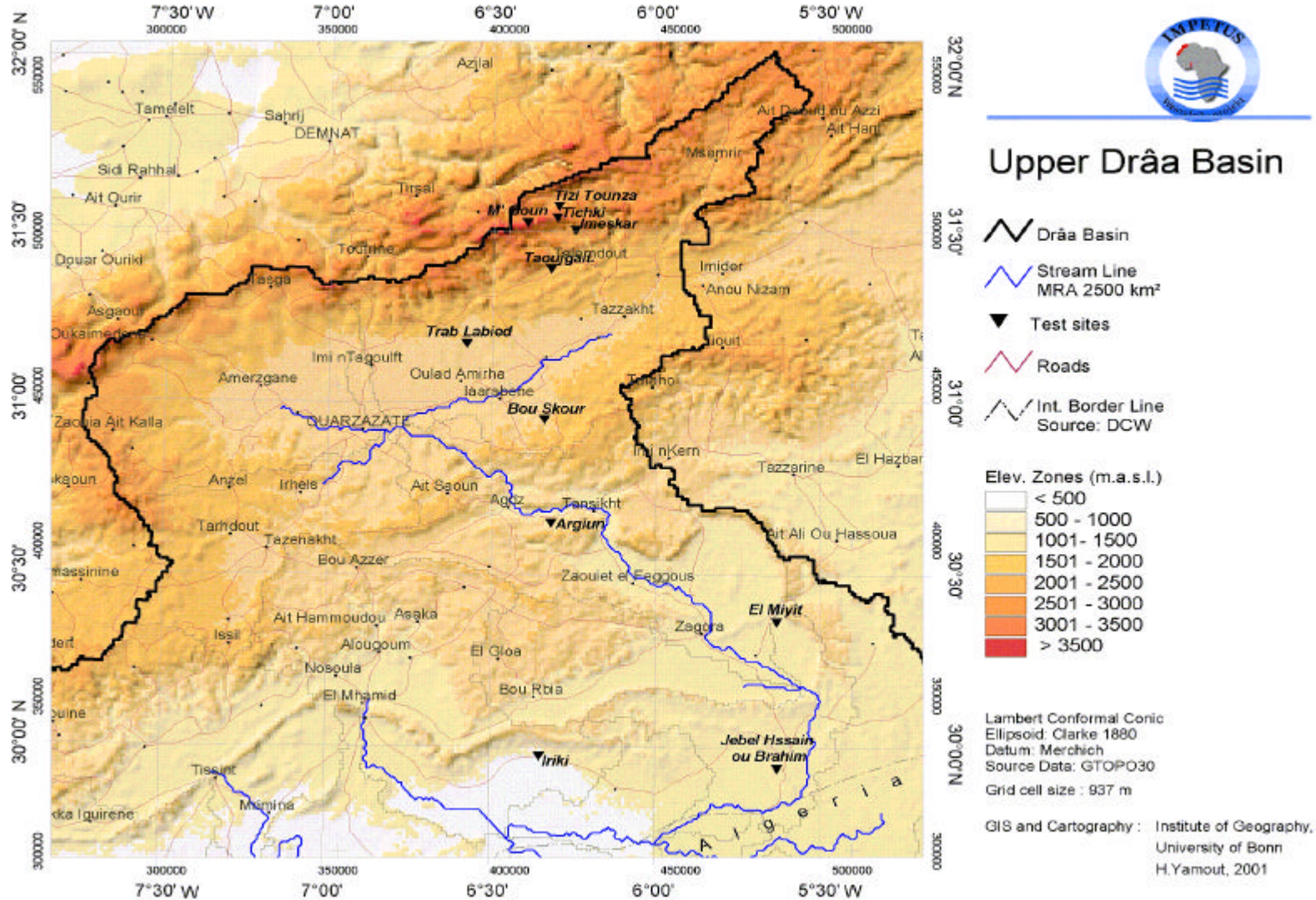


Fig. C2-4: *Locations of the IMPETUS measuring sites in the Drâa catchment*

Teilprojekt C3

Atmosphärische Zirkulationsmodelle - Simulation der Niederschlagsvariabilität in Westafrika

Antragsteller:	Fach
Dr. Mojib Latif Max Planck Institut Hamburg	Meteorologie

In diesem Teilprojekt wurde der Einfluss der Meeresoberflächentemperatur (SST) und der Vegetation auf den Niederschlag in Westafrika mit Hilfe des globalen Atmosphärenmodells „ECHAM4.x“ untersucht. Das Modell besitzt vertikal eine Auflösung von 19 Schichten und ist mit der horizontalen Standardauflösung T42 (ca. 2.8° × 2.8°) für die Simulationen betrieben worden. Die durchgeführten Experimente lassen sich in drei „Klassen“ einteilen:

- ?? Auswertung von Experimenten mit beobachteter SST und Meereiskonzentration (SIC)
- ?? Durchführung von Sensitivitätsexperimenten mit idealisierten Meeresoberflächentemperaturanomalien (SSTA) in verschiedenen Regionen
- ?? Untersuchung des Einflusses der Vegetation auf den Niederschlag (Koppelung von ECHAM mit einem dynamischen Vegetationsmodell)

Bei den Experimenten der ersten „Klasse“ gingen als Randbedingungen die beobachteten, zeitabhängigen SST's und SIC's der Jahre 1979 bis 1995 ein, die aus dem AMIP2-Projekt vorlagen. Es wurde ein Ensemble von zehn Simulationen ausgewertet. Jede der zehn Simulationen wurde durch die gleiche beobachtete SST und SIC angetrieben. Die Simulationen unterschieden sich nur durch die unterschiedliche Initialisierung.

Die Initialisierung übt Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse aus (interne Varianz, Rauschen des Modells). Man möchte jedoch den Einfluss der zeitlich variierenden Randbedingungen auf die Modellergebnisse ermitteln (externe Varianz, Signal (Forcing)). Aus diesem Grund ist ein Ensemble von Läufen notwendig. Durch Mittelung der Ergebnisse der einzelnen Ensembleläufe kann man das Signal (erzeugt durch SST und SIC) vom Rauschen (Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen) trennen.

Es wurde auf interannualer Zeitskala untersucht, ob die zeitabhängigen Randbedingungen (beobachtete SST und SIC) einen signifikanten Einfluss auf den Sommerniederschlag von Juni-August (JJA) im Modell ausüben, oder ob das Signal (externe Varianz) im Rauschen des Modells (interne Varianz) untergeht. Dazu wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Der größte Einfluss der beobachteten SST ist im tropischen Bereich. Für fast ganz Westafrika ergab sich eine signifikante Abhängigkeit von den Randbedingungen. Diese hatten einen sehr großen Einfluss im Bereich von Guinea-Küste (ca. 60 -

70% erklärte Varianz). Im Bereich der West-Sahel besaß die erklärte Varianz einen Wert um 35% , nach Osten hin abnehmend auf 10 - 20% - dies war aber immer noch signifikant.

Der Sommerniederschlag (JJA) von 1979-1995 im Bereich von Guinea-Küste wurde im Modell gut wiedergegeben. Das Ensemblemittel aus den zehn Simulationen stimmte mit den beobachteten Werten recht gut überein - im Mittel wurde der Niederschlag leicht unterschätzt. Die interannualen Schwankungen wurden weitgehend wiedergegeben; es bestand eine signifikante Korrelation von 0.55 zwischen dem beobachteten Sommerniederschlag und dem Ensemblemittel. Dagegen wurde der JJA-Niederschlag in der Sahel-Region im Ensemblemittel gegenüber der Beobachtung deutlich überschätzt und auch die interannualen Schwankungen wurden nicht wiedergegeben. Zusätzlich wurden noch weitere Läufe ausgewertet, um den Einfluss der einzelnen Ozeane auf den Sommerniederschlag an der Küste von Guinea zu ermitteln. Dazu wurden die Jahre 1983 und 1984 ausgewählt. Das Jahr 1983 war in Guinea-Küste durch wenig Niederschlag im Sommer gekennzeichnet, wohingegen 1984 in dieser Region mehr Niederschlag fiel als im Mittel von 1979-1995. Dies wurde auch in den Simulationen wiedergegeben, die mit globaler beobachteter SST angetrieben wurden. Die weiteren Simulationen unterschieden sich dadurch, dass ab Mai nur noch in einem Ozean z.B. im Atlantik beobachtete SST und in den übrigen Ozeanen klimatologische SST verwendet wurde. Dies wurde für alle drei Ozeane durchgeführt. Zusätzlich wurde noch ein Lauf mit klimatologischer SST in allen Ozeanen gerechnet. Es zeigte sich, dass nur der Lauf mit beobachteter SST im Atlantik einen signifikanten Unterschied zwischen dem trockenen Jahr 1983 und dem feuchten 1984 reproduzieren konnte. In den anderen Läufen war der Unterschied im Sommerniederschlag zwischen den beiden Jahren nicht signifikant. Diese Experimente zeigten, dass die instantane SST im Atlantik die entscheidende Rolle für den Niederschlag in Guinea-Küste spielte.

In der zweiten Klasse von Experimenten wurden klimatologische SST's verwendet, d.h. in jedem Jahr wurde das Modell durch die gleiche Randbedingung angetrieben. Zusätzlich wurde in bestimmten Meeresregionen die klimatologische SST um ein Grad erhöht bzw. erniedrigt, um den Einfluss der SST in dieser Ozeanregion auf den Niederschlag in Westafrika zu untersuchen. Insgesamt wurden zwölf Sensitivitätsläufe durchgeführt und zwei bestehende Läufe ausgewertet. In folgenden Regionen wurde dabei die klimatologische SST um ein Grad erhöht bzw. erniedrigt: im östlichen tropischen Atlantik, vor Grönland, im gesamten Nordatlantik, vor der Westküste Afrikas (siehe Abb. C3-1) und vor der Küste Namibias. Zusätzlich wurde ein Dipol und ein Monopol „konstruiert“. Hierfür wurden zwei Regionen ausgewählt: die Küste vor Westafrika und vor Namibia. Dipol bedeutet dabei, dass in beiden Regionen die SST um ein Grad verändert wurde, aber mit unterschiedlichem Vorzeichen. Beim Monopol waren die SSTA's in beiden Regionen äquivalent. Die Änderung der SST im östlichen tropischen Atlantik hatte nur signifikante Auswirkungen in Westafrika an der Küste von Guinea. Dabei verursachte eine Meeresoberflächentemperaturerhöhung eine Zunahme des Niederschlags und eine Erniedrigung der SST eine Abnahme des Niederschlages an der Küste von Guinea. Dabei waren die Auswirkungen der SST Anomalien im östlichen tropischen Atlantik annähernd linear: in denselben Regionen fand eine signifikante Änderung des Niederschlags statt und auch die quantitative Veränderung war in etwa gleich nur mit unterschiedlichen Vorzeichen. Die Änderungen hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Sommerniederschlag in der Sahelregion.

Precipitation JJA (mm/month)

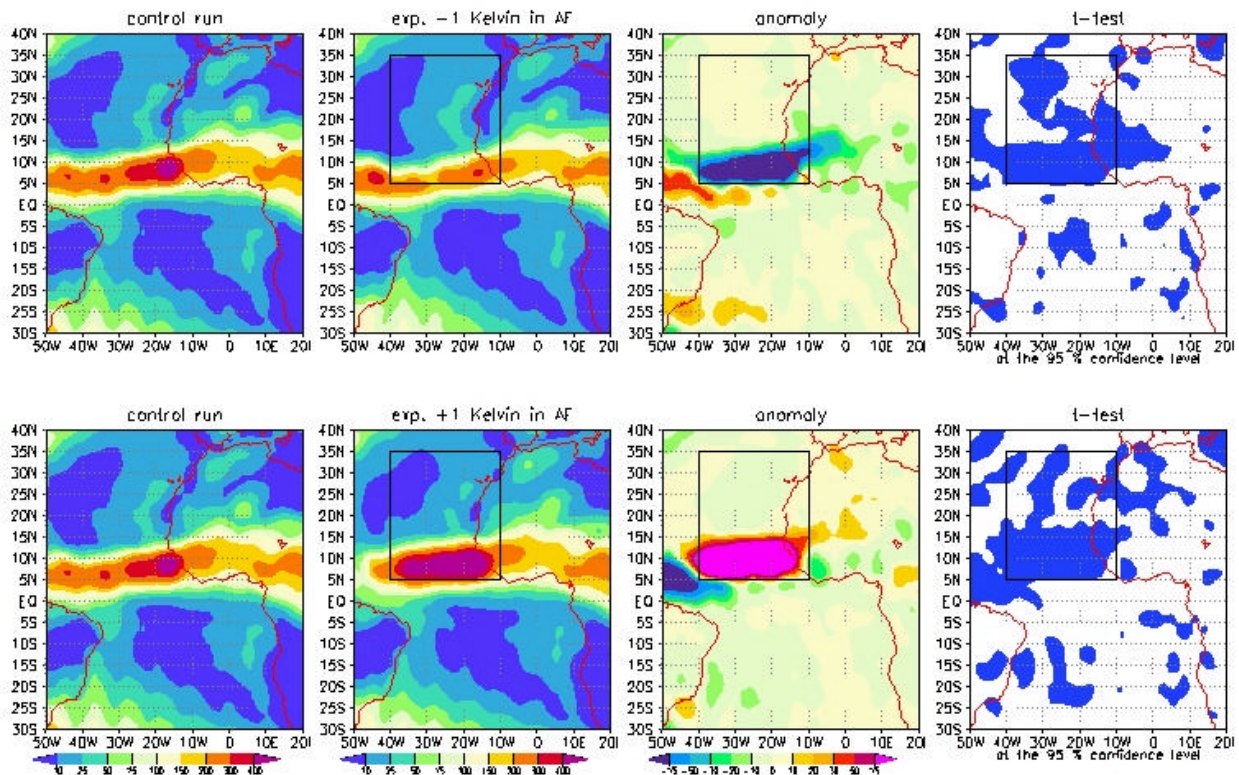


Abb. C3-1: Links ist das Kontroll-Experiment - angetrieben mit klimatologischer SST - dargestellt. In der zweiten Spalte sind die beiden Sensitivitätsexperimente mit SSTA's vor Westafrika als Beispiel aufgeführt. Die Box kennzeichnet das Gebiet, in dem die klimatologische SST um ein Grad erniedrigt wurde (oberes Bild) bzw. um ein Grad erhöht wurde (untere Abbildung). In der dritten Spalte sind die Anomalien (Sensitivitätsexperiment - Kontroll-Lauf) dargestellt. In der letzten Spalte sind die Gebiete mit signifikanten Veränderungen farblich hervorgehoben.

Die durchgeführten Sensitivitätsexperimente bzgl. SSTA's in den anderen aufgeführten Meeresregionen bewirkten teilweise signifikante Veränderungen des Niederschlags in Westafrika, speziell in der Sahelregion. Erstaunlicherweise war dieser Einfluss bzgl. positiver und negativer SSTA nicht linear - nur negative Meeresoberflächenanomalien führten zu einer signifikanten Abnahme des Niederschlags in der Sahelregion, wogegen positive SSTA's nicht zu einer signifikanten Zunahme des Niederschlags in der Region führten. Auch war der Einfluss der SSTA's in verschiedenen Meeresregionen nicht additiv bzgl. der Auswirkungen auf den Niederschlag. Diese Nicht-Linearität von negativer und positiver SSTA auf den Niederschlag in Westafrika wird in der Abb. C3-1 und C3-2 verdeutlicht.

Precipitation JJA Sahel (mm/month)

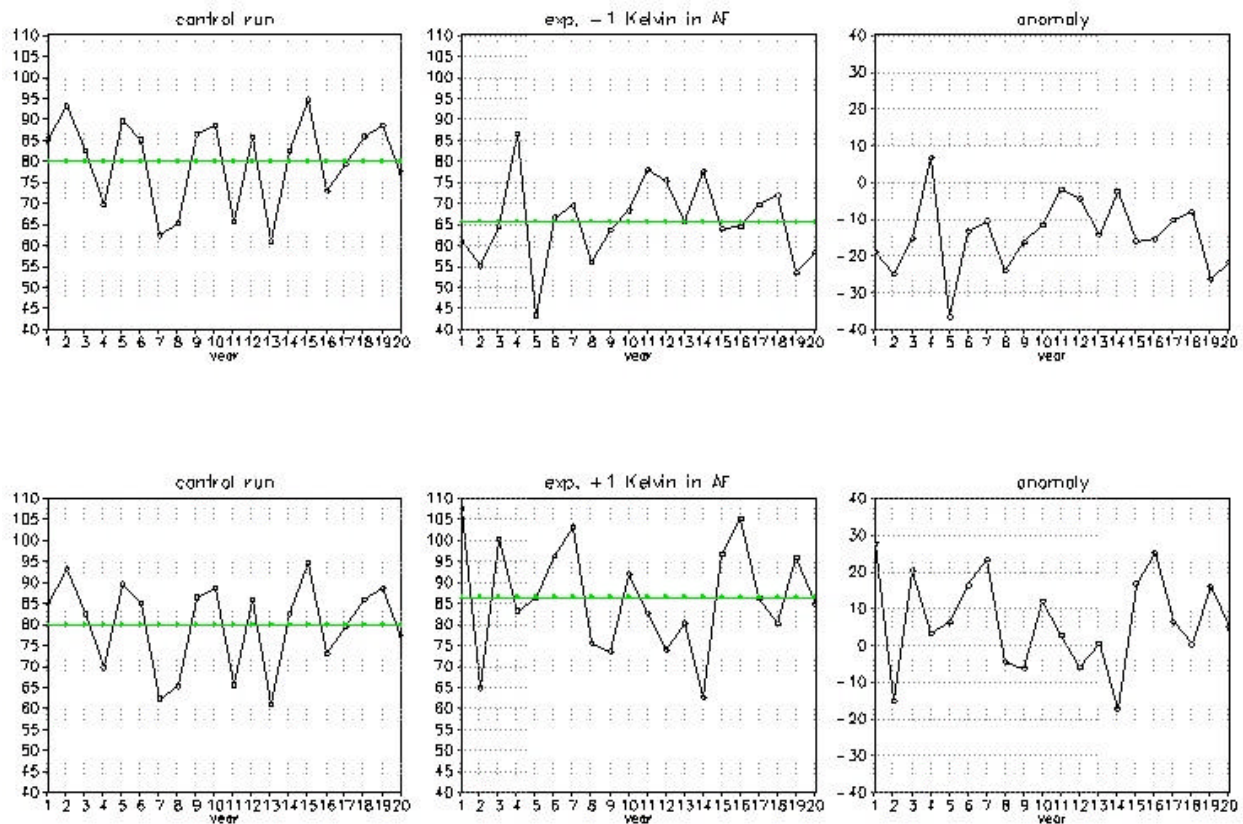


Abb. C3-2: Links: Zeitreihe des Sahelniederschlags (Gebietsmittel) im Kontrollexperiment; in der Mitte der Sensitivitätsläufe für SSTA vor Westafrika (oben negative SSTA; unten positive SSTA); grüne Linie ist jeweils der Mittelwert der Zeitreihen; rechts Anomalien der Niederschlagszeitreihen.

In der dritten Klasse von Experimenten wurde der Einfluss der Vegetation auf den Niederschlag untersucht. Da das Standard ECHAM-Modell nur mit einem zeitlich konstanten LAI und Vegetationsanteil arbeitet, wurde das Modell mit einem einfachen dynamischen Vegetationsmodell gekoppelt, in dem diese Größen zeitlich und räumlich variabel sind. In dem Modell wird der Einfluss dieser Größen auf die Evapotranspiration und die Albedo berücksichtigt. Es wurden mit dem gekoppelten Modell vier Simulationen durchgeführt, die mit beobachteter SST von 1945-1998 angetrieben wurden. Die Ergebnisse bzgl. des Niederschlags wurden mit Beobachtungen und dem Standard ECHAM-Modell ohne dynamische Vegetation verglichen. Es zeigte sich, dass das Standardmodell - angetrieben mit dergleichen beobachteten SST wie das gekoppelte Modell - den dekadischen Verlauf der Niederschlagsanomalien in der Sahelregion wiederspiegelt, jedoch die Amplituden viel zu klein sind. Das gekoppelte Modell war nicht nur in der Lage, den Trend der Niederschlagsanomalien wiederzugeben, sondern auch deren Amplituden wesentlich besser zu simulieren. Die dynamische Vegetation wirkte hierbei wie ein Verstärker, der die Anomalien, die durch die beobachtete SST verursacht wurden, vergrößert.