



**IMPETUS**  
**Westafrika**

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

*Fallstudien für ausgewählte Flusseinzugsgebiete*  
*in unterschiedlichen Klimazonen*

**Siebter Zwischenbericht**

**Zeitraum: 1.1.2006 - 31.12.2006**

Ein interdisziplinäres Projekt der Universität zu Köln und der Universität Bonn

01. April 2007



**Koordinierende Institutionen**

Universität zu Köln Institut für Geophysik und Meteorologie <b><u>HD. Dr. habil A. Fink (Sprecher)</u></b> Kerpener Str. 13 D-50923 Köln	Universität Bonn Geologisches Institut <b><u>Prof. Dr. B. Reichert (Stellv. Sprecher)</u></b> Nussallee 166 D-53115 Bonn
Tel.: 0221-470 3819 / Fax: 0221-470 5161 E-Mail: andreas.fink@uni-koeln.de	Tel.: 0228-73 2490 / Fax: 0228-73 9037 E-Mail: b.reichert@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**

**Inhaltsverzeichnis**

	<u>Seite</u>
<b>I Zusammenfassung</b>	1
<b>II Spatial Decision Support Systems (SDSS)</b>	7
<b>II.1 Entwicklung des IMPETUS SDSS Frameworks</b>	7
<b>II.2 Entwicklung der SDSS</b>	11
<b>II.3 Datenbanken</b>	18
<b>II.4 Internet</b>	19
<b>III Stand der Problemkomplexe</b>	23
<b>III.1 Benin und seine Themenbereiche</b>	23
<b>III.1.1 Ernährungssicherung</b>	23
<b>PK Be-E.1</b> Landnutzung und Versorgungssicherung bei Ressourcenknappheit und Niederschlagsvariabilität in Benin	23
<b>PK Be-E.2</b> Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, Klimaveränderungen und Pflanzenmanagement auf Bodendegradation und Ernteertrag im oberen Ouémé-Einzugsgebiet	31
<b>PK Be-E.3</b> Saisonale und langfristige Niederschlagsvorhersage in Benin und Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft	42
<b>PK Be-E.4</b> Ausweisung von geeigneten Standorten und nachhaltiges Management von Kleinstauseen für die Landwirtschaft	52
<b>PK Be-E.5</b> Land- und Wasserbedarf der Nutztierhaltung in Benin	63
<b>PK Be-E.6</b> Erhaltung der natürlichen Produktionsgrundlagen unter Berücksichtigung des globalen Wandels	71
<b>PK Be-E.7</b> Nutzungspotenzial von Inland-Valleys im Oberen Ouémé Einzugsgebiet	80
<b>III.1.2 Hydrologie</b>	95
<b>PK Be-H.1</b> Wasserverfügbarkeit und Wasserverbrauch im oberen Ouémé	96
<b>PK Be-H.2</b> Wassernachfrage der Sektoren (Haushalt, Industrie und Landwirtschaft) unter Berücksichtigung möglicher Wasserkonflikte	111
<b>PK Be-H.3</b> Satellitenbasiertes Niederschlags-Monitoring System für Anwendung in der Landwirtschaft und der Abflussvorhersage	119
<b>III.1.3 Landnutzung</b>	129
<b>PK Be-L.1</b> Landnutzung und Landbedeckungsänderungen im Ouémé-Einzugsgebiet: Erfassung, Ursachen, Prognosen, Maßnahmen	129
<b>PK Be-L.3</b> Einfluss der Landnutzungsänderung in den drei Untersuchungsregionen auf das zukünftige Niederschlagsverhalten	140
<b>PK Be-L.4</b> Ökovolumendynamik und Anpassung des Anbausystems an die Klimaänderung im Ouémé-Einzugsgebiet	149
<b>PK Be-L.5</b> Nachhaltiges Feuermanagement für Ressourcenschutz mit Fernerkundung und GIS	159

<b>III.1.4 Gesellschaft und Gesundheit</b>	171
PK Be-G.1 Demographische Projektionen für das Ouémé-Einzugsgebiet	172
PK Be-G.2 Wassermanagement und institutioneller Wandel	175
PK Be-G.3 Wasser und Existenzsicherung	182
PK Be-G.4 Risikoabschätzung bezüglich des Auftretens von Malaria- und Meningitis-Erkrankungen in Westafrika unter dem Einfluss des heutigen und eines modifizierten zukünftigen Klimas	190
PK Be-G.5 Bakteriologische und virologische Belastung von Trinkwasserquellen im oberen Ouémé Einzugsgebiet	201
<b>III.2 Marokko und seine Themenbereiche</b>	207
<b>III.2.1 Existenzsicherung</b>	207
PK Ma-E.1 Ökonomische Aspekte des Wassermanagements im Einzugsgebiet des Drâa	207
PK Ma-E.2 Landwirtschaftliche Anbaustrategien in den Drâa-Oasen bei Wasserknappheit	216
PK Ma-E.3 Tourismus: Integration eines neuen Wirtschaftsbereichs bei knappen Ressourcen in den Schwerpunktregionen Ouarzazate, Dadestal und Zagora-M'Hamid	226
<b>III.2.2 Hydrologie</b>	237
PK Ma-H.1 Natürliche und anthropogene Einflüsse auf die Dynamik von Wasserressourcen im Drâa-Einzugsgebiet	239
PK Ma-H.2 Wechselwirkungen zwischen Wassernutzungsstrategien und den Grundwasser- und Bodenverhältnissen im mittleren Drâa-Tal	248
PK Ma-H.3 Saisonale Abflussprognosen aus der Schneeschmelze für das Management des Mansour Eddahbi Stausees	259
PK Ma-H.4 Interannuelle Niederschlagsvariabilität und Wassermanagement	267
PK Ma-H.5 Auswirkung von Klimawandel und veränderter Wassernutzung auf den Niederschlag und die Verdunstung	275
<b>III.2.3 Landnutzung</b>	285
PK Ma-L.1 Strategien der Landnutzung unter limitierten Wasserressourcen im Zentralen Hohen Atlas	285
PK Ma-L.2 Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimawandel auf die Resilienz und Regenerationsfähigkeit der Vegetation in Südmarokko	300
PK Ma-L.3 Risiken und Gefahren durch extreme Niederschläge: Überflutungen und Bodenerosion im Drâatal	312
<b>III.2.4 Gesellschaft</b>	325
PK Ma-G.1 Bevölkerungsdynamik im Einzugsgebiet des Drâa	325
PK Ma-G.2 Wasser- und Weidenutzung im Spannungsfeld zwischen traditionellen Entscheidungsprozessen und staatlichen Institutionen	335



## I Zusammenfassung

Seit Beginn der dritten Projektphase liegt das Hauptaugenmerk von IMPETUS auf der Entwicklung und Implementierung von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (*Spatial Decision Support Systems = SDSS*) vor Ort. Diese in der Regel Computer-basierten Systeme gewährleisten Entscheidungsträgern (*Stakeholder*) Entscheidungsunterstützungen und Handlungsoptionen für verschiedene Aspekte des Süßwasser-Managements. Die Planung der SDSS konnte im Berichtszeitraum entscheidend vorangetrieben werden. Bei den durch IMPETUS bereitzustellenden Werkzeugen kann es sich im Einzelfall auch um ein Informationssystem (IS) oder ein Monitoring Tool (MT) handeln, welches einen interaktiven Eingriff nicht erlaubt bzw. im letzteren Fall ein reines Echtzeit-Überwachungssystem darstellt. Entsprechend der im Projektantrag zur 3. Phase in Kapitel III definierten Rahmenbedingungen wurden die verschiedenen SDSS/ IS / MT zentral konzipiert und in das IMPETUS SDSS *framework* eingebettet. Mit Vertretern aus Politik, staatlichen Behörden sowie Nicht-Regierungsorganisationen wurden zahlreiche Gespräche geführt, um die Vorgehensweise bei der operationellen Umsetzung abzustimmen. Parallel dazu fanden zweimal im Jahr Sitzungen des Steuerungsgremiums vor Ort (*Comité de Pilotage*) statt, die ebenfalls der Information und Absprache mit Stakeholdern dienen. Eine detaillierte Planung bezüglich des Fortgangs der Arbeiten zu den SDSS mit Meilensteinen und dem dazugehörigen *Capacity Building* wurde für jeden PK erstellt und in einer sog. *Roadmap* zusammengefasst. Diese wird im Frühjahr 2007 öffentlich im Internet abrufbar sein und laufend dort aktualisiert werden. Neben der Entwicklung von SDSS wurden im vergangenen Jahr auch die Arbeiten an der IMPETUS Projektdatenbank und einer kompletten Überarbeitung des Internetauftritts weiter vorangetrieben. In den einzelnen Problemkomplexen wurden folgende herausragenden Fortschritte erzielt:

Die im Themenbereich „*Ernährungssicherung*“ zusammengefassten PKs (Be-E.1 bis Be-E.7) befassen sich vordringlich mit den ökonomischen und ökologischen Voraussetzungen der Nahrungsmittelproduktion in Benin. Schwerpunkt der Arbeiten im **PK Be-E.1** war die Weiterentwicklung des Agrarsektormodells BenIMPACT. Als Hauptergebnis können die Erstellung einer konsistenten regionalen Datenbank, auf deren Grundlage das Modell kalibriert wird, sowie Konzeption und Programmierung des eigentlichen Optimierungsmodells genannt werden. **PK Be-E.2** zeigte, dass die höchsten absoluten Zunahmen des Sedimentaustrages sich im östlichen Teil des HVO im Umkreis von Parakou befinden. Insgesamt führt der Zuwachs an Ackerflächen um ca. 50% im gesamten HVO zu einer mittleren Steigerung des Oberflächenabflusses um 10% sowie des Sedimentaustrages um 25%. Auf Basis der in **PK Be-E.3** durchgeführten langfristigen Klimasimulationen mit REMO bis 2050 zeichnet sich eine Verschlechterung der ackerbaulichen Verhältnisse in Benin für die Zukunft ab. Die Jahresniederschlagssumme wird deutlich zurückgehen, die Anzahl der Regentage wird abnehmen. Der Nutzwert von Kleinstauseen ist in hohem Maße abhängig von der verfügbaren Wassermenge pro Stauhöhe und der zeitlichen Verfügbarkeit des Wassers. Im **PK Be-E.4** werden diese Parameter mit dem Modul SYMBA-KLIMA abgeschätzt und unter Einbeziehung von Szenarien auch deren zukünftige Entwicklung. Im Jahre 2006 standen die Implementierung der Wirkungszusammenhänge und die Programmierung der Schnittstellen im Vordergrund. Die im **PK Be-E.5** gegen Ende der 2. Phase begonnene Implementierung des Tierhaltungssektors in das agrarökonomische Modell BenIMPACT wurde im Berichtszeitraum verstärkt weitergeführt. Das Modell verfügt nun über ein Tierhaltungsmodul, das eng an das bisher bestehende Pflanzenproduktionsmodul angelehnt wurde. Zusätzlich wurden verschiedenste Methoden angewendet, um konsistente Entwicklungsmöglich-

keiten zu ermitteln, die für die Szenarienausgestaltung benötigt werden. Die Erhaltung und nachhaltige Nutzung agrarischer Produktionsstandorte ist von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der aktuellen und zukünftigen Ernährungssicherung. Die Einbeziehung marginaler Standorte kann einen wichtigen Beitrag zur Ernährungssicherung liefern. Die Arbeitsschwerpunkte von **PK Be-E.6** lagen 2006 auf der Weiterentwicklung der Eingabeparameter für den Marginalitätsindex in der räumlichen Auflösung von 1 km, auf der Verbesserung der Ergebnisse zur aktuellen Degradation der Vegetation, der ersten Realisierung des SDSS sowie auf der Einbeziehung von Klimaszenarien. Eine Ausweitung der Agrarproduktion in die bisher nur wenig genutzten *Inland-Valleys* könnte ebenfalls einen Beitrag zur zukünftigen Ernährungssicherung darstellen (**PK-Be-E.7**). Um eine zuverlässige Datengrundlage der verfügbaren Flächen und ihrer für eine Nutzung relevanten Eigenschaften zu bekommen, wurde in 2006 in Zusammenarbeit mit der „*Cellule Bas-Fonds*“ eine Inventarisierungskampagne durchgeführt. Die Ergebnisse der GIS-Analyse wurden genutzt, um potenzielle Inland-Valley-Flächen zu lokalisieren, die aufgrund schlechter Zugänglichkeit nicht von der Kartierung erfasst wurden.

Im Themenbereich „*Wasserdargebot, Wasserverbrauch, Wasserqualität*“ sind alle Problemkomplexe in Benin zusammengefasst, bei denen das Wasser direkt im Fokus der Untersuchungen steht (Be-H1 bis Be-H.3). Im **PK Be-H.1** konnten im Berichtszeitraum die Szenarienrechnungen weitergeführt werden, da nun die verschiedenen Klimamodellläufe mit REMO aufbereitet vorliegen. Hierbei zeigt sich eine signifikante Abnahme der erneuerbaren Wasserressourcen in den beiden SRES Klimaszenarien A1b und B1. In Kombination mit dem steigenden Wasserbedarf der Bevölkerung und für die Tiere ergibt sich eine Verknappung der Ressourcen, die jedoch, ohne weitere Intensivierung des Bewässerungsfeldbaus, keine bedrohlichen Auswirkungen haben wird. Die Vorarbeiten für eine benutzerfreundliche Schnittstelle für das eingesetzte Modellsystem UHP-HRU sind weit fortgeschritten, das Konzept für das SDSS „BenHydro“ liegt vor und wird in den kommenden Monaten realisiert. Neben den Untersuchungen zum Wasserverbrauch im ländlichen und städtischen Raum auf Haushaltsebene hat sich der **PK Be-H.2** mit dem Bedarf an Bewässerungswasser beschäftigt. Derzeit ist zwar das Wasser kein limitierender Faktor, die Planungen in Benin sehen aber eine Intensivierung des Bewässerungsfeldbaus vor, so dass es hier lokal zu Engpässen kommen kann. Im **PK Be-H.3** wird ein operationelles „*Niederschlags Monitoring System*“ für Benin und Westafrika entwickelt. Im Berichtszeitraum wurde insbesondere das System kalibriert und validiert, um den Einsatz in Benin vorzubereiten. In enger Zusammenarbeit mit den beninischen Partnern wurde die Implementierung vorbereitet, so dass eine nachhaltige Nutzung gewährleistet ist.

Im Themenbereich „Landnutzung“ behandeln vier repräsentative PKs die regional-spezifischen Veränderungsprozesse zwischen Landnutzung und Landbedeckung und der sie steuernden Ursachen. Die Arbeiten im **PK Be-L.1** standen im Zeichen der Szenarienerstellung und Umsetzung in räumlich explizite Landnutzungsmodelle. Besonderes Augenmerk wurde auf die Kalibrierung und Validierung der Modelle XU-LU und CLUE-S gelegt. Die Anforderungen an die künftig zu erstellenden DSS wurden evaluiert und die notwendigen technischen Grundlagen und Schnittstellen definiert. Im Rahmen des **PK Be-L.3** wurden besonders die Vorarbeiten zu den Simulationen mit dem neu generierten Landnutzungs-Katasters für das Zieljahr 2025 im oberen Einzugsgebiet des Ouémé vorangetrieben. Hinsichtlich der Arbeiten zur Ökolumendynamik (**PK Be-L.4**) konnte die letzte Feldkampagne zur Erhebung agrar-ökologischer Parameter im Einzugsgebiet des mittleren Ouémé abgeschlossen werden. Die Landwirtschaftlichen Nutzungssysteme sind jetzt besser beschrieben und Szenarien für Anbauflächenerweiterung unter Berücksichtigung von Bevölkerungswachstum und Ernährungsbedarf entwickelt. Ein nachhaltiges Feuermanagement wird im

**PK Be-L.5** angestrebt. Hierzu wurde im Berichtszeitraum ein Monitoring System mit einer automatischen Ableitung der gebrannten Flächen erstellt und lieferte bereits erste vielversprechende Ergebnisse.

Im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Benin wurden die Bereiche Dezentralisierung, Wasserversorgung, Umwelt und Schutz ländlicher Ressourcen als Interventionsschwerpunkte definiert. Die Verbesserung des Zugangs zu sauberem Trinkwasser steht auch im Vordergrund der Entschuldungs- und Armutsbekämpfungsinitiative der Weltbank für Benin. Vor diesem Hintergrund liefern die Forschungsergebnisse zum gesellschaftlichen Umgang mit Wasser wichtige Informationen für die Umsetzung dieser Politiken. Die zentralen Zwischenergebnisse des Themenbereichs „Gesellschaft und Gesundheit“ im Jahr 2006 sind in den PKs Be-G.1 bis G.5 zusammengefasst: Nach den Berechnungen der Bevölkerungsprojektionen auf National-, Departement- und Gemeindeebene wurden im **PK Be-G.1** die Projektionen bis 2025 auch auf Arrondissement- und Dorfebene für die drei IMPETUS Szenarien durchgeführt (594 Arrondissements, 3742 Dörfer in Gesamtbenin). Mittels einer Politikfeldanalyse wurden im **PK Be-G.2** die Konflikt- und Verhandlungsfelder im Wassermanagement seit der Dezentralisierung identifiziert und analysiert. Die Konflikte unterscheiden sich nach Akteuren und Art der Wasserstelle. Sie führen bis zur Exklusion von bestimmten Nutzergruppen. Ausführlich wurde ein Teil der Datenauswertung im Rahmen einer Doktorarbeit über „Geschlecht, Magie und Geld, sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika“ durchgeführt (**PK Be-G.3**). Daran anlehnend erfolgte sodann eine ausführliche Analyse des gesamten Datenmaterials (Regionalsurvey 2004) im Kontext seiner Umwandlung in ein Informationssystem (IS). Hinsichtlich einer Risikoabschätzung bezüglich des Auftretens von Malaria konnten im Berichtszeitraum im **PK Be-G.4** die verwendeten Malariamodelle endgültig parametrisiert werden. Die Validierung der Modelle mittels MARA-Karten und zweier Malariastudien zeigt, dass das Malariaauftreten in Westafrika räumlich und zeitlich simuliert werden kann. Die auf der Grundlage von korrigierten REMO-Niederschlägen durchgeführten Malariasimulationen der Jahre 1960-2050 ermöglichen es nun die zukünftige Malariaverbreitung abzuschätzen. Die Arbeiten im (**PK Be-G.5**) beinhaltete im Jahre 2006 eine Erweiterung der Datenbank zu den Trinkwasserquellen, eine Detektion chemischer mutagener Substanzen durch den sog. Ames Test und die Durchführung verschiedener Capacity Building Maßnahmen.

Die Ressource Wasser wird in der Drâa-Region in Marokko hauptsächlich für die landwirtschaftliche Produktion in den Oasen genutzt. Die im Themenbereich „Existenzsicherung“ zusammengefassten PKs Ma-E1. bis Ma-E.3 widmen sich verbesserten Wasser-Managementsystemen unter Beibehaltung landwirtschaftlicher Produktivität und touristischer Entwicklung. Im Jahr 2006 konzentrierten sich die Arbeiten im **PK Ma-E.1** auf die Verbesserung einzelner Module im Modell MIVAD sowie die Integration und Abstimmung anderer Module. Weiterhin wurde eine umfangreiche Befragung großflächig im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Damit konnte eine Abschätzung über die Anzahl der Motorpumpen und die gepumpte Menge erreicht werden. Hinsichtlich landwirtschaftlicher Anbaustrategien bei Wasserknappheit wurden im Berichtszeitraum im **PK Ma-E.2** die Kalibrierung und Validierung eines Anbausystems von Mais Gerste in einer Hochoase im Hohen Atlas mit dem Agrarmodell DSSAT durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Parameter weiterer verwendeter Modell-Module optimiert. Bearbeitungsschwerpunkt war hierbei die Oase Yaouled Oueb. Obwohl zweiter Devisenbringer des Landes, spielt der Tourismus in der Untersuchungsregion weder im Hinblick auf sein wirtschaftliches Potenzial noch als Arbeitgeber eine herausragende Rolle (**PK Ma-E.3**). Ein bemerkenswertes Wachstum der Tourismusbranche ist derzeit nicht absehbar. Dennoch setzt die Regierung auf steile Zuwachsraten durch nationale Fördermaßnahmen.

Sie verspricht sich von einer Förderung des Tourismus eine nachhaltige Entwicklung der gesamten Region des Dadès- und Drâa-Einzugsgebietes.

Der Themenbereich „Wasserdargebot, Wasserverbrauch, Wasserqualität in Marokko“ umfasst fünf Problemkomplexe. Im **PK Ma-H.1** werden die Wasserressourcen für das gesamte betrachtete Einzugsgebiet des Drâa in der Größe von ca. 30.000 km<sup>2</sup> berechnet. Der Fokus in der vergangenen Zeit lag auf dem Hohen Atlas, da er die wesentliche Quelle für die Zuflüsse zum Stausee darstellt. Durch die Arbeiten zur Hydrogeologie, zur Bodenverbreitung und zur Schneeschmelze konnte die Parametrisierung des Modellsystems vorangetrieben werden. Das Konzept für das SDSS HYDRAA liegt vor und wird in den nächsten Monaten in einer Prototyp-Version realisiert. Während der PK Ma-H.1 sich auf die regionale Skala konzentriert, werden im **PK Ma-H.2** die Prozesse auf der Skala der Oasen untersucht. Die Arbeiten zum häuslichen Wasserverbrauch, zur Grundwasserbilanzierung in Oasen, der Versalzung von Böden sowie des Pflanzenwasserbedarfs werden in dem SDSS IWEGS zusammengefasst. Mit dem in einer vorläufigen Version vorliegenden System kann die Auswirkung des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen und Bodenqualität der Drâa-Oasen quantifiziert werden. Arbeiten in 2006 umfassten die Validierung der Modellergebnisse, die Entwicklung des SDSS und erste Schulung der Projektpartner in Marokko. Für eine längerfristige Planung der zukünftig zur Bewässerung zur Verfügung stehenden Wasserressourcen ist somit eine Quantifikation der im Schnee gespeicherten Wassermenge notwendig, was im **PK Ma-H.3** bearbeitet wird. Im Berichtszeitraum sind die Untersuchungen zur Schneehydrologie und deren Modellierung im Einzugsgebiets Ifre abgeschlossen und es wurde mit der Regionalisierung begonnen. Für das Monitoringtool PRO-RES wurden die Vorarbeiten abgeschlossen, so dass mit der Entwicklung und Programmierung begonnen werden kann. Die Feldarbeiten wurden weitergeführt, um die langjährigen Zeitreihen nicht zu unterbrechen. Im **PK Ma H.4** wurde versucht, eine Wahrscheinlichkeitsaussage zur Vorhersage des Staudammfüllstandes auf verschiedenen Zeitskalen mittels statistisch-dynamischer Modellierung zu realisieren. Die Analyse der Niederschläge der vergangenen Jahrzehnte hat gezeigt, dass sowohl eine gewisse Erhaltungsneigung des saisonalen Niederschlags als auch eine Korrelation mit der Oberflächentemperatur des Nordatlantiks existiert. Dieser Zusammenhang soll genutzt werden, eine saisonale Vorhersage der Niederschläge zu ermöglichen. Der **PK Ma-H.5** untersuchte die Auswirkung des Klimawandels und der veränderten Wassernutzung auf den Niederschlag und die Verdunstung. Da für klimatologische Zeiträume ( $\geq 30$  Jahre) mit gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung ( $\leq 3$ km) sind Niederschlag und Verdunstung weder aus Messungen noch aus Simulationen für die Region verfügbar sind, wurden mit dem Modellsystem FOOT3dK nach dem Verfahren der statistisch-dynamischen Regionalisierung die Wetterlagen analysiert und repräsentative Vertreter simuliert. Mit diesen Repräsentanten wurden nachfolgend Klimatologien berechnet. Die Ergebnisse werden in ein SDSS integriert und den Anwendern zur Verfügung gestellt.

Im Themenbereich „Landnutzung“ Fragen nach der Regenerationsfähigkeit der natürlichen Vegetation, den Anpassungsstrategien der lokalen Bevölkerung sowie den Gefahrenpotenzialen aus extremen Wetterereignissen bearbeiten. Im **PK Ma-L.1** wurde im Berichtszeitraum zur Verbesserung der Datengrundlage Gespräche mit transhumanten Viehzüchtern geführt. Die Datenerhebung dient als notwendige Grundlage für die Berechnungen mittels des neu ins Projekt integrierten regelbasierten ökologisch-ökonomischen Weidemodells BUFFER. Die im Hohen Atlas exemplarisch durchgeführten Detailuntersuchungen zu Wasserverfügbarkeit, Ernteerträgen und Wasserverbrauch von Kulturpflanzen in Ameskar und Tichki, im Assif N’Ait Ahmed, sind auf die räumliche Ebene des hydrologischen Teileinzugsgebiet Ifre ausgeweitet worden. Im Rahmen des **PK Ma-L.2** wurden in 2006 weideökologische Indikatoren für den Landnut-

zungsdruck zunächst mit Hilfe von Pflanzenfunktionstypen identifiziert. Ein weidespezifischer Merkmalskatalog, mit dem die Reaktion von Pflanzen auf Beweidung erfasst wird, wurde erstellt. Schließlich wurde eine detaillierte flächenhafte Vegetationskarte als Grundlage für die gesamte Marokko-Gruppe erarbeitet. Hinsichtlich extremer Wetterereignisse konnte im **PK Ma-L.3** anhand von Klimamodellsimulationen gezeigt werden, dass in den nächsten 50 Jahren in der Untersuchungsregion mit niedrigeren Jahresniederschlägen bei einer leichten Tendenz zu stärkeren Extremereignissen gerechnet werden muss.

Der Themenbereich „Gesellschaft“ behandelt die Aspekte Bevölkerungsdynamik und Entscheidungen zur Ressourcennutzung. Im Untersuchungsgebiet gab es zwischen 1994 und 2004 lediglich ein geringes Bevölkerungswachstum, welches in ländlichen Gebieten sogar teilweise negativ ausfiel. In urbanen Gegenden (durchschnittlich 3,1%) war es deutlich höher als in ruralen Gebieten (durchschnittlich 0,8%). Als Ursachen gelten neben der Migration auch eine sinkende Fertilitätsrate, längere Geburtsintervalle, späteres Erstheiratsalter und eine immer noch hohe Kinder- und Müttersterblichkeit. Bezüglich der Wasserverfügbarkeit zeigte sich, dass vor allem die Dörfer im südlichen Drâatal nach der Einschätzung der befragten Haushalte eine ungenügende Wasserversorgung besitzen. Die Arbeiten im **PK Ma-G.2** haben gezeigt, dass neben zentralstaatlichen Institutionen mit geringer lokaler Akzeptanz und traditionellen Gremien mit zwar hoher Akzeptanz, aber ohne Rechtsstatus, auch langfristige Unsicherheiten über den zukünftigen Status des Kollektivlandes und langfristige Strategien der Interessenbehauptung für aktuelle Managemententscheidungen eine Rolle spielen.



## **II Spatial Decision Support Systems (SDSS)**

### **Zusammenfassung**

Die Aufgabe des TP C2 besteht in der Bereitstellung und Präsentation entscheidungsrelevanter Informationen für unterschiedliche Zielgruppen in Benin und Marokko. Nach der Erfassung und Diagnose der wesentlichen Aspekte des Wasserhaushalts und des Verhaltens der Menschen in der ersten und zweiten Projektphase, steht nun die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung im Vordergrund. Hierfür sind Szenarien definiert worden, die als Basis für die Entwicklung verschiedener Handlungsoptionen dienen. Seit Beginn der dritten Projektphase liegt das Hauptaugenmerk dieses TP C2 dehalb auf der Entwicklung und Implementierung von räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (*Spatial Decision Support Systems* = *SDSS*). Diese SDSS gewährleisten Entscheidungsunterstützungen und Handlungsoptionen für verschiedene Aspekte des Süßwassermanagements und der räumlichen Planung. Entsprechend der im Projektantrag Kapitel III definierten Rahmenbedingungen werden die verschiedenen SDSS/ IS zentral konzipiert und in das IMPETUS SDSS framework eingebettet. Neben der Entwicklung dieser Systeme werden in diesem Teilprojekt auch die Arbeiten an der IMPETUS Projektdatenbank und dem Internetauftritt weiter fortgeführt.

### **Mitarbeiter**

Enders, Laudien, Hoffmann

### **II.1 Entwicklung des IMPETUS SDSS Frameworks**

Aus den Anforderungen, welche an die SDSS/IS und hier im Speziellen die Software zur Entscheidungsunterstützung gestellt werden, wurden verschiedene technische Realisierungen konzeptioniert und teilweise bereits umgesetzt.

Angesichts der Anzahl und dem Detaillierungsgrad der geforderten Systeme wird es notwendig, möglichst viele Komponenten des Systems zu vereinheitlichen und wiederzuverwenden. In der unten stehenden Abbildung sind die Module des hieraus entstandenen IMPETUS SDSS Framework im Überblick dargestellt. Innerhalb dieses Frameworks können alle Entscheidungsunterstützungssysteme und Informationssysteme integriert werden.

Im Folgenden wird primär auf die SDSS eingegangen, da die Anforderungen für Informationssysteme (IS) mit denen der SDSS bereits erfüllt sind.

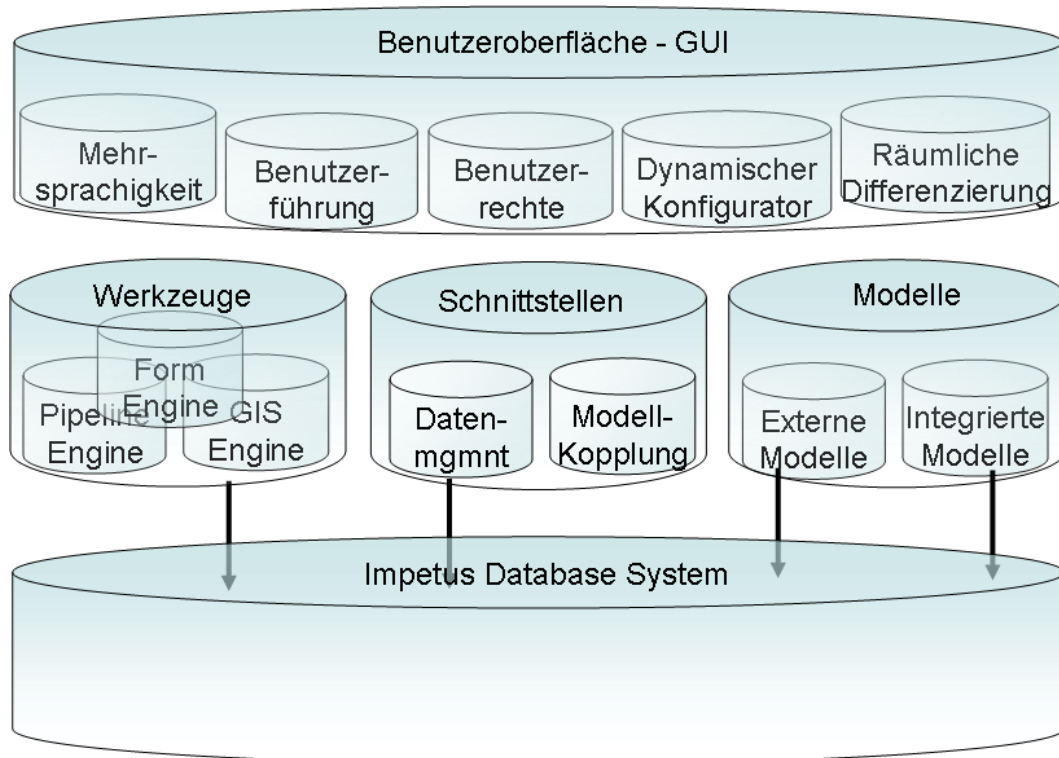


Abb. II.1-1: Übersicht der Module des IMPETUS SDSS Framework

In der Realisierung wird auf Standardtechnologien der gewählten Programmiersprache Java zurückgegriffen. Dies ermöglicht wiederum die Reduzierung des Aufwands und die vereinfachte Pflege der Software nach Abschluss des IMPETUS Projektes.

### **Modul 1: GUI – Graphical User Interface – die Benutzeroberfläche**

Das GUI-Framework soll die Oberfläche für alle SDSS-Projekte vereinheitlichen. Es wird somit ermöglicht, zum einen den Realisierungsaufwand der einzelnen SDSS zu verringern und zum anderen die Kopplung der Systeme zu ermöglichen, ohne Applikationsgrenzen überwinden zu müssen. Die einzelnen Teile bieten die Möglichkeit zum einfachen Einbinden von SDSS-spezifischen Inhalten. Die Benutzerfreundlichkeit wird durch eine intuitive Bedienbarkeit des Systems über Maus und Tastatur ermöglicht. Hierbei wird automatisch die entsprechende Sprache des Benutzers für die Oberfläche bei Start der Applikation gewählt und beibehalten. Derzeit ist die Anpassung der Texte und Bilder an die Sprachen französisch, englisch, deutsch realisiert.

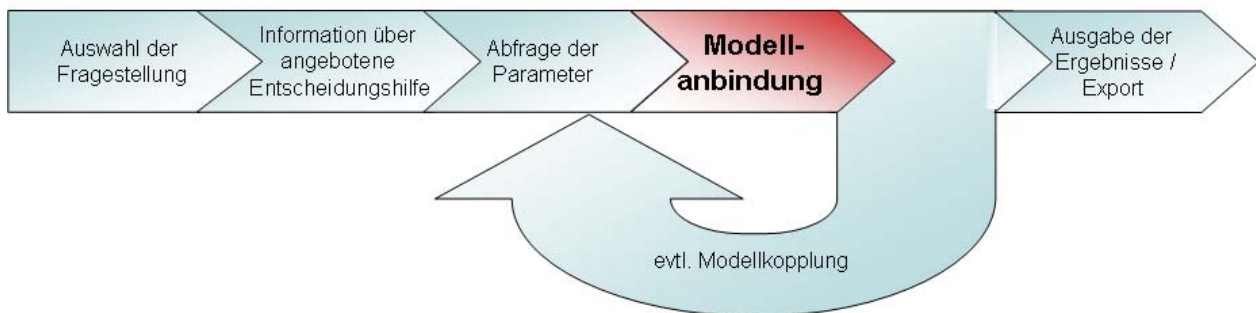
Eine Benutzergruppenverwaltung stellt umfangreiche Möglichkeiten zur Verfügung, die Oberfläche an die Zielgruppe anzupassen. Die gleiche ausgelieferte Applikation kann so für verschiedene Personen unterschiedlich erscheinen. Dies geht von der Auswählbarkeit verschiedener Fragestellungen über die Tiefe der Konfigurierbarkeit der angebotenen Modelle bis zum Detaillierungsgrad der Ausgabe.

### **Modul 2: Toolbox – die Werkzeugkiste**

Für den Nutzer nicht sichtbar wird eine Anzahl von Werkzeugen zur Verfügung gestellt, um die komplexen Abläufe und Inhalte des SDSS zu realisieren.



Eine *Pipeline-Engine* (siehe auch [www.w3.org](http://www.w3.org)) zur integrierten und modularen Bearbeitung komplexer Arbeitsaufträge wurde in das Framework implementiert. Dieses Werkzeug ermöglicht die Entwicklung einfacher Bausteine, welche in unterschiedlichen Systemen Verwendung finden können. Es werden hierfür die komplexen Abläufe in der SDSS Abarbeitung modularisiert und in Standardprozesse untergliedert (**Abb. II.1-2**)



**Abb. II.1-2:** Schematisch beispielhafte Pipeline mit den Processor-Bausteinen zur Bearbeitung einer SDSS-Anfrage.

Die modularen Bausteine der IMPETUS SDSS Engine (in **Abb. II.1-2** grün gezeichnet) werden somit wiederverwendbar vordefiniert und für den SDSS-Entwickler bzw. den inhaltlich arbeitenden Wissenschaftler (SDSS-Verantwortlicher) vorgehalten. Die Module (Processors) können unterschiedliche Plattformen und Techniken integrieren und somit z. B. Modelle in anderen Programmiersprachen einbinden.

Einzelne SDSS spezifische Bausteine (in **Abb. II.1-2** rot gezeichnet) werden über ein Customizing mittels einer XML-basierten Konfiguration zu einem individuellen System integriert. Eine lose Kopplung unterschiedlicher Modelle bzw. verschiedener SDSS ist hierüber möglich.

Zusätzlicher Vorteil dieser Realisation ist eine klare Benutzerführung über einen vordefinierten Arbeitsablauf. In Verbindung mit dem Benutzerrechte modul können hierüber individuelle Benutzerkomponenten für einzelne SDSS oder auch SDSS-Komplexe realisiert werden.

Als weiteres Werkzeug wurde eine *GIS Engine* auf Basis der Produkte ArcGIS Engine (ESRI) und Geotools ([geotools.org](http://geotools.org)) konzipiert. Dieses ermöglicht dem Entwickler die Nutzung der Methoden der Geoinformationssysteme in die SDSS Erstellung einzubeziehen.

Die Präsentation, Analyse und Verarbeitung räumlicher Daten wird als integraler Bestandteil des SDSS Framework dem SDSS Entwickler als einfach zu konfigurierende Bausteine zur Verfügung gestellt. Eine Automatisierung komplexer Datenaufbereitungen und Modellvorbereitungen ist somit leicht möglich.

Die *Formular-Engine* ermöglicht das einfache und benutzerfreundliche Konfigurieren der SDSS und somit der angeschlossenen Modelle. Über eine ebenfalls in XML ausgeführte Konfiguration kann der Customizer die Repräsentation des einzustellenden Parameters wählen. Ob der Parameter beispielsweise über einen Zahlenwert zwischen Minimum und Maximum mit einem Schieberegler eingestellt wird, er eine Auswahl aus mehreren Werten ermöglicht oder eine Texteingabe über eine „regular expression“ überprüft werden soll, die Konfiguration wird ohne Programmierkenntnisse dem Experten ermöglicht.

Bei diesem Werkzeug ist die Validierung der eingegebenen Werte ein wichtiger Bestandteil. Der SDSS-Verantwortliche kann eine Änderung eines Parameters in dem Wertebereich ermöglichen, den er zur Pa-

rametrisierung seiner Modelle für inhaltlich sinnvoll hält. Die zur Einhaltung dieser Anforderung an die Software notwendigen Komponenten sind in der Programmierung aufwändig, aber über die Formular-Engine für den Nutzer einfach zu konfigurieren.

Ein weiterer Vorteil der Verwendung des IMPETUS SDSS Frameworks für die Parametereinstellungen ist die in der Komponente integrierte Bewertungsvorgabe. Gegenüber einem häufig unspezifischen Zahlenwert für einen Parameter kann z. B. über einen Schieberegler direkt die Information „hoher Wert“ oder „niedriger Wert“ dem Benutzer übermittelt werden.

### **Modul 3: Schnittstellen**

Der Datenein- und ausgabe kommt ein großer Stellenwert im IMPETUS SDSS Framework zu. Das System zum einen so benutzerfreundlich zu gestalten, dass Ergebnisse ohne detaillierte Computerkenntnisse erzeugt und interpretiert werden können und zum anderen die Möglichkeiten zu geben, die in das DSS einfließenden Daten im Detail zu verändern, stellt hohe Ansprüche an den Schnittstellenentwickler.

Im IMPETUS SDSS Framework werden über einfaches Customizing konfigurierbare Datenimporte unterschiedlichster Formate unterstützt. So können z. B. Vektor- und Rasterdaten, relationale Datenbanken, Excel-Spreadsheets oder auch unstrukturierte bzw. semistrukturierte Textdaten können eingelesen und in Modellen verarbeitet werden.

Für die Ausgabe bzw. den Export stehen neben den o.g. Dateiformaten noch die bekannten Druckformate zur Verfügung.

Zur Kopplung verschiedener SDSS und verschiedener Modelle sind Transformationsschnittstellen zur Datenübernahme konzeptioniert. Diese sind modellspezifisch entwickelt und angepasst. Besonders die Verwendung der GIS-Funktionalitäten der GIS Engine hat in diesen Schnittstellen eine große Bedeutung.

### **Modul 4: Modelle**

Die zur Szenarienerstellung kalibrierten und im IMPETUS SDSS Framework zur Verfügung gestellten Modelle werden häufig nicht in der Programmiersprache Java geliefert. Die Eingangsdaten müssen über die GIS Engine aufbereitet, die Formular Engine angepasst, über die Schnittstellen parametrisiert und nachfolgend über einen nativen Aufruf des Modells auf Betriebssystemebene gestartet werden. Die Ergebnisse werden dann auf umgekehrtem Wege wieder in Karten bzw. Übersichten dargestellt.

Somit ist es möglich, die Modellrechnungen verschiedenster, auch nicht im Javacode vorliegender Modelle, in das SDSS dynamisch zu integrieren und Expertenwissen über unterschiedliche Parametrisierung und Intervention einzubringen.

### **Datenbanken**

Zur Entwicklung der Datenbank bzw. des Datenspeichers wird auf Abschnitt Datenbanken verwiesen. Die Einbindung der Daten geschieht im Rahmen des Moduls Schnittstellen.

## **II.2 Entwicklung der SDSS**

In den folgenden Abschnitten wird die Entwicklung und Programmierung der SDSS erläutert. Die dafür zu Beginn der dritten Projektphase entwickelte Methodik ist bereits im Detail durch Laudien und Bareth (2007) beschrieben. Seit Beginn der dritten Phase sind folgende Arbeitsschritte durchgeführt worden:

1. Sichtung der Anforderungen und Vorgaben
2. Konzeption eines SDSS Fragebogens mit anschließender Befragung
3. Testentwicklungen via ArcGIS/ ArcObjects und VBA
4. Generierung des 4-Phasen Entwicklungsmodells
5. Entwicklung der SDSS via ArcGIS Engine und Java

Im Folgenden werden diese entwickelten Konzepte und Ansätze vorgestellt, die eine umfassende SDSS Entwicklung bis zum Ende der dritten Projektphase gewährleisten.

### **Sichtung der Anforderungen und Vorgaben**

Moderne Prozessoren und Speicher sind mittlerweile in der Lage, große, raumbezogene Datenmengen zu prozessieren und zu visualisieren. So sind aus Sicht der Computerperformanz komplexe Modellalgorithmen, Rasteranalysen oder aufwendige Vektorverschnidungen nicht mehr zeit- und ressourcenkritisch. Deshalb können umfassende Anforderungen an die SDSS Entwicklung gestellt werden, die im Folgenden beschrieben werden.

Basierend auf dem Ansatz der anwenderfreundlichen, modularen Entwicklung der Systeme, ist bei der Programmierung darauf geachtet worden, mögliche Fehlerquellen, die durch den potentiellen Nutzer verursacht werden können, zu minimieren. Das heißt Oberflächen, Schnittstellen und Geodatenbanken wurden so konzipiert, dass der Anwender, nach seiner persönlich vordefinierten Sicht spezifisch angepasst, durch das SDSS geführt wird. Dabei hat ein Nutzer, der über durchschnittliche SDSS Kompetenzen verfügt, auch nur eingeschränkte Möglichkeiten während des Programmlaufes in das System einzugreifen. Ein vorgeschrittener (geschulter) Benutzer bekommt dagegen mehrere Funktionalitäten in einer anderen Programmsicht (Version) zur Verfügung gestellt. Durch diese Differenzierung der verschiedenen Nutzergruppen bekommen Entscheidungsträger, Modellanwender und Entwickler jeweils unterschiedliche Möglichkeiten, Modellparameter und Modellrandbedingungen zu ändern und damit das Gesamtsystem zu betreiben.

Gleichermaßen besitzen alle Versionen der einzelnen Systeme die Möglichkeit, auf umfassende Geodaten zuzugreifen. Diese sind in verschiedenen Geodatenbanken archiviert. Durch implementierte Datenbank-schnittstellen können die Daten während der Laufzeit des SDSS geladen und zur Analyse, Darstellung oder Modifikation verwendet werden. Hierfür sind den jeweiligen SDSS umfangreiche GIS und Fernerkundungsfunktionalitäten bereitgestellt worden (alphanumerisch, vektor-, rasterbasierend), die via ArcGIS Engine problemlos in den Javaquellcode implementiert wurden (vgl. **Abb. II.2-1**).

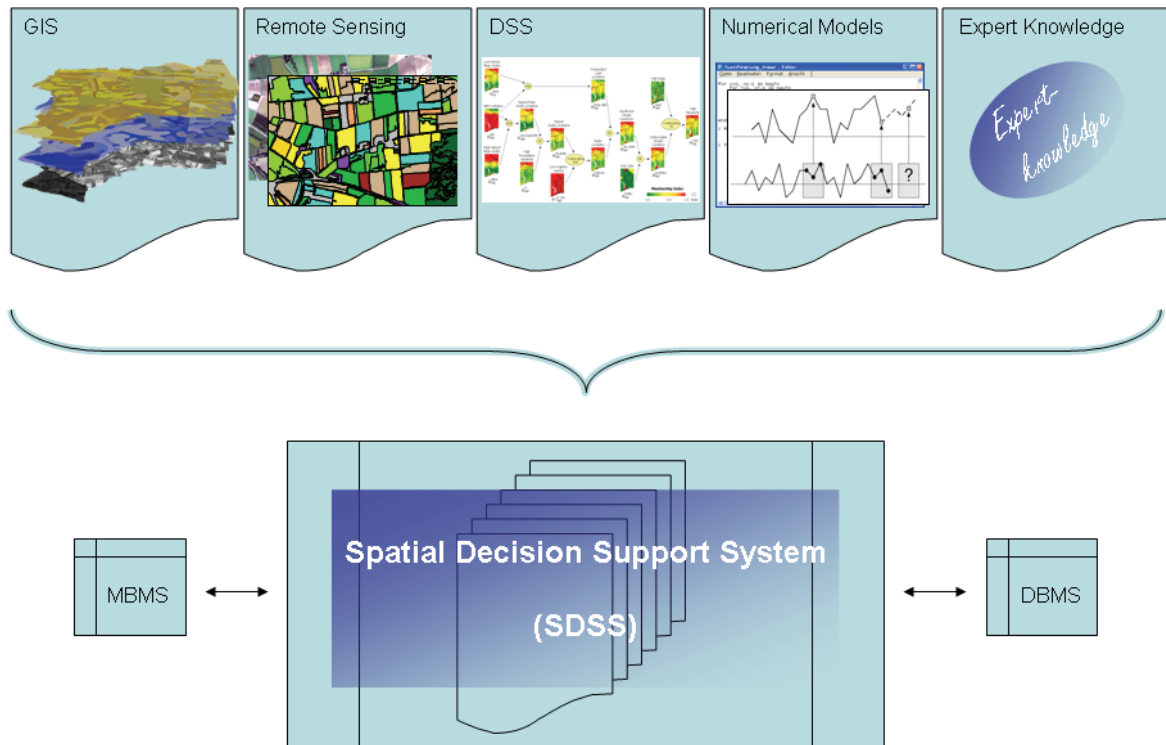


Abb. II.2-1: SDSS Struktur eines modernen räumlichen Entscheidungsunterstützungssystems (Laudien und Bareth, 2007).

Des Weiteren wurden bereits bestehende numerische, statistische und Expertenmodelle für die Entscheidungsunterstützung in den Systemen genutzt (Anbindung von IDL, Fortran, Pascal, MS Excel, etc.). Um diese Anforderung zu erfüllen, ist ein lose gekoppelter Ansatz gewählt worden. In diesem methodischen Ansatz werden die Modelle über definierte programmierte Schnittstellen von den jeweiligen SDSS angesprochen, Modellvariablen und –parameter während der Laufzeit der SDSS an die Modelle übergeben, diese ausgeführt und die Ergebnisse nach dem Modelllauf wieder zurück geschrieben.

Um den Entscheidungsunterstützungsprozess softwaretechnisch umzusetzen, wurde für jedes SDSS ein spezifisch der eindeutigen Fragestellung konzipierter Entscheidungsbaum in Programmcode umgesetzt. Hierfür wurden, neben den oben genannten speziellen SDSS-Analysen, vorwiegend programmierte Schleifen und Verzweigungen eingebunden.

Im Gegensatz zu anderen, statischen SDSS-Ansätzen, wurde für die Entwicklung der hier beschriebenen SDSS ein dynamischer gewählt. So kann dem Entscheidungsunterstützungsprozess Expertenwissen während der Laufzeit des Programms, in Form von beispielsweise Auswahl-, Selektions- oder Editierungsfunktionalitäten, zugefügt werden.

Abschließend sei der Form her erwähnt, dass die SDSS ihre Ergebnisse automatisiert aufbereiten und darstellen. Die Simulationsergebnisse werden räumlich und zeitlich aggregiert und in Responseindikatoren überführt. Diese werden automatisiert in Reporte zusammengefasst oder visuell dargestellt.

**Konzeption des SDSS Fragebogens mit anschließender Befragung**

Spezifische Fragestellungen und räumliche Entscheidungsunterstützungen für die SDSS ergeben sich aus den jeweiligen PKs und den Anwenderkreisen (Entscheidungsträger, Experten, Wissenschaft, Öffentlich-

keit). Für die Entscheidungsfindung greifen die Systeme auf Geodaten, Modelle und Expertenwissen der ersten beiden IMPETUS-Phasen zu und generieren mit Hilfe der implementierten GIS-Anwendungen räumliche Ergebnisse in Form von Berichten, Tabellen, Karten, etc. Der Analyse- und Entscheidungsprozess wurde dafür durch die Fachwissenschaftler und Experten bestimmt. Die Umsetzung dieser Abläufe und die dafür notwendigen Funktionalitäten unter Verwendung der verfügbaren Programmierumgebungen (ArcGIS Engine & Java), wurden in Zusammenarbeit der Fachwissenschaftler mit der SDSS-Arbeitsgruppe geleistet. Dabei stellte die Benutzerfreundlichkeit der GIS-basierten Systeme eine entscheidende Vorgabe dar. Mit Hilfe der SDSS sollte es einem durchschnittlichen Anwender möglich sein, die komplexe Entscheidung mit Standardparametern und einem vorgegebenen Entscheidungsablauf durchzuführen, sowie die Ergebnisse in Form von vordefinierten Ausgaben bereit zu stellen. Ebenso sollte es für den fortgeschrittenen Anwender oder Experten Eingriffsmöglichkeiten geben, die Analysen und den Entscheidungsprozess zu beeinflussen.

So ist seit Beginn der Phase 3 mit der Entwicklung eines umfassenden Systems (IMPETUS SDSS) begonnen worden, das aus zahlreichen Untersystemen besteht, d. h. aus den jeweiligen SDSS (siehe Liste). Dabei sind die Fragestellungen eindeutig und unter Zuhilfenahme der erhobenen Daten, der entwickelten Modelle und des Expertenwissens beantwortbar. Deshalb mussten die Analyse des Problems, die Zusammenstellung der Daten und Modelle, deren Verknüpfung sowie die notwendigen analytischen Funktionalitäten und Eingriffsmöglichkeiten in den Prozess, zunächst von den Bearbeitern der PKs definiert werden. Dies erfolgte zu Beginn der dritten Projektphase durch einen standardisierten Fragebogen, der folgende Punkte und Fragen beinhaltete:

- Daten des SDSS Ansprechpartners des PKs
- Welche Entscheidung, Analyse, Bewertung soll geleistet werden?
- Welche Eingangsdaten werden benötigt, um die Fragestellung zu beantworten?
- Welche Daten müssen noch generiert werden?
- Welche Analysewerkzeuge sollen dabei helfen?
- Wo sollen Experten in den Entscheidungsablauf eingreifen können und auf welche Weise fließt ihr Wissen ein?
- Wie werden die Ergebnisse ausgegeben?

Die Befragung sollte die Ansätze und den Diskussionsstand innerhalb der einzelnen PK's erfassen, um einen Einblick in die spezifischen Anforderungen der geforderten Entscheidungsunterstützungssysteme zu bekommen.

### **Testentwicklungen via ArcGIS/ ArcObjects und VBA**

Erste Entwicklungserfahrungen wurden zu Beginn der dritten Projektphase mit ArcGIS 9.1 ArcMap<sup>TM</sup>(ESRI<sup>®</sup>) in Verbindung mit Visual Basic for Applications (VBA) und der ArcObjects Bibliothek gesammelt. Die dafür verwendeten Testdaten wurden durch den PK Be-E4 (vgl. hierzu THAMM 2006) bereitgestellt. Mit der Softwarelizenz „ArcInfo“ von ESRI<sup>®</sup>, die einen VBA Editor und die ArcObjects

Bibliothek enthält, war es möglich, Vektor- und Rasteranalysen in Programmcode zu überführen und in Form von Makros (semi-)automatisiert ablaufen zu lassen.

Zusätzlich dazu bietet die Entwicklungsumgebung von ArcGIS die Möglichkeit, eine MS<sup>®</sup> Access basierende Personal Geodatabase via Quellcode anzusprechen. Durch die benutzerfreundliche Entwicklung eines Graphical User Interfaces (GUI) muß deshalb der potentielle Nutzer des Systems nicht unbedingt in Geodatenbanken, GIS oder Fernerkundung geschult sein, um eine räumliche Entscheidungsunterstützung zu generieren. Weiterführende Informationen zu dem Ansatz ArcGIS für räumliche Entscheidungsunterstützung anzupassen und zu nutzen, sind in Laudien et al. (2006) beschrieben.

### Das 4-Phasenmodell der Entwicklung und Programmierung eines SDSS

Die oben beschriebenen Vorarbeiten zu Beginn der dritten Projektphase resultierten in der Entwicklung eines 4-Phasenmodells, das im Folgenden beschrieben wird. (Abb. 4)

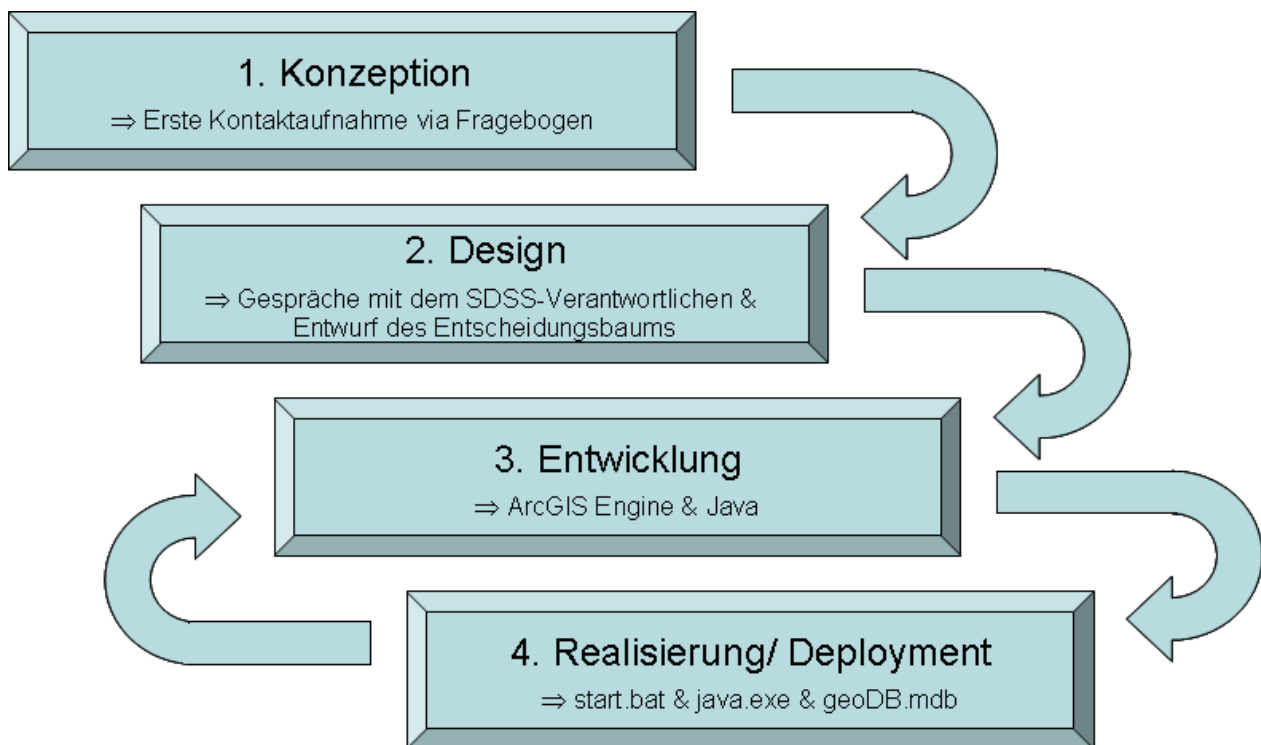


Abb. II.2-2: SDSS Design- und Entwicklungsschritte: Das 4 Phasenmodell (Laudien und Bareth 2007).

Zunächst wurde im Vorfeld der softwaretechnischen Umsetzung zusammen mit dem inhaltlich arbeitenden Experten des jeweiligen PK's (dieser wird im Folgenden als SDSS Verantwortlichen bezeichnet) das Konzept abgestimmt. Dies erfolgte über den oben beschriebenen standardisierten Fragebogen, der neben anderen Daten auch Angaben zu der eindeutigen Fragestellung, zu den notwendigen Geodaten und zu den potentiellen Endnutzern beinhaltete (Phase 1).

In einem zweiten Schritt erfolgte das eigentliche Design. In einem gemeinsamen bilateralen Gespräch mit dem SDSS Verantwortlichen entwickelten Softwaredesigner und -entwickler den softwaretechnischen Entwurf des Systems in Form eines Entscheidungsbaums. Darin sind alle Daten, Prozeduren, Funktionen

und Algorithmen enthalten. Der Entscheidungsbaum wurde im Allgemeinen in Form eines Floatcharts visualisiert. Dieser Entwicklungsschritt war entscheidend für die eigentliche Programmierung, da Experte und Entwickler das System gemeinsam nach ihren Wünschen und Vorgaben anpassen (Phase 2) konnten.

Daraufhin folgte die eigentliche Programmentwicklung durch den Java-Programmierer. Innerhalb dieser Phase der Entwicklung war es von großer Notwendigkeit, dass Experte und Programmierer sich in regem Wissensaustausch befanden, um ein bestangepasstes System zu generieren (Phase 3).

Nachdem die erste, schlanke Version des SDSS realisiert und fertig gestellt war, wurde diese dem Experten zur Prüfung und zum Test ausgehändigt. Dies war wichtig, da in dem Stadium der Entwicklung problemlos noch Korrekturen und Angleichungen vorgenommen werden konnten. Die daraufhin angepasste Version des SDSS musste nun auch von den potentiellen Anwendern getestet und ihr Feedback in spätere Versionen eingebunden werden (Phase 4). Der Übergang zwischen den Phasen 3 und 4 war demnach fließend und erst mit der finalen Version des SDSS abgeschlossen.

### **Entwicklung der SDSS via ArcGIS Engine und Java**

Der Java-Quellcode wurde basierend auf der Programmierumgebung *Eclipse SDK* modular und gekapselt entwickelt. Parallel dazu setzte der Entwickler eine spezifische Geodatenbank in Form einer MS<sup>®</sup> Access Personal Geodatabase auf, die via *AccessWorkspace Interface* an das SDSS gekoppelt wurde. Dies ermöglicht es dem SDSS während der Laufzeit auf die Geodaten zugreifen zu können.

Während der SDSS Prozessierung werden die Zwischenergebnisse in Form von temporären Daten gespeichert, die für weitere Prozesse der Entscheidungsunterstützung genutzt werden. Um die Geodatenbank nicht unnötig mit den temporär erzeugten Daten zu füllen, werden diese in einem temporär angelegten Ordner abgelegt und nach der erfolgreichen, programmgestützten Entscheidungsunterstützung automatisch gelöscht.

Sofern bereits bestehende numerische, statistische oder andere Expertenmodelle in die Entscheidungsunterstützung einfließen, wurden diese über eine in Java programmierte Schnittstelle an das System gekoppelt. So greift das SDSS via Quellcode auf das bestehende Modell (z.B. IDL, Fortran, Pascal, MS<sup>®</sup> Excel) zu, startet dieses mit den Eingabewerten, die der Experte vordefiniert hat (oder mit denen, die durch den Anwender verändert wurden), prozessiert das Modell, und stellt die generierten Ergebnisse danach den weiterführenden Prozessen des SDSS zur Verfügung. Die Modelle laufen also lose gekoppelt, quasi-unabhängig von dem eigentlichen SDSS.

Die softwaretechnische Umsetzung der SDSS basierte, ebenfalls wie die Entwicklung, auf dem anwenderfreundlichen „easy2use“-Ansatz. Dieser beinhaltet eine klare Benutzerführung und ermöglicht es dem Anwender mit voreingestellten Eingabeparametern das System zu nutzen. Der fortgeschrittene Nutzer hat daneben zusätzlich die Möglichkeit, während der Laufzeit des Programms die vom Experten vordefinierten *default*-Werte nach seinem Ermessen zu verändern. Somit ist bei der programmtechnischen Umsetzung ein dynamischer Ansatz realisiert worden, der es ermöglicht, den Entscheidungsunterstützungsprozess während des Programmlaufs anzupassen.

Die Bereitstellung der SDSS erfolgt via Internetdownload oder durch eine CD-Rom. Jedes entwickelte SDSS umfasst eine spezifische Geodatenbank, eine \*.jar Datei sowie eine \*.bat Datei, die zum Programmaufruf genutzt werden kann. Zusätzlich dazu wird eine Lizenz der *ArcGIS Engine Runtime Envi-*

ronment mitgeliefert, die es dem SDSS ermöglicht, eingebettete GIS- und Fernerkundungsanalysen durchzuführen.

Mit der Umstellung von ArcGIS Engine 9.1 auf ArcGIS Engine 9.2 (diese Version befindet sich z. Z. in Auslieferung) werden die MS<sup>®</sup> Access *Personal Geodatabases* in *File Based Geodatabases* konvertiert, um den Anforderungen der Plattformunabhängigkeit völlig gerecht zu werden.

**Auflistung aller SDSS (Spatial Decision Support Systems)/IS (Information System)/MT (Monitoring Tool), die im Laufe der dritten IMPETUS Projektphase entwickelt werden (Titel, Problemkomplex)**

- Konsequenzen von Agrar-und Ressourcenpolitik im Pflanzenbau für Landnutzung und Versorgung (**BenIMPACT-Crop**: Benin Integrated Modelling System for Policy Analysis, Climate and Technology Change for Crop Production), PK Be-E.1.
- **PEDRO**: Protection du sol et durabilité des ressources agricoles dans le bassin versant de l'Ouémé, PK Be-E.2.
- **PRÉSAPLUS**: Prévision Saisonnière de la Pluie Sous-sahélienne, PK Be-E.3.
- Management System für nachhaltige Anlage und Bewirtschaftung von Kleinstauseen (**SYMBA**: System for the Sustainable Management of Small Scale Barrages), PK Be-E.4.
- Konsequenzen ökonomischer und produktionstechnischer Entscheidungen im Tierhaltungssektor (**BenIMPACT-ANIMAL**: Benin Integrated Modelling System for Policy Analysis, Climate and Technology Change for animal production), PK Be-E.5.
- Natürliche und anthropogene Grundlagen einer nachhaltigen agrarischen Landnutzung (**AGRO-LAND**), PK Be-E.6.
- **BenIVIS**: Inland Valley information system for Benin, PK Be-E.7.
- Demographische Szenarien für Benin, PK Be-G.1.
- Existenzsicherung im oberen Ouémé-Einzugsgebiet (**ESUOC**: Existence Security in the Upper Ouémé Catchment), PK Be-G.2 & 3.
- Risikoabschätzung der Malaria unter dem Einfluss des Klimawandels. (**MALARIS**: Malaria risk assessment in West Africa under climate change), PK Be-G.4.
- Wasserqualität (**MIVICH**: Mikrobiologie, Virologie und Chemie), PK Be-G.5.
- **BenHydro**, PK Be-H.1.
- Wassernachfrage der Sektoren (Haushalt, Industrie und Landwirtschaft) unter Berücksichtigung möglicher Wasserkonflikte (**WaNa**: Wassernachfrage der Sektoren), PK Be-H.2.
- Satelliten-basiertes Niederschlags-Monitoring System (**SurPreB**: Surveillance des Précipitations au Bénin), Interaktive Niederschlagsklimatologie für Anwendungen in Landwirtschaft und Hydrologie (**PrecipInfo**: Précipitations Informatisées), PK Be-H.3.
- System für die nachhaltige Landnutzungs- und Infrastrukturplanung (**XULU-PT**: Extentable Unified Land Cover Land Use Planning Tool), PK Be-L.1.



- Niederschlagsvariabilität und Landnutzungsänderung (**ILUPO**: Impetus-Land Use Change and Precipitation for the Ouémé), PK Be-L.3.
- Ökovolumendynamik und Anpassung des Anbausystems an die Klimaänderung im Ouémé-Einzugsgebiet (**FARM-ADA-M**: Adaptation des systèmes agraires et de l'écovolume aux disponibilités en eau; Farm adaptation management as to water availability), PK Be-L.4.
- System für das nachhaltige Management von Buschfeuern in Benin, (**MABFIRE**: Managing Bush Fire in Benin), PK Be-L.5.
- Effiziente Wasserverteilung in den Drâa Oasen, PK Ma-E.1.
- Agronomische Ertragsmodellierung der Draaoasen Pilotoase Oueled Yaoub (**AGRSIM-OY**), PK Ma-E.2.
- Hydrologisches Modell zur Ermittlung des Wasserdargebots im Drâa-Einzugsgebiet (**HYDRAA**: Model hydrologique sur la durabilité des ressources en eau aujourd'hui et dans l'avenir ), PK Ma-H.1.
- Auswirkungen von Wassernutzung auf Grundwasser und Boden (**IWEGS**: Impact of Water Exploitation on Groundwater and Soil), PK Ma-H.2.
- **SRP-Draa**: Statistical Runoff Prediction for the Drâa Region, PK Ma-H.3 & 4.
- Niederschlag und Verdunstung - mögliche Entwicklungen in der Zukunft (**IDEP-Drâa**: IMPETUS - Développements possibles de l'Evapotranspiration et de la Précipitation dans le Domaine du Drâa; IMPETUS - possible developments for evapotranspiration and precipitation at the Drâa catchment), PK Ma-H.5.
- Landnutzungsstrategien im Hohen Atlas (**LUS-HA**: Land Use Strategies High Atlas), PK-Ma-L.1.
- Nachhaltige pastoralnomadische Weidenutzung im Drâa-Tal (**PADRAA**: Paturages durables dans la vallée du Drâa ; Sustainable Pastures in the Drâa Catchment), PK Ma-L.2.
- Bodenerosion in der Draa-Region (**SEDRAA**: Soil Erosion in the Draa Region), PK Ma-L.3.
- Informations-System Demographische Projektionen (**ISDemProj**: Informations-System Demographische Projektionen; Information-System Demographic Projections), PK Ma-G.1
- Grundlagen und Mechanismen von kollektiven und individuellen Nutzungsentscheidungen (**IAN**: Institutionenanalyse Nutzungsentscheidungen), PK Ma-G.2.

## II.3 Datenbanken

Für die Haltung der in IMPETUS vorhandenen Datenbestände sind im Regionalen Rechenzentrum an der Universität zu Köln (RRZK) die Beschaffung der notwendigen Server im Januar 2006 durchgeführt worden. Die Installation der Speicherkapazitäten (2 TB) ist im Gange, so dass diese voraussichtlich bis März 2007 zur Verfügung stehen. Durch die Ablage im SAN-Speicherbereich des RRZK werden eine hohe Datensicherheit und die Haltung der Datenbestände über die Laufzeit von IMPETUS hinaus gewährleistet. Der Zugriff ist über das AFS-Filesystem geregelt. Zu diesem Zweck beinhaltet die Einrichtung durch das RRZK eine sogenannte AFS-Zelle unter der Domain „impetus.uni-koeln.de“, die weltweit verfügbar ist und die Bereitstellung der Daten über das Internet ermöglicht. Für die Verbesserung des Zugriffs für die Partner in den Projektländern, sollen in Benin bzw. Marokko lokale Server eingerichtet. Darauf können häufig angefragte Daten gespiegelt werden. Im Falle von zeitweisen Ausfällen dieser lokalen Server bleiben die Daten weiterhin vom zentralen Server im RRZK verfügbar.

Die Bereitstellung des unstrukturierten Datenbestandes (als Dokumente) für Mitarbeiter und weitere Interessierte wurde in der dritten Phase bislang durch folgende Maßnahmen vorbereitet:

1. Erfassung der Datensätze in einem Metadatenkatalog (bisher 526 Datensätze)
2. Zentrale Sammlung der Datensätze, soweit derzeit im Rahmen der verfügbaren Ressourcen möglich (bisher 303 Datensätze)
3. Kategorisierung bezüglich möglicher Einschränkungen bei der öffentlichen Freigabe, sowohl aufgrund der Datenherkunft (gekaufte Daten mit Lizenzen, Daten von Partnerorganisationen oder Partnerprojekten), als auch durch das „Erstauswertungsrecht“ der Datensatzersteller.

Die getätigten Vorbereitungen ermöglichen eine zeitnahe Ablage im AFS nach Abschluss der Installationsarbeiten im RRZK. Öffentliche Suche und Download von Datensätzen, soweit von den Datensatzerstellern eine Freigabe erfolgt, ist über die bestehenden Funktionalitäten im Bereich Daten der IMPETUS-Webseite realisiert. Die Katalogisierung, Sammlung und Freigabe der Daten erfolgt sukzessive in der dritten Phase in Abstimmung mit den Mitarbeitern.

Einen wesentlichen Teil des Datenbestandes stellen für beide Projektländer Geodaten dar, d.h. georeferenzierte Raster- oder Vektordaten. Für die Strukturierung der Geodaten ist die Planung für den Aufbau einer Geodatenbanken begonnen worden, deren Inhalt über einen Geodatenserver zur Verfügung gestellt werden. Aufgabe ist die Bereitstellung der Daten für die Abfrage über Internet und die Anbindung der IMPETUS-Atlanten oder der SDSS. Das Konzept und das zu verwendende System sind unter Berücksichtigung dieser Anwendungen und der zur Verfügung stehenden Schnittstellen noch genauer abzustimmen. In Betracht gezogen wird zum einen der Einsatz von freien Softwareprodukten wie PostGIS, das die objektrelationale Datenbank PostgreSQL um geographische Objekte erweitert. Zum anderen stünde über das RRZK das kommerzielle Produkt ArcIMS<sup>TM</sup> (ESRI<sup>®</sup>) zur Verfügung, ein Mitglied der ArcGIS-Produktfamilie.

## II.4 Internet

Die Internetpräsenz von IMPETUS ist für die dritte Projektphase grundlegend überarbeitet worden. Dies betrifft sowohl Schwerpunkte und Strukturierung der Inhalte als auch Design und Navigation. Für beide Aspekte wurden Konzepte bzw. Entwürfe entwickelt, deren Umsetzung derzeit im Gange ist und bis Mai 2007 abgeschlossen werden soll. Für die technische Realisierung wird das freie Content Management System (CMS) TYPO3 eingesetzt.

### Inhaltliche Schwerpunkte und Strukturierung

In den Inhalten soll zum Ausdruck gebracht werden, dass IMPETUS

- a) interdisziplinär an Problemlösungen arbeitet, die durch die Szenarien und PKs erfasst werden
- b) transferorientiert ist und durch Capacity Building und das Impetus SDSS in den Projektländern die Ergebnisse und identifizierten Handlungsoptionen bereit stellt

Demzufolge rücken Szenarien, PKs, Capacity Building und SDSS in den Vordergrund und werden sowohl in ihren Grundlagen sowie konkret für die Projektgebiete Benin und Marokko vorgestellt. Weitere Bereiche der Webseite zeigen Veröffentlichungen, den Datenbestand (Metadatenbank), Termine und Mitarbeiterlisten mit Kontaktinformation.

**Tab. II.4-1:** Inhaltliche Strukturierung der IMPETUS Webseite

Bereich	Menüpunkt	Inhalt
Projekt	<b>Übersicht</b>	Einleitung zu IMPETUS mit Links zu Szenarien, PK, SDSS, CB Grundlagen
	<b>Beschreibung</b>	Ansätze und Schwerpunkte in den Phasen I – III
	<b>Konzepte</b>	Grundlagen/Konzepten zu Szenarien, PK, SDSS und CB
	<b>Teilnehmer</b>	Liste der teilnehmenden Institute
	<b>Kontakt</b>	Impetus Geschäftsstellen, Benin , Marokko
	<b>Übersicht</b>	Einleitung zu Szenarien und Themenbereichen der PKs in Benin
	<b>Szenarien</b>	allgemeine Szenarien und Klimaszenarien Benin
	<b>Ernährungssicherung</b>	Themenbereich Ernährungssicherung und Links zu zugehörigen PKs
	<b>Hydrologie</b>	Themenbereich Hydrologie und Links zu zugehörigen PKs
	Benin	<b>Landnutzung</b>
<b>Gesellschaft/Gesundh.</b>		Themenbereich Gesellschaft und Gesundheit und Links zu zugehörigen PKs
<b>Mitarbeiter</b>		Mitarbeiterliste nach Teilprojekt und Funktionen
<b>Digitaler Atlas</b>		Information zum Interaktiven Digitalen Atlas und Start-Grafik Benin
<b>Übersicht</b>		Einleitung zu Szenarien und Themenbereichen der PKs in Marokko
<b>Szenarien</b>		allgemeine Szenarien und Klimaszenarien Marokko
<b>Existenzsicherung</b>		Themenbereich Existenzsicherung und Links zu zugehörigen PKs
<b>Hydrologie</b>		Themenbereich Hydrologie und Links zu zugehörigen PKs
<b>Landnutzung</b>		Themenbereich Landnutzung und Links zu zugehörigen PKs
<b>Gesellschaft</b>		Themenbereich Gesellschaft und Links zu zugehörigen PKs
Marokko	<b>Mitarbeiter</b>	Mitarbeiterliste nach Teilprojekt und Funktionen
	<b>Digitaler Atlas</b>	Information zum Interaktiven Digitalen Atlas und Start-Grafik Marokko
	<b>Übersicht</b>	Einleitung zu Capacity Building
	<b>CB Benin</b>	CB-Ansätzen/Maßnahmen in Benin, Roadmap
Capacity Building	<b>CB Marokko</b>	CB-Ansätzen/Maßnahmen in Marokko, Roadmap

<b>Spatial Decision Support Systems</b>	<b>Übersicht</b> <b>SDSS Benin</b> <b>SDSS Marokko</b> <b>techn. Framework</b> <b>Publikationen</b>	Einleitung zu SDSS SDSS für die Anwendung in Benin SDSS für die Anwendung in Marokko programmtechnische Umsetzung der SDSS begutachtete Artikel, Buchbeiträge, Doktor- und Diplomarbeiten
<b>Veröffentlichungen</b>	<b>Berichte</b> <b>Tagungen</b>	Zwischen- und Endberichte, Statusbericht Poster und Vorträge von IMPETUS und GLOWA-Tagungen
<b>Daten</b>	<b>Übersicht</b> <b>Suche</b>	Einleitung zum Datenbereich: Metadatenbank, Download, Datenpolitik Suchformular für öffentliche Suche
<b>Termine</b>	<b>Roadmap</b> <b>Veranstaltungen</b>	Grundlegende Termine, Milestones, etc. des Projektfortschritts Auflistung Veranstaltungen
<b>Mitarbeiter</b>	<b>Mitarbeiter</b> <b>Institute</b>	Mitarbeiterliste mit Kontaktinformationen Institutsliste mit Kontaktinformationen

## Design und Navigation

Die Unterteilung der Webseite ist durch einen abgegrenzten Banner und farbige Abtrennung des Menübereichs klarer gestaltet. Farblich werden die Töne des IMPETUS-Logos aufgegriffen (blau, orange), wobei der Banner Motive aus den Projektregionen rund um das Thema Wasser zeigt. Der Designentwurf (Abb. 5) wurde in den Grundzügen festgelegt und unterliegt in der Realisierungsphase noch Überarbeitungen und Optimierungen. Eine zeitgemäße Umsetzung der Navigation wie auch die Berücksichtigung der Anforderungen an Barrierefreiheit ist durch den Einsatz von TYPO3 gewährleistet.



Abb. II.4-1: Designentwurf für die IPETUS Home-Page

**Literatur**

- Laudien, R., Giertz, S., Thamm, H.-P., Dieckrüger, B. & Bareth, G. (2006): Customizing ArcGIS for spatial decision support - Case study: Locating potential small water reservoirs in Benin.- Proceedings of Spie, Geoinformatics 2006, 28-29.10.2006, Wuhan, China, 64210KY, ISSN 0277-786X, ISBN 0-8194-6530-5.
- Laudien, R., Röhrig, J., Bareth, G. & Menz, G. (2007): Spatial Decision Support System zur Modellierung der agrarischen Marginalität in Benin (Afrika), AGIT 2007, Salzburg, accepted .
- Laudien, R. und Bareth, G. (2007): Entwicklung und Programmierung räumlicher Entscheidungsunterstützungssysteme mit ArcGIS Engine und Java.-GIS, in print.
- Röhrig, J. & Menz, G. (2005): The determination of natural agricultural potential in Western Africa using the fuzzy logic based marginality index.- EARSel eProceedings 4 (1), 9-17.
- [http://www.rsrge.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/earsel\\_eproceedings\\_04\\_1\\_roehrig1.pdf](http://www.rsrge.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/earsel_eproceedings_04_1_roehrig1.pdf)
- Thamm, H.-P. (2006): Ausweisung von geeigneten Standorten und nachhaltiges Management von Kleinstauseen für die Landwirtschaft.- In P. Speth and B. Dieckrüger (2006): IMPETUS: Sechster Zwischenbericht, Zeitraum:1.1.2005 – 31.12.2005, (2006), <http://www.impetus.uni-koeln.de>



### III Stand der Problemkomplexe

#### III.1 Benin und seine Themenbereiche

##### III.1.1 Ernährungssicherung

#### PK Be-E.1 Landnutzung und Versorgungssicherung bei Ressourcenknappheit und Niederschlagsvariabilität in Benin



#### Problemstellung

Die agrarische Landnutzung ist ein in zunehmendem Maße wichtiger Bestandteil der Gesamtlandnutzung in Benin, und darüber hinaus die Basis für die Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Kennzeichnend für die beninische Landwirtschaft ist nach wie vor der Wanderfeldbau, in welchem sich Feldfrüchte mit Bracheperioden abwechseln. Bewässerungslandwirtschaft wird bislang nur in sehr geringem Ausmaß betrieben. Damit bestehen zwischen Art und Umfang der landwirtschaftlichen Nutzung und dem Wasserkreislauf in erster Linie folgende Zusammenhänge:

Zum einen sorgt der Klimawandel für eine Änderung des Ertragspotenzials der wichtigsten Nutzpflanzen, während der Nahrungsbedarf der zunehmenden Bevölkerung bei geringem Betriebsmitteleinsatz nur durch die Kultivierung bisher ungenutzter Flächen sowie die Verkürzung der Bracheperioden bewerkstelligt werden kann. Folgen sind eine zunehmende Entwaldung des Landes und Bodendegradation.

Die fortlaufende Ausdehnung der agrarisch genutzten Landfläche bewirkt eine Veränderung der vegetativen Biomasse hinsichtlich Umfang und Zusammensetzung. Daher ist die Integration der zugrunde liegenden ökonomischen Prozesse in ein DSS unabdingbar.

Der geringe Entwicklungsstand des Landes hat zu Folge, dass der Landbevölkerung kaum Alternativen zur derzeitigen Subsistenzwirtschaft als Haupterwerbsquelle zur Verfügung stehen. Die hohen Kosten für die Vermarktung von Produkten und den Kauf von Dünge- und anderen Betriebsmitteln sowie der weitgehend fehlende Zugang zu Kleinkrediten sorgen dafür, dass Produktivitätssteigerungen und Spezialisierung in den Farmhaushalten unterbleiben. Die noch frei zugänglichen Landreserven sowie die angesichts der verbreiteten Unterbeschäftigung im Überfluss vorhandene Arbeitskraft in den Dörfern sind somit die Ressourcen, mit denen tatsächlich gearbeitet wird. Erst bei einer Erschöpfung der Landreserven, wie sie im Süden zu beobachten ist, beginnt etwa der Einsatz von Dünger für die Bauern wirtschaftlich interessant zu werden.

Im Rahmen von IMPETUS bietet sich die Möglichkeit, die Ursachen dieses Dilemmas sowie seine Folgen für Landnutzung und Regionalklima durch interdisziplinäre Forschungs- und Modellierungsansätze genauer zu analysieren und die Wirkung möglicher Lösungsansätze zu vergleichen.

### **Mitarbeiter**

**Arnim Kuhn**, Ina Gruber, Christiane Stadler

### **Zielsetzung**

Ziel des Problemkomplexes ist zum einen die Weiterentwicklung von ökonomisch fundierten Szenarien hinsichtlich der Landnutzung, agrarischem Wasserbedarf und Lebensmittelversorgung in Benin für das Jahr 2025. Im Zentrum der Analyse steht die interdisziplinäre Simulation des Wanderfeldbaus im Einzugsgebiet des Oueme, aber auch die Landnutzung in anderen repräsentativen Gebieten Benins wie dem Baumwollgebiet und dem subtropischen Küstengebiet des Landes.

### **Forschungsansatz und Modellierung**

Während die Vegetation sich unter natürlichen Bedingungen als Folge von Klima, Bodenverhältnissen und Biodiversität entwickelt, wird ihre Zusammensetzung bei Zunahme der landwirtschaftlich genutzten Fläche von ökonomischen Entscheidungen der Bewohner bestimmt. Insofern ist eine bioökonomische Modellierung der agrarischen Landnutzung unabdingbar, um Aussagen zur künftigen Landbedeckung und der Vegetation treffen zu können. Mit den naturwissenschaftlich orientierten Disziplinen wird vor allem im Bereich der Ertragsmodellierung wichtiger Feldfrüchte sowie möglicher Anbauverfahren kooperiert. Mit den sozial- und humanwissenschaftlichen Disziplinen findet ein Austausch im Bereich Demographie, Migration, Urbanisierung und Lebensmittelkonsum statt.

In einem landwirtschaftlich geprägten Entwicklungsland wie Benin können Agrarsektormodelle als politische Entscheidungshilfen dienen, da sich mit ihrer Hilfe sowohl die Auswirkungen von exogenen Änderungen (Szenarien zu Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, technischer Fortschritt) als auch alternative Strategien der Wirtschafts- und Agrarpolitik quantifizieren und bewerten lassen



können. Die Erstellung und Anpassung derartiger Modellsysteme erfordert jedoch Ressourcen, die oftmals in den Partnerländern nicht bereitgestellt werden können. Insofern ist ein wichtiges Ziel in PK Be-E.1, ein den besonderen Produktionsverhältnissen im Ouémé-Einzugsgebiet angepasstes Agrarsektormodell zu entwickeln und Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern in Benin verfügbar zu machen.

Die besondere Herausforderung an ein agrarökonomisches Modell für IMPETUS-Benin besteht darin, diejenigen wirtschaftlichen Prozesse zu identifizieren und abzubilden, welche letztlich die beobachtete Landnutzung bestimmen. Die Landnutzung determiniert die Vegetationsbedeckung des Landes, und spielt damit eine entscheidende Rolle im Wasserkreislauf. Landnutzung erfolgt zum einen in der Form von Ackerbau und Dauerkulturen (Sträucher und Bäume). Aber auch der Wald bzw. Baumsavanne werden als Quelle für Bau- und Feuerholz, als Viehweide und als Jagdrevier genutzt. Die beobachteten Trends der letzten Jahre zeigen eine starke Zunahme der ackerbaulichen Nutzung mit entsprechenden Rückgängen der Nutzung von Wald. Verbunden ist dies mit einem Rückgang des Volumens der Vegetationsbedeckung. Aufgabe der Agrarsektormodellierung ist es, die ökonomischen Ursachen als auch die Geschwindigkeit dieses Nutzungswandels zu erklären. Hierzu ist es zum einen nötig, ein Modell zu verwenden, das die wirtschaftlichen Bedingungen von Subsistenzlandwirtschaft unter Bevölkerungsdruck wiedergibt. Weiters ist eine angemessene dynamische Formulierung und Parametrisierung des Modells erforderlich, um künftige Entwicklungen abschätzen zu können. Wesentliche treibende Faktoren sind hier in erster Linie das lokale Bevölkerungswachstum und die Entwicklung alternativer Einkommensmöglichkeiten, aber auch die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln und der Zugang der Landwirte zu Kredit.

Es existieren mittlerweile eine Reihe von Simulationsmodellen, welche die Problematik des Ressourcenverbrauchs in der Subsistenzlandwirtschaft bei Bevölkerungsdruck in tropischen Ländern nachzubilden versuchen. Basierend auf den Arbeiten von A.V. Chayanov, E. Boserup und H. Binswanger (Chayanov, 1966; Boserup, 1965; Binswanger und Rosenzweig, 1986) hat sich eine neue Klasse sogenannter ‚Bio-Ökonomischer‘ Modelle entwickelt, die in interdisziplinärer Weise Probleme von Subsistenzlandwirtschaft und dem Management natürlicher Ressourcen analysieren (Holden, 2004). Barbier und Bergeron (2001) entwickelten ein rekursiv-dynamisches bioökonomisches Modell für ein kleines Flusseinzugsgebiet in Honduras mit einem fünfjährigen Planungshorizont. Die Ressourcenausstattung besteht aus Arbeitskräften, Vieh, Baumbestand, Bodenqualität und Pflügen. Ertragsänderungen werden mit dem Modell EPIC simuliert, welches auch in IMPETUS verwendet wird (PK B6). Barbier und Hazell (2000) konzentrieren sich auf das Zusammenspiel von Ackerbauern und transhumanten Viehhaltern in einem Dorf in Niger, und bezogen in ihre dynamische Analyse auch das Risiko von Dürre Jahren mit ein. Beide Arbeiten enthalten wichtige Elemente für die Modellierung des Farmsystems im Ouémé-Einzugsgebiet, die in BenIMPACT realisiert wird. Ähnliche Modelle aus jüngerer Zeit wurden entwickelt durch Okomu et al. (2004) sowie Holden und Shiferaw (2004). Für Benin im Speziellen wurden verschiedene ökonomische Modelle erstellt, die meist den Agrarsektor in den Mittelpunkt der Betrachtung stellen. Aktuell sind folgende Autoren zu nennen, die mit verschiedenen Ansätzen die Auswirkungen veränderter sozioökonomischer und politischer Rahmenbedingungen analysieren: Van den Akker (2000), Senahoun (2001) und Abiassi (2002). Während die beiden letztgenannten Studien vor allem die Auswirkungen der Abwertung des FCFA betrachten, werden in der Studie von Van den Akker (2000) die Auswirkungen

gen technischer und institutioneller Innovationen in der Landwirtschaft bis zum Jahr 2010 projiziert.

Zur numerischen Analyse wird auf der Basis des oben beschriebenen methodischen Ansatzes das im Rahmen der bisherigen Arbeit von IMPETUS entwickelte Agrarsektormodell BenIMPACT (Benin Integrated Modelling System for Policy Analysis, Climate and Technology Change) verwendet. BenIMPACT ist ein regionales Simulationsmodell für Angebot und Nachfrage von Agrarprodukten in Benin (Partialmodell). Dieses setzt sich zusammen aus einem numerischen Simulationsalgorithmus, einem kartographischen Visualisierungstool (BenMap) und einem XML-basierten Tool zur tabellarischen und graphischen Darstellung der numerischen Ergebnisse von Basisläufen und Simulationen. In modelltheoretischer Hinsicht ist es in der zweiten Phase von IMPETUS gelungen, das Agrarsektormodell um methodische Neuerungen wie die Positive Mathematische Programmierung (Howitt, 1995) im Angebotsteil sowie eine Generalised Leontief-Nachfragefunktion (z. B. Ryan/Wales, 1996) zu erweitern.

Derzeit umfasst das Modell die zehn wichtigsten Anbaukulturen auf der Ebene der 77 kommunalen Verwaltungseinheiten, die im Zuge einer vorübergehenden Modellvereinfachung in aggregierter Form (Département-Ebene) simuliert werden. Die regionale Aggregation der Communes außerhalb des Einzugsgebietes ist in flexibler Weise möglich, um den Rechenaufwand des Modells gegebenenfalls zu vermindern. Eine graphische Darstellung der Struktur von BenIMPACT ist in der folgenden Abbildung zu sehen. Die Abbildung zeigt die modulare Struktur des Modells, wobei zwischen Dateninput („Data“, Basis- und Szenariodaten, weiße Felder), Dateien mit Programmiercode („Module“, GAMS-Format, orange) und Ergebnisdateien („Storage“, Zwischen- und Endresultate von Datenaufbereitung, Kalibrierungsalgorithmen und Simulationen im GDX-Format, gelb) unterschieden wird.

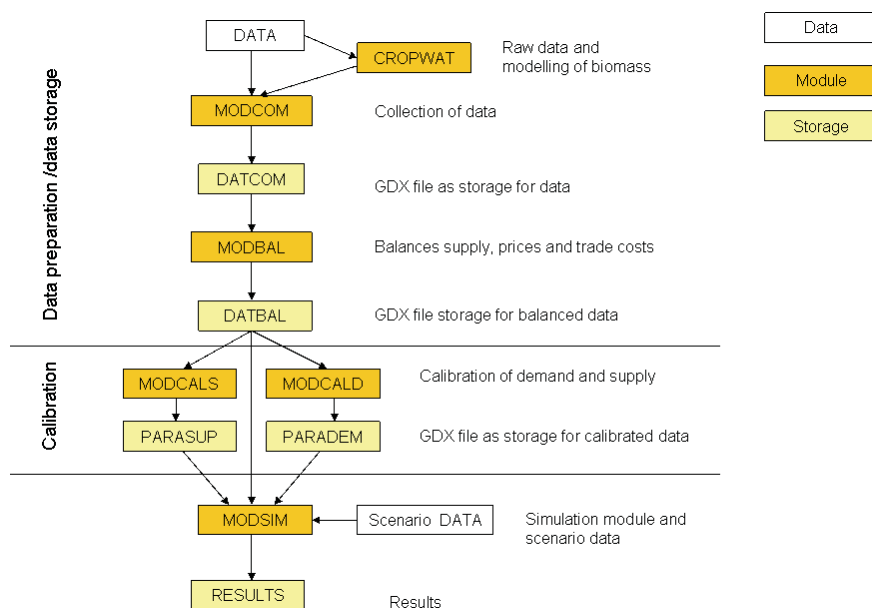


Abb. III.1.1-1: Modulare Struktur von BenIMPACT; Quelle: Gruber (2006)

Die Rolle von BenIMPACT in der ‚Zusammenarbeit‘ mit anderen Modellen ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

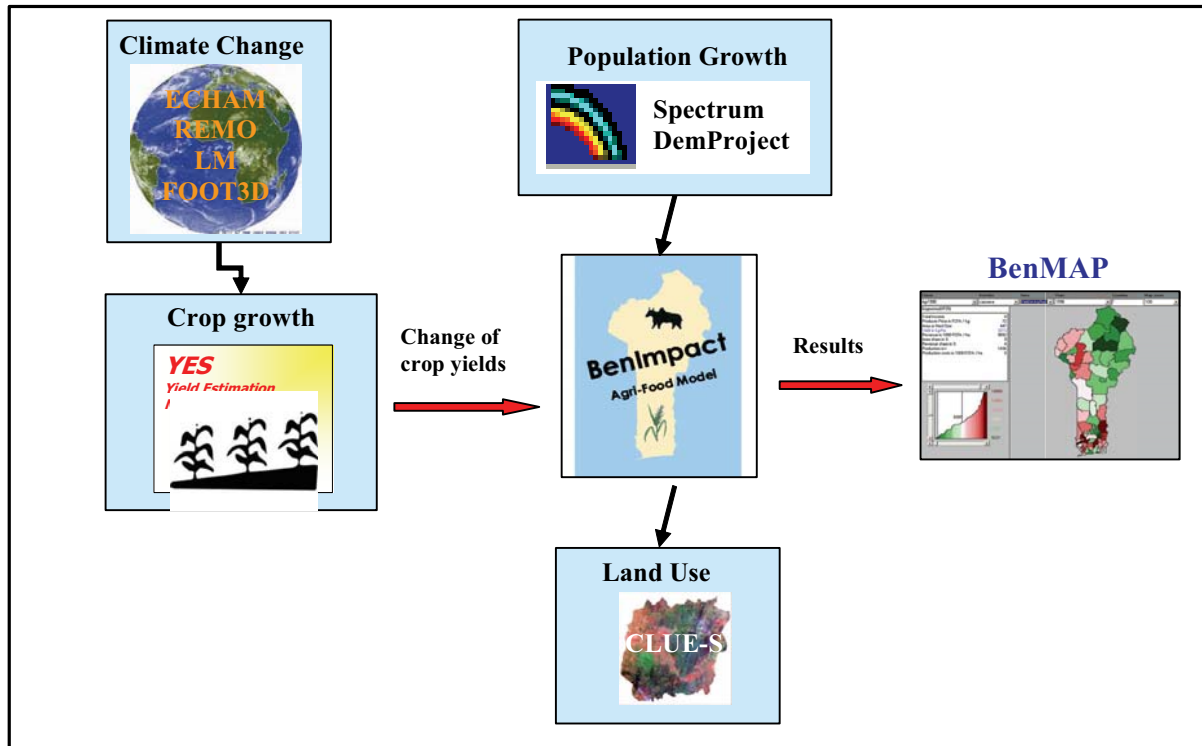


Abb. III.1.1-2: Modellkopplung für PK Be-E.1

Andere Modelle liefern indirekt (z.B. Klimamodelle, über Ertragsmodellierung) oder direkt Ergebnisse, die in BenIMPACT weiterverwendet werden (z.B. DemProject, PK Be-G.1). Andererseits stellen die Ergebnisse von BenIMPACT hinsichtlich der Zunahme der agrarischen Fläche in die Landnutzungsmodelle der CLUE-S Klasse (PK Be-L.1) ein. Die Ergebnisse von BenIMPACT werden mittels BenMAP visualisiert und können als XML-Tabellen oder Landkarten direkt via Internet abgerufen werden.

Die Datengrundlage von BenIMPACT basiert auf der Regionalstatistik Benins. Die Produktion von landwirtschaftlichen Produkten, abgeleitet aus Flächen und Hektarerträgen, stellt eine wichtige Komponente dar. Des Weiteren wurden im Verlauf des Projekts Produktionskosten für einzelne Kulturen erhoben. Der Input von anderen Disziplinen in IMPETUS umfasst regionale Klimaentwicklung, Niederschläge, Ertragspotenziale, Ertragsreaktionen von Feldfrüchten unter Wasserstress, sowie demographische Entwicklungen.

### Arbeiten im PK Be-E.1 im Berichtszeitraum

Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum war die Weiterentwicklung des Agrarsektormodells BenIMPACT. Als Hauptergebnisse können die Erstellung einer konsistenten regionalen Datenbank, auf deren Grundlage das Modell kalibriert wird, sowie die Konzeption und Programmierung des eigentlichen Optimierungsmodells genannt. Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

Die Angebotsabbildung des BenIMPACT-Modells wurde dahingehend weiterentwickelt, dass die Flächenkalibrierung mittels Positiver Mathematischer Programmierung nicht mehr absolute Flächen, sondern Flächenanteile der Feldfrüchte an der Gesamtfläche zum Ziel hat. Die Herausforderung bestand darin, einen aus der Linearen Optimierung entwickelten aktivitätsanalytischen Ansatz so zu modifizieren, dass die durch die Mengenkilbrierung errechnete Basisjahrsituation genau wiedergegeben wird, und dass darüber hinaus die sich ergebende Produktionsfunktionen für einzelne Feldkulturen ein Anbieterverhalten abbilden, das den Anforderungen akzeptierter mikroökonomischer Theoreme entspricht. Hintergrund dieser Änderung war die zu geringe Flexibilität des Modells hinsichtlich der Ausdehnung der Gesamtfläche im Zeitablauf, so lange *absolute* Abweichungen von den Basisflächen zu Kostensteigerungen führen. Die derzeitige Kalibrierung lässt die Gesamtfläche in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Arbeitskräften frei schwanken.

Allerdings ergab sich bei Simulationen mit dieser neuen Angebotskalibrierung, dass die Flächenausdehnung im Zeitablauf nun überschätzt ist. Die landwirtschaftliche Flächenausdehnung ist durch die maximal verfügbare Fläche pro Sub-Region begrenzt. Der derzeitige Modellierungsansatz erzwingt die Einhaltung dieser Begrenzung durch die *Opportunitätskosten der Landnutzung*, welche die marginale Verwertung des Produktionsfaktors Land und damit einen *Preis für Land* darstellen. Dieser ist definitionsgemäß Null, so lange die Maximalfläche nicht erreicht wird (d.h. Land nicht knapp ist), und steigt dann rasch an. Allerdings ist eine solche Annahme aus zwei Gründen unrealistisch:

Zum einen ist es unwahrscheinlich, dass die Landpreise trotz noch vorhandener Landreserven Null sind. Auch in Regionen mit noch reichlich vorhandenen Landreserven gibt es monetäre und nicht-monetäre Preise für Landnutzung (Pacht, Kauf, etc.), welche zumindest die Kosten der Nutzbarmachung des Landes und den Wert der Rotationsbranche widerspiegeln, aber auch alternative Landnutzungen wie Forst, Jagd oder Viehweide.

Bei zunehmender Stadtnähe nehmen die außerlandwirtschaftlichen Möglichkeiten der Landnutzung stark zu, damit die Konkurrenz um Land, was die Landpreise stark ansteigen lässt. Dies hat negative Auswirkungen auf die relative Wettbewerbsfähigkeit der agrarischen Landnutzung, und ist der Grund für die Annahme, dass die landwirtschaftlich Flächenausdehnung mit zunehmender regionaler Bevölkerungsdichte immer stärker verlangsamt wird, um schließlich gegen einen nicht a-priori näher bestimmbar Grenzwert zu konvergieren.

Da das Ausmaß der nicht-agrarischen Landnutzung nicht in BenIMPACT endogen bestimmt wird, muss eine kontinuierlich steigende Landpreisfunktion identifiziert werden, die auch beispielsweise von der Zunahme des Bevölkerungswachstums oder der Urbanisierung einer Region abhängig ist. Eine Erhebung des derzeitigen regionalen Landpreisniveaus wird 2007 im Rahmen der Unterstützung einer Masterarbeit in Benin stattfinden. Die beninische Studentin wird auf der Basis der erhobenen Daten eine Schätzfunktion der regionalen Landpreise ermitteln.

Die Bedeutung des regionalen Arbeitsmarktes und insbesondere des außerlandwirtschaftlichen Vergleichslohnes für die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen wurde durch die im Berichtszeitraum durchgeführten Simulationsläufe deutlich. Vor allem in Regionen mit nur noch beschränkt verfügbaren Landreserven führt der Druck von landwirtschaftlichen Arbeitskräften auf den regionalen Arbeitsmarkt zu einer negativen des regionalen Lohnsatzes und damit auch der Einkommen, wie die folgende Abbildung zeigt.

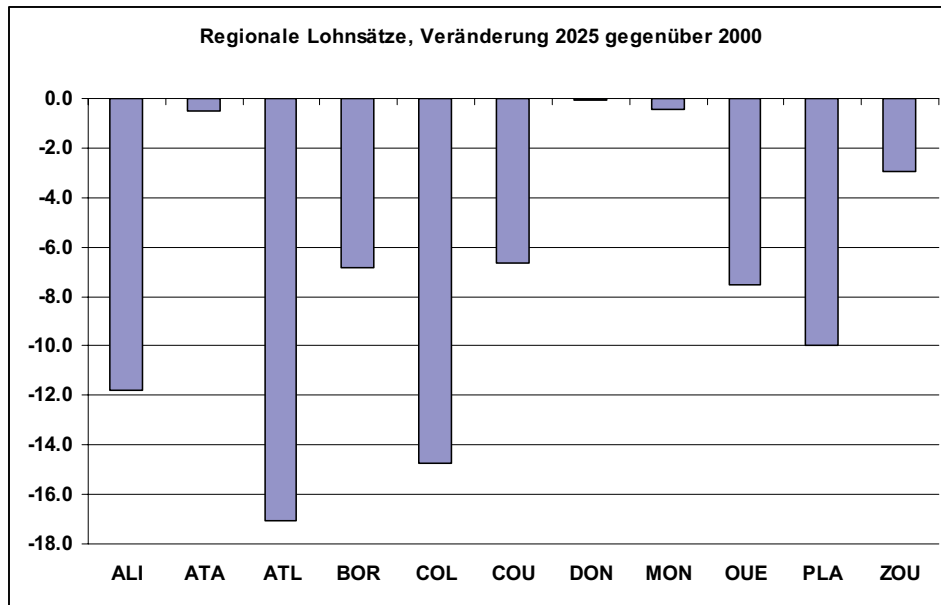


Abb. III.1.1-3: Ergebnisse eines BenIMPACT-Simulationslaufs, Basisszenario 2000 bis 2025

Wodurch kommen diese Ergebnisse zustande? Die zunehmende Landknappheit führt zu einem anstieg der Kosten der Landnutzung und damit einer geringeren Rentabilität der Landwirtschaft. Dadurch steigt der Abwanderungsdruck auf die regionalen Arbeitsmärkte und Lohnsätze. Die gezeigten Ergebnisse haben vorläufigen Charakter und unterschätzen sicherlich die Absorptionsfähigkeit des wachsenden außerlandwirtschaftlichen Sektors im Zeitablauf. Auch ist die Annahme nicht steigender Erträge in der Pflanzen- und Tierproduktion womöglich zu pessimistisch.

Bis Ende 2006 waren nur pflanzenbauliche Aktivitäten in BenIMPACT abgebildet. Im Rahmen der Arbeiten im PK Be-E.5 wurden jüngst Viehhaltungsaktivitäten eingeführt, die mit dem Pflanzenbau um die Ressource (potenzielle) Ackerfläche konkurrieren, sowie mit privaten Haushalten um die Ressource Trinkwasser. Eine detaillierte Beschreibung Modellentwicklungen finden sich im Abschnitt über den genannten PK Be-E.5.

Bislang werden Punktsimulationen für die Jahre 2000 („Basisjahr“) und 2025 („Simulationsjahr“) berechnet. Seit Mitte 2006 ist BenIMPACT in ein rekursiv-dynamisches Modell überführt worden. Das Modell rechnet nun in Fünf-Jahresschritten vom Basisjahr 2000 bis 2025, und kann damit künftige Entwicklungspfade aufzeigen.

Ungeachtet der bisher erreichten Plausibilität der BenIMPACT-Ergebnisse im Rahmen der komparativ-statischen Analyse besteht die Notwendigkeit der Erhebung von Primärdaten auf Dorfebene zur Problematik des Ertragsrückgangs im Feld-Brache-Zyklus. Dies ist eine notwendige Voraussetzung zur Entwicklung eines dynamischen Modellierungsansatzes der Landnutzung. Eine Befragung von ca. 180 Landwirten im Sommer 2006 erfasste explizit die dynamischen Aspekte der Landnutzung. Ein besonderer Schwerpunkt des Fragebogens ist die Erfassung des ökonomischen Nutzens der Brache (Akkumulation von Pflanzennährstoffen, Feuerholz). Dieser bestimmt im wesentlichen die Dauer der Brache, und damit einen wesentlichen Teil der regionale Vegetationsbedeckung so-

wie deren Veränderungen im Zeitablauf. Die Befragung wird derzeit noch in Benin wissenschaftlich ausgewertet, Ergebnisse lagen jedoch zur Zeit der Abfassung dieses Berichts noch nicht vor.

### **Literatur**

- Abiassi, E.H., 2002: Exchange Rate Adjustment, Food Security and Welfare of Small-Scale Farmers in Southern Benin - A Computable Household Model Analysis, Margraf Verlag.
- Barbier, B. und Hazell, P., 2000: Implications of Population Growth and Declining Access to Transhumant Grazing Area for Sustainability of Agropastoral Systems in the Semi-Arid Area of Niger. In: Property Rights, Risk and Livestock Development in Africa. S.371-395.
- Binswanger, H. and Rosenzweig, M. R., 1986: Behavioral and Material Determinants of Production Relations in Agriculture. *Journal of Development Studies* 22, 503-539.
- Boserup, E., 1965: The conditions of agricultural growth. The economics of agrarian change under population pressure. Earthscan Publications Ltd., London.
- Butt, T., 2003: Economic and Food Security Implications of Climate Change – A Case Study of Mali.
- Chayanov, A. V., 1966: The Theory of Peasant Economy. D. Thorner, B. Kerblay and R. E. F. Smith (Eds.). Irwin, Homewood, Illinois.
- Gruber, I. 2006: How to meet future demand for animal products: the case of Benin. Poster, Tropentag 2006, Bonn.
- Holden, S. T. und Shiferaw, B., 2004: Land Degradation, Drought and Food Security in a Less-favoured Area in the Ethiopian Highlands: A Bio-economic Model with Market Imperfections. *Agricultural Economics* 30, 1, 31-49.
- Howitt, R.E., 1995: Positive Mathematical Programming. *Amer. J. Agr. Econ.* 77(2) pp. 329-42.
- Ryan, D.L.; Wales, T.J., 1996: Flexible and semiflexible consumer demands with quadratic Engel curves; Discussion paper No. 96-30, University of British Columbia.
- Senahoun, J., 2001: Programmes d'ajustement structurel, sécurité alimentaire et durabilité agricole. Une approche d'analyse intégrée, appliquée au Bénin, In: Development Economics and Policy. Frankfurt: Peter Lang Verlag. Institute for Agricultural Policy, University of Bonn.
- Van den Akker, E., 2000: Makroökonomische Bewertung der Auswirkungen von technischen und institutionellen Innovationen in der Landwirtschaft in Benin, Verlag Grauer, Beuren, Stuttgart.

## **PK Be-E.2 Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, Klimaveränderungen und Pflanzenmanagement auf Bodendegradation und Ernteertrag im oberen Ouémé-Einzugsgebiet**



Degradierte Ackerfläche in der Nähe von Djougou

### **Problemstellung**

Aufgrund des anhaltenden Bevölkerungswachstums im Untersuchungsgebiet ist eine zunehmende Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Fläche sowie ein verstärkter Nutzungsdruck auf die bereits vorhandenen Felder zu verzeichnen. Als Folge von verkürzten Brachezeiten, mangelndem Düngereinsatz, regelmäßigem Abbrennen der Biomasse sowie Bodenerosion durch Wasser, zeigen die Böden in einigen Teilen des Untersuchungsgebiets bereits starke Degradationserscheinungen. Mit dem Verlust an Bodenfruchtbarkeit und der schlechteren Durchwurzelbarkeit ist kurz- (wenige Jahre) bis mittelfristig (Jahrzehnte) mit Einbußen bei den Ernteerträgen zu rechnen. Diese sind zum Teil irreversibel und angesichts der vorherrschenden Subsistenzwirtschaft für die Landbevölkerung von existenzieller Bedeutung.

Die Entwicklung der Erträge nimmt eine zentrale Rolle hinsichtlich der zukünftigen Landnutzungsänderungen ein, da sie maßgeblich die Flächenausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzung bestimmt. Sowohl die quantitativ genutzte Fläche, als auch die Intensität der Nutzung nehmen direkten Einfluss auf den Gebietswasserhaushalt.

Im Hinblick auf die Ernährungssicherung ist es daher wichtig, die Zusammenhänge zwischen Klima, Landnutzung, Ertrag, Bodeneigenschaften und Anbausystemen zu analysieren und zu quantifizieren.

Dabei geht es um vier zentrale Fragen:

- Welche Effekte üben gegenwärtige und zukünftige Veränderungen in der Landnutzung und im Klima auf die Bodenerosion aus? Welche Gebiete im oberen Ouémé-Einzugsgebiet sind besonders erosionsgefährdet?

- Wie wirken sich Klimaveränderungen und Bodendegradation auf den Ernteertrag wichtiger Feldfrüchte aus?
- Kann durch veränderte Managementstrategien, wie beispielsweise den Einsatz von Dünger, der Ernteertrag gesteigert bzw. die Bodenerosion reduziert werden?
- Welche Konsequenzen ergeben sich hinsichtlich der Ernährungssicherung für die Zukunft?

### Mitarbeiter

**Claudia Hiepe**, Christiane Stadler

### Zielsetzung

Das Hauptziel der Arbeiten des Jahres 2006 bestand in der Modellierung des zukünftigen Bodenaustrages unter Berücksichtigung von Klima- und Landnutzungsszenarien, wie sie aus den IMPETUS Szenarien abgeleitet wurden sowie in der abschließenden Parametrisierung und Grobkalibrierung des Ertragsmodells.

Als Voraussetzung für den Abschluss der Szenarienanalyse wurde das Erosionsmodell abschließend kalibriert und zeitlich und räumlich validiert. Im Rahmen dessen wurde die Modellierungsperiode auf den Zeitraum 1998-2005 ausgedehnt. Mittels der in den Jahren 2004 und 2005 durchgeführten Schwebstoffmessungen wurde der Stoffhaushalt des Modells kalibriert. Zwei Klimaszenarien mit je drei Läufen sowie ein erstes Landnutzungsszenarium wurden berechnet.

Als Grundlage für die Ertragsmodellierung wurden weitere Felddaten zu den Hauptanbaufrüchten sowie Bodendaten erhoben. Die Ergebnisse aus den Düngerversuchen für Managementszenarien liegen ebenfalls vor.

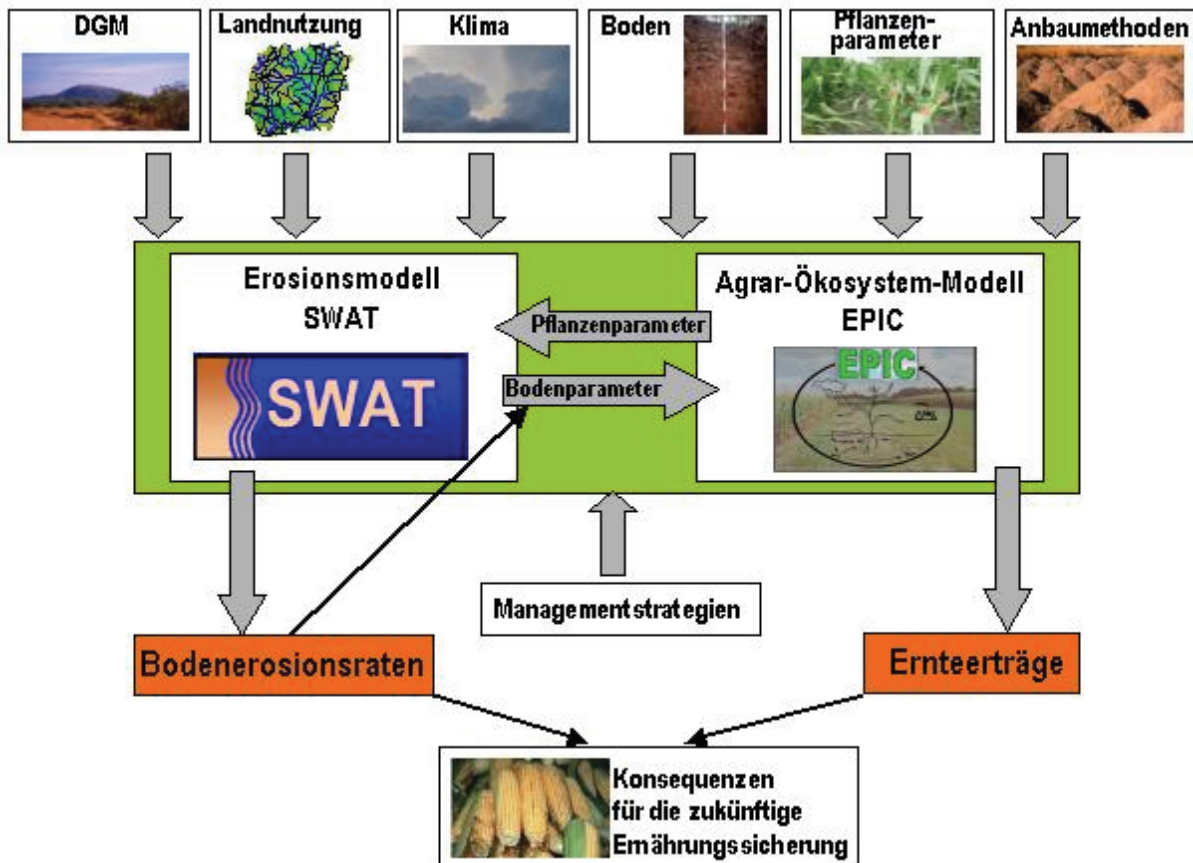
Des Weiteren wurden im Hinblick auf den Wissenstransfer und die Entwicklung eines *Spatial Decision Support Systems* (SDSS) bestehende Kontakte in Benin ausgebaut und zusätzliche geknüpft. Für das zum Problemkomplex gehörige SDSS wurde ein Konzept entwickelt und mit Stakeholdern in Benin diskutiert.

### Modellierung

Das Blockdiagramm zeigt die wichtigsten Input- und Outputdaten für die verwendeten Modelle SWAT und EPIC. Die Notwendigkeit für die Anwendung von zwei verschiedenen Modellen ergibt sich aus den betrachteten Raumskalen. EPIC ist ein Standortmodell, welches mittels GIS für

viele einzelne Standorte im Untersuchungsgebiet angewendet werden kann. Im Gegensatz dazu ist SWAT ein regionales Simulationsmodell, welches in einer gröberen räumlichen Auflösung unter Berücksichtigung der Kopplung mit dem Vorflutersystem die hydrologischen und erosiven Prozesse simuliert. EPIC berechnet das Pflanzenwachstum wesentlich detaillierter als SWAT, benötigt aber sehr viele Eingangsdaten, die regional nur eingeschränkt vorliegen. Für eine Ausweisung von Hot Spots und eine regionalen Abschätzung der Bodendegradation ist daher eher SWAT geeignet.





Für die mit SWAT ausgewiesenen kritischen Regionen können nachfolgend mit EPIC detaillierte Simulationen zum Ertrag und Pflanzenmanagement durchgeführt werden. Zwischen den Modellen werden Boden- und Pflanzenparameter für Szenarienrechnungen ausgetauscht, eine Modellkoppelung im eigentlichen Sinne findet nicht statt. Die Ergebnisse beider Modelle sollen im Zusammenhang interpretiert und mit „Stakeholdern“ diskutiert werden.

#### a) Erosionsmodellierung mit SWAT

Mittels des zeitkontinuierlichen, konzeptionellen Modells SWAT („soil water assessment tool“) wird auf Grundlage der hydrologischen Prozesse und der semi-empirischen „modified unified soil loss equation“ der Bodenabtrag für das gesamte Einzugsgebiet des oberen Ouémé berechnet. Aus dem Bodenabtrag wird der Verlust an Oberboden und Bodenfruchtbarkeit abgeschätzt. Die IMPETUS-Szenarien werden mittels Landnutzungskarten und Klimadaten in das kalibrierte und validierte Erosionsmodell implementiert. Wenn die landwirtschaftlichen Flächen (pro Kommune) mit Anteilen der Ackerfrüchte und einer dominanten Fruchtfolge parametrisiert werden, können mit SWAT auch regionale Pflanzenmanagementszenarien im Hinblick auf die Erosion gerechnet werden.

## b) Ertragsmodellierung mit EPIC

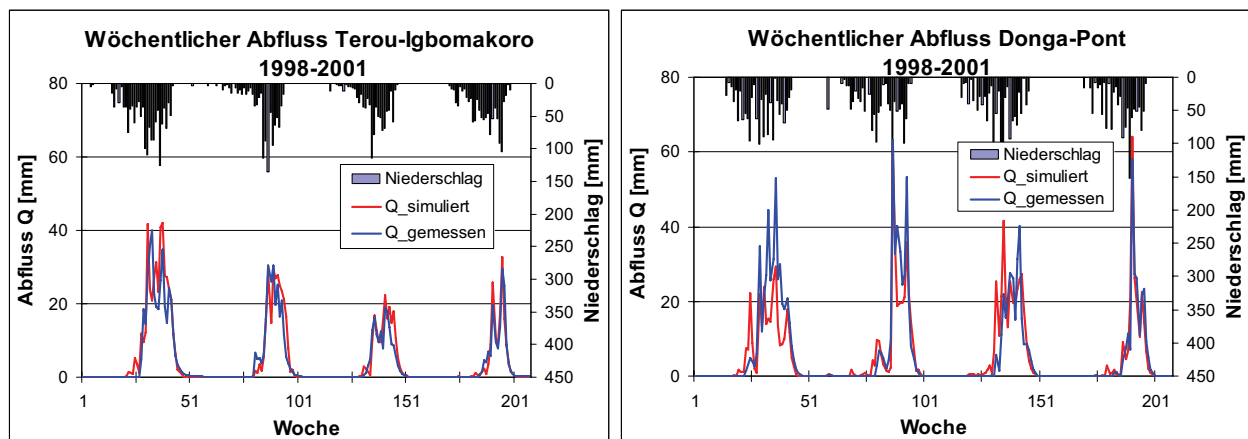
Durch das konzeptionelle Modell EPIC (früher „Erosion-Productivity-Impact-Calculator“, heute „Environmental-Policy-Integrated Climate“) werden alle relevanten biophysikalischen Prozesse eines Agrarökosystems in einzelnen Teilmodulen erfasst. Die Modellierung der Ernteerträge erfolgt für vier der wichtigsten Feldfrüchte in Benin: Mais, Yams, Sorghum und Maniok. Die in EPIC für US-amerikanische Verhältnisse enthaltenen Feldfrüchte Sorghum, Mais und Maniok werden für beninische Bedingungen parametrisiert, Yams dagegen ist neu in das Modell zu integrieren. Für das auf Feldskala kalibrierte und validierte Modell werden die IMPETUS Szenarien angewandt und anschließend über ein GIS aktuelle und zukünftige Ertragsabschätzungen für das obere Ouémé-Einzugsgebiet getroffen.

## Stand der bisherigen Arbeiten

### a) Erosionsmodellierung mit SWAT

#### *Modellkalibrierung/-validierung Oberes Ouémé Einzugsgebiet*

Die Modellierungsperiode wurde auf das Jahr 2005 ausgedehnt. Damit konnte der Wasserhaushalt für den Zeitraum 1998-2001 an den Pegeln Terou-Igbomakoro und Donga-Pont abschließend kalibriert sowie für den Zeitraum 2002-2005 validiert werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die simulierten und gemessenen Abflusskurven für den den Kalibrierungszeitraum (Modellgüte *Model Efficiency* 0,85; 0,70).

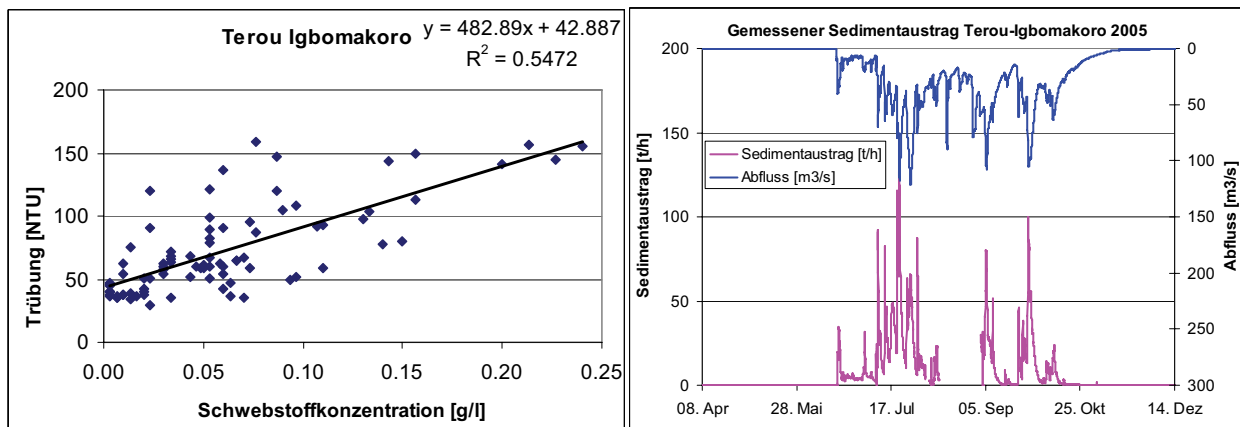


**Abb. III.1.1-4:** Simulierte und gemessene Abflusskurven an den Pegeln Terou-Igbomakoro und Donga-Pont für die Kalibrierungsperiode 1998-2001

Neben der zeitlichen Validierung wurde das Modell durch die Anwendung auf weitere Teileinzugsgebiete (Beterou, Ouémé Sani, Terou-Wanou) räumlich validiert. Die Werte für das Gütemaß *Mo-*

*del Efficiency* reichen für die Validierungsperiode von 0,57 bis 0,78. Die zeitliche Dynamik wird gut abgebildet, wobei Extremereignisse überschätzt werden. Das mit Hilfe eines Baseflowfilterprogramms sowie einer Abflussganglinienseparation anhand von Leitfähigkeitsmessungen ermittelte, mittlere Verhältnis zwischen Oberflächen- und Basisabfluss von ca. 1:2 wurde gut wiedergegeben. Insgesamt zeigt sich, dass das Modell SWAT das Abflussgeschehen im Oberen Ouémé Einzugsgebiet zufriedenstellend abbilden kann.

Zur Kalibrierung des Sedimenthaushaltes mussten zunächst die Trübungsmessungen der Jahre 2004 und 2005 aufbereitet werden. Die Eichkurven konnten anhand zusätzlicher Wasserproben aus den Jahren 2005 und 2006 deutlich verbessert werden. Die Bestimmtheitsmaße der entgültigen Eichbeziehungen für die Pegel Donga-Pont, Terou-Igbomakoro und Aguima Unterlauf liegen somit zwischen 0,55 bis 0,62. Nach der Umrechnung der kontinuierlichen Trübungsmessungen in Schwebstoffkonzentrationen (SSC) anhand der Eichkurven, konnte durch Multiplikation mit dem Abfluss der Schwebstoffaustrag (SY) bestimmt werden. **Abb. III.1.1-5** zeigt exemplarisch die Eichkurve sowie die ermittelte Sedimentkurve für den Pegel Terou Igbomakoro.



**Abb. III.1.1-5:** Pegel Terou Igbomakoro: a) Eichbeziehung Trübung und Schwebstoffkonzentration, b) ermittelte Sedimentkurve sowie dazugehöriger Abfluss für das Jahr 2005

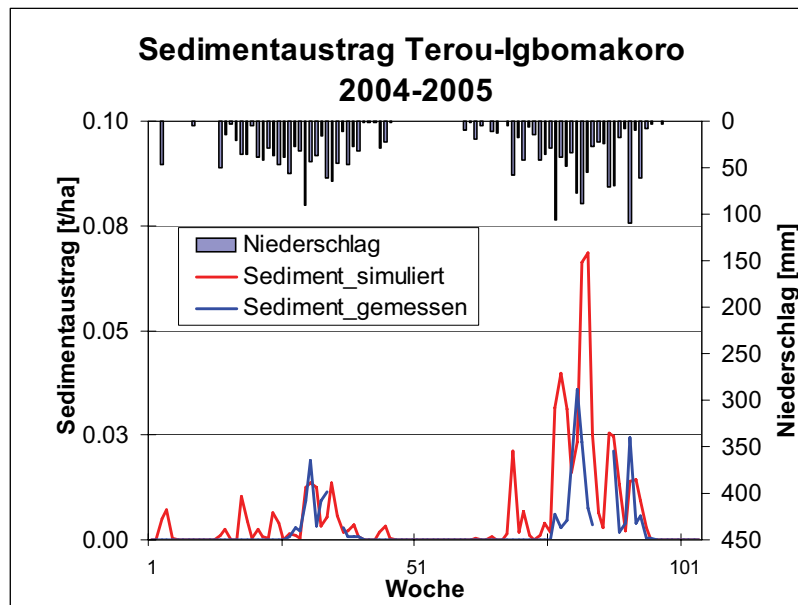
**Tab. III.1-1** fasst die gemessenen Sedimentausträge zusammen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ermittlung der Jahresbilanzen durch die Messlücken, insbesondere im Jahr 2004, erschwert wurde. Die gemessenen Werte sind somit als Mindestmengen anzusehen.

**Tab. III.1-1:** Gemessene Mindest- Sedimentausträge (SY) für verschiedene Teileinzugsgebiete basierend auf, aus Trübungsmessungen abgeleiteten, Schwebstoffkonzentrationen (SSC)

	Trübung [NTU]	SSC_Max [g/l]	SY_2004 [t/ha/a]	SY_2005 [t/ha/a]
<b>Donga-Pont</b>	0-700 (800)	1,22	>>0,05	0,41
<b>Terou-Igbomakoro</b>	0-248 (566)	1,08	>0,07	>0,17
<b>Aguima Unterlauf</b>	0-500 (756)	0,17	0,02	0,17
<b>Ouémé-Beterou</b>	-	1,03	0,05	-

In die Kalibrierung des Sedimenthaushaltes wurden auf Grund von Anfangsschwierigkeiten im Jahr 2004 die Schwebstoffmessungen der Jahre 2004 und 2005 einbezogen. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Sedimentkalibrierung für den Pegel Terou Igbomakoro. Dabei wurde lediglich der Bo-

denbedeckungsfaktor der *universal soil loss equation* (USLE) modifiziert. Die Überschätzung des Sedimentaustrags im Jahr 2005 ist auf Unzulänglichkeiten bei der Simulation extremer Abflussergebnisse zurückzuführen. Eine Validierung des Sedimenthaushaltes kann durchgeführt werden, sobald die Abflussdaten für das Jahr 2006 verfügbar sind. Nach abgeschlossener Kalibrierung des Stoff- und Wasserhaushaltes ist das Modell damit einsetzbar für Szenarienrechnungen. Der überwiegende Teil (87%) des Stoffaustrags stammt von landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie aus Gras- und Buschsavannen (12%).



**Abb. III.1.1-6:** Gemessener und simulierter Sedimentaustrag am Pegel Terou-Igbomakoro für die Kalibrierungsperiode 2004/2005

### **Szenarienanalyse Oberes Ouéme Einzugsgebiet**

Zur Berechnung der Klimaszenarien standen vom IMETUS Teilprojekt A1 je drei Ensemble-Läufe für die IPCC SRES Szenarien A1B (global, ökonomisch orientiert) und B1 (global, nachhaltig orientiert) mit dem regionalen Klimamodell REMO zur Verfügung. Die Konsistenz der REMO-Klimadaten wurde durch einen Vergleich der simulierten Werte mit Messwerten für den Zeitraum 1960-2000 überprüft. Die langjährigen monatlichen Niederschlagswerte, die Häufigkeitsverteilung der täglichen Niederschlagssummen sowie die nach Penman-Monteith berechneten Werte der potentiellen Evapotranspiration für die REMO-Daten stimmten mit den Messwerten gut überein. **Abb. III.1.1-7** veranschaulicht exemplarisch die Ergebnisse der Klimaszenarien für das Obere Ouémé Einzugsgebiet. Die Abnahme des mittleren jährlichen Niederschlags für die drei Läufe des Szenarium A1B führt zu einer mittleren Abnahme des Abflusses und des Sedimentaustrags, insbesondere im Zeitraum 2015-2025. Für das Szenarium B1 ist dieser Trend nicht eindeutig, da die Niederschläge für die drei Ensemble-Läufe deutlich voneinander abweichen.

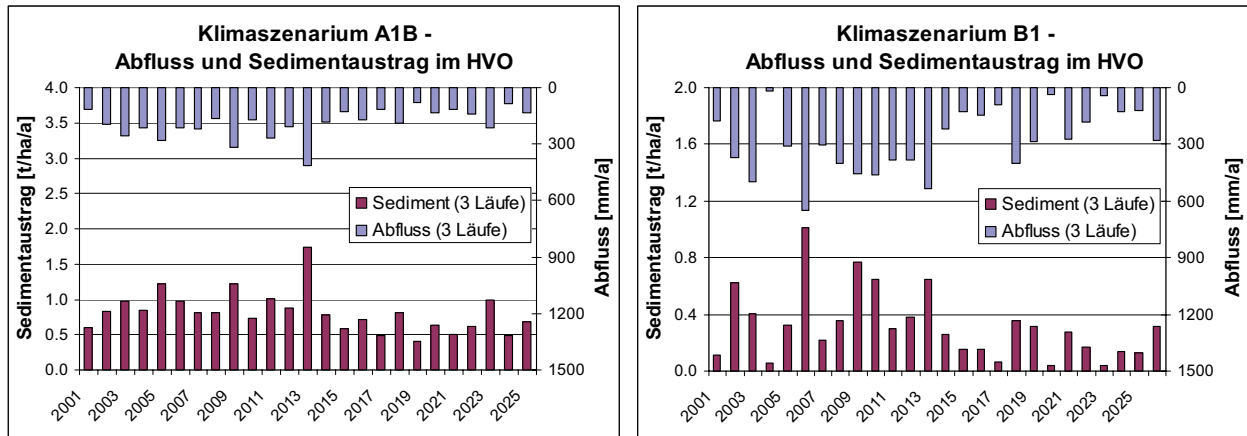


Abb. III.1.1-7: Simulierte Abflüsse und Sedimentausträge im Oberen Ouémé Einzugsgebiet für die Klimaszenarien A1B und B1 im Zeitraum 2000-2025

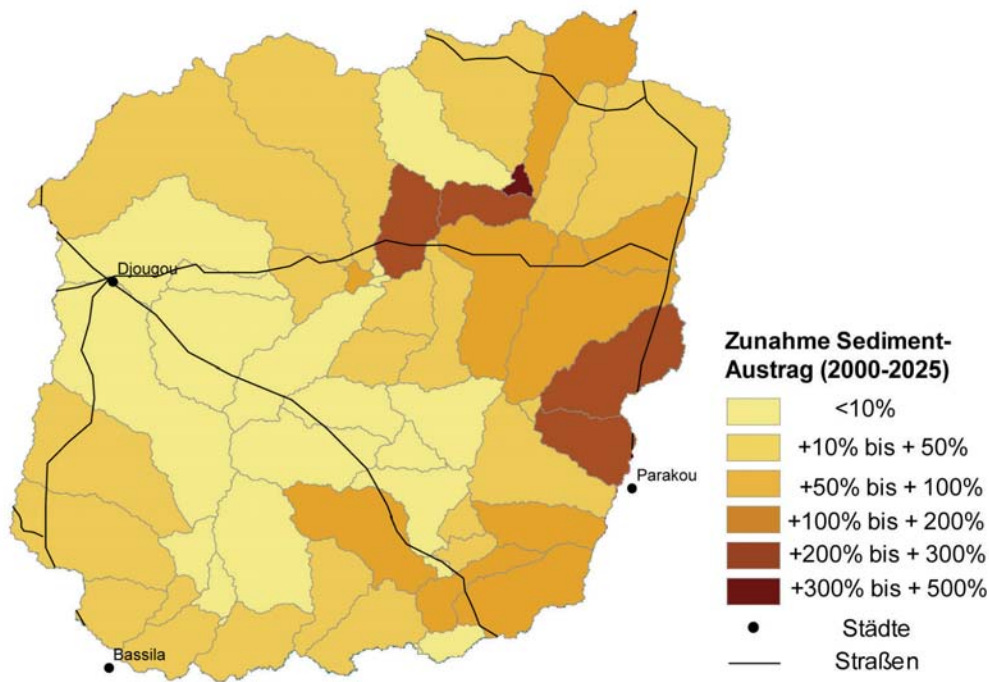


Abb. III.1.1-8

Als Ergebnis der Landnutzungsmodellierung mit dem Modell CLUE-S (IMPETUS Teilprojekt A3) stand ein „Business as usual“ – Szenarium zur Verfügung. Da die Implementierung einer neuen Landnutzungskarte in SWAT relativ aufwendig ist, wurde zunächst ein Modellauf für den Zeitraum 1998-2005 mit der Landnutzungskarte 2025 durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit dem Basis-Szenarium mit der aggregierten Landnutzungskarte für das Jahr 2000 verglichen. **Abb. III.1.1-8** zeigt die relative Änderung des Sedimentaustrags für die Teileinzugsgebiete im HVO. Der höchste relative Zuwachs findet im südwestlichen und nordöstlichen Teil des HVO statt, wo aktuell noch große Landressourcen verfügbar sind. In der am meisten degradierten Region um Djouougou bleibt der Sedimentaustrag nahezu konstant, da eine Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen kaum

noch möglich ist. Die höchsten absoluten Zunahmen des Sedimentaustrags befinden sich im östlichen Teil des HVO, im Umkreis von Parakou. Insgesamt führt der Zuwachs an Ackerflächen um ca. 50% im gesamten HVO zu einer mittleren Steigerung des Oberflächenabflusses um 10% sowie des Sedimentaustrags um 25%.

### **Zusammenarbeit mit Institutionen in Benin**

Um den verantwortlichen Institutionen und Behörden in Benin die Ergebnisse des **PK Be-E.2** zugänglich zu machen und ein breites Spektrum an Nutzern des zu entwickelnden SDSS zu gewährleisten, wurden die bestehenden Kooperationen mit beninischen Institutionen intensiviert. Zusätzliche Kontakte wurden zum Umweltministerium (*Direction de forêt et ressources naturelles* DFRN, *Agence beninoise de l'environnement* ABE), zum INRAB sowie zur Gemeindeverwaltung Copargo aufgebaut. Im Mittelpunkt der Treffen stand die Diskussion der bisherigen Ergebnisse des Problemkomplexes sowie des vorläufigen Konzeptes für das SDSS. Es wurden an mehreren Institutionen (CENAP, ABE, DFRN, DGEau, UAC) am SDSS interessierte Schlüsselpersonen identifiziert. Durch die Veranstaltung eines drei-einhalbtägigen Workshops zur Modellierung hydrologischer und erosiver Prozesse mit dem Modell SWAT mit Vertretern von CENAP, DGEau und der Universität Abomey-Calavi konnte das Verständnis für die Erosionsmodellierung und die Ergebnisse des Problemkomplexes deutlich verbessert werden. Darüber hinaus wurden mit Vertretern der Agrarforschung (CENAP, INRAB) und der Entwicklungszusammenarbeit (DED, AGEDREN) Managementoptionen zur Bekämpfung der Bodendegradation diskutiert.

### **Feldarbeiten**

Die Feldarbeiten im Jahr 2006 beschränkten sich überwiegend auf die Wartung der drei Multiparametersonden an den Standorten Terou-Igbomakoro, Donga-Pont und Donga Kolonkonde. An letzterem Standort wurde eine neue Konstruktion zur Aufhängung der Sonde direkt im Flussbett neben einem Lattenpegel installiert, da sich zeigte, dass die alte Konstruktion an der Brücke aufgrund zu geringer Wassertiefe nur in einem sehr kurzem Zeitraum Messungen aufzeichnet. Um den Messausfall auszugleichen, wurden seit Beginn der Regenzeit täglich Wasserproben entnommen. Zur Verbesserung der im Herbst 2004/2005 erstellten Kalibrierkurven wurden erneut an allen Messstellen nach Regenereignissen Wasserproben entnommen und im Labor filtriert.

### ***b) Ertragsmodellierung mit EPIC***

Die seit 2004 laufenden Feldversuche zur Erhebung der benötigten Inputdaten sowie der Daten für die Kalibrierung und Validierung der Ertragsmodellierung mit EPIC sind für 2006 abgeschlossen. Ebenso wie in den vorangegangenen Jahren wurden parallel zu den Feldern mit traditioneller Anbauweise auch Felder mit Düngung angelegt. Für die Feldfrüchte Mais, Sorghum, Yams und Maniok wurde die Biomasseentwicklung bestimmt, unterteilt in Stamm, Blätter und Frucht, sowie die Pflanzenhöhe, der LAI und der Ernteertrag. Des Weiteren wurden für jedes Feld die chemischen und physikalischen Bodenparameter erhoben. Die für die Operationen-Datei benötigte, detaillierte Beschreibung der zeitlichen und technischen Arbeitsabläufe auf den Feldern wurde notiert und auf-

treten Schädigungen der Pflanzenbestände erfasst, um einen „Schadensfaktor“ für EPIC eintragen zu können, wie er beispielsweise durch Wind, Termiten, Affen oder Trockenheit entsteht.

### Modellierung

Nach der Parametrisierung der verwendeten Düngemittel und der traditionellen Arbeitsweisen in den entsprechenden EPIC-Dateien, wurden die sensitiven Parameter in der *Crop*-Datei für die Feldfrüchte Mais, Sorghum, Yams und Maniok in einer ersten Näherung nach Literaturwerten angepasst (Tabelle 2). Da einige der *Crop*-Parameter die Biomasseentwicklung und den Ertrag sehr sensitiv beeinflussen, muss vor einer Feinkalibrierung dieser Größen eine Parametrisierung des Nährstoff- und Wasserhaushalts vorgenommen werden, um die Rahmenbedingungen für das Pflanzenwachstum zu gewährleisten. Die Simulation von Düngerbehandlungen reagiert beispielsweise erst sensitiv, wenn das Nährstoff-Modul in Rahmenbedingungen gebracht wird, dass natürlicherweise auftretender Nährstoffmangel simuliert wird. Dies ist noch nicht abschließend gelungen.

**Tab. III.1-2:** Sensitive Pflanzenparameter in der EPIC *Crop*-Datei

Crop	WA	HI *	TOP **	TBS ***	DMLA *	DLAP1 ***	DLAP2 ***	RDMX **
	Biomass-Energy-Ratio (kg MJ <sup>-1</sup> )	Harvest Index (Mg Mg <sup>-1</sup> )	Optimal temperature for plant growth (°C)	Minimum temperature for plant growth (°C)	Maximum potential LAI	1st point on optimal LAI curve	2nd point on optimal LAI curve	Root depth (m)
Mais	40.00****	0.20 – 0.30	28.00	8.00	2.50	15.05	50.95	0.80
Sorghum	35.00****	0.20 – 0.25	30.00	10.00	2.00 – 3.30	15.01	50.95	0.80
Yams	30.00	0.30 – 0.45	25.00	8.00	2.50 – 4.00	15.01	50.95	0.40
Maniok	15.00	0.30 – 0.40	26.00	12.00	1.50 – 2.30	15.01	50.95	2.00

\*IIASA (2000) ; \*\* INRAB (1995); \*\*\* EPIC original files; \*\*\*\* Cabelguenne, M. (1990)

Um Yams in EPIC zu integrieren, wurden zunächst die EPIC-Datensätze von Kartoffeln nach den Literaturwerten aus Tabelle 2 modifiziert, wodurch jedoch weder qualitativ noch quantitativ das Yamswachstum simuliert werden konnte. Als nächster Schritt soll der enthaltene Datensatz von Maniok entsprechend der sensitiven Parameter aus Tabelle 2 verändert werden, wobei vor allem die Dauer der Wachstumsperiode von 12-18 Monaten (Maniok) auf 6-7 Monate (Yams) angepasst werden muss.



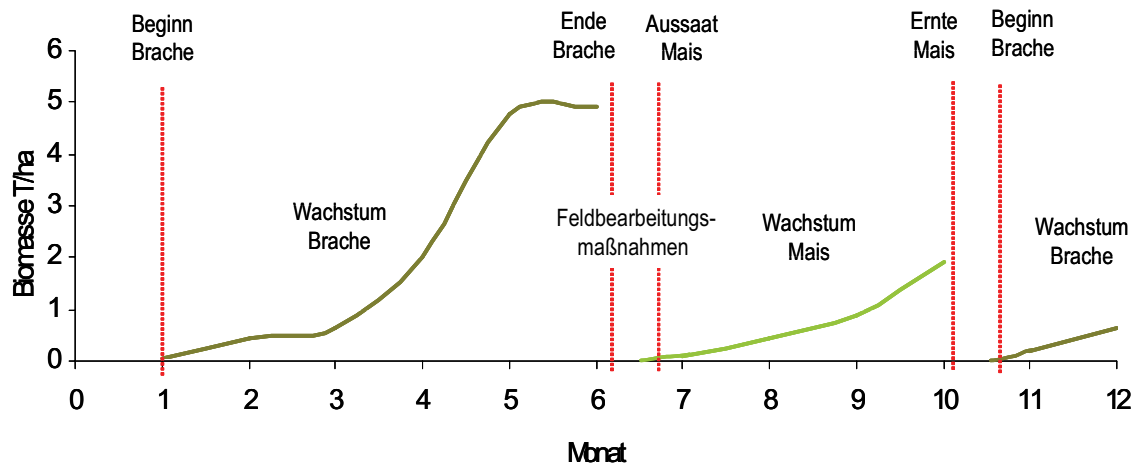


Abb. III.1.1-9 EPIC-Simulation von Fruchtfolge, Feldbearbeitung und Wachstumsperioden auf einem Maisfeld

Mit den gemessenen Inputdaten und den genannten Parametrisierungen wurden erste Modellläufe für 2005 durchgeführt. Dabei wurden die Prozesse des Feldmanagements und der Fruchtfolgen von EPIC erfasst und zeitlich korrekt wiedergegeben (Abb. III.1.1-9). Die Biomasseentwicklungen von Mais und Sorghum zeigen qualitativ plausible Wachstumskurven. Der Vergleich von gemessenen und simulierten Werten für die Erträge und Gesamtbiomasse von Mais und Sorghum sind in Abb. III.1.1-10 dargestellt. Während die Erträge bereits eine gute Übereinstimmung zeigen, weichen die Biomasseentwicklungen noch deutlich ab, wobei Mais eine Überschätzung und Sorghum eine Unterschätzung zeigt.

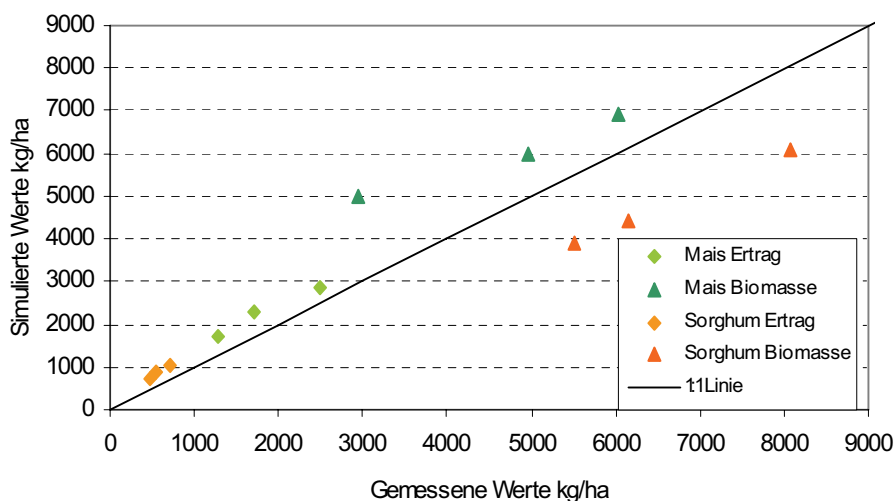


Abb. III.1.1-10: Vergleich der gemessenen und simulierten Erträge und Gesamt-Biomasse für Mais und Sorghum 2005

Zur Überprüfung des Einflusses von Düngemaßnahmen und degradierten Böden auf die Erträge, eine zentrale Fragestellung des Problemkomplexes, wurde eine generelle Sensitivitätsanalyse angestellt. Dabei wurden für ein Maisfeld mit traditioneller Anbauweise die Rahmenbedingungen verän-



dert. Unter Beibehaltung aller anderen Inputdaten wurden eine Simulation mit Düngung und eine Simulation mit einem degradierten Bodenprofil durchgeführt. Dabei wurde für das Maisfeld ein höherer, bzw. niedrigerer Ertrag als der unter Realbedingungen erzielt, d.h. das Ertragsmodell reagiert sensitiv auf die veränderten Rahmenbedingungen.

### **Literatur**

Cabelguenne, M. (1990): Calibration and Validation of EPIC for Crop Rotations in Southern France. *Agricultural Systems* 33, 153-171.

Iiasa (2000): Global Agro-Ecological Zones. <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/index.htm>

Inrab (1998): Fiche Technique: cultures vivrières cereales, legumineuses a graines et tubercules. Cotonou, Benin.

## **PK Be-E.3 Saisonale und langfristige Niederschlagsvorhersage in Benin und Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft**

### **Problemstellung**

Die Verfügung von Süßwasser aus dem Niederschlag ist ein essentieller Faktor in der landwirtschaftlichen Produktion und der Ernährungssicherung in Benin. Bislang gibt es kaum operationelle Systeme zur saisonalen Langfristvorhersage von Regenmengen im tropischen Westafrika. Solche saisonalen Vorhersagen stellen aber eine essentielle Grundvoraussetzung für die kurzfristige landwirtschaftliche Planung dar. Langfristige Klimaänderungen werden sich vermutlich auch auf das landwirtschaftliche Potenzial in Benin auswirken. Es sind also möglichst realistische Szenarien einer Klimaänderung in Westafrika zu entwickeln, um auf der regionalen Skala mittel- bis langfristige Anpassungsstrategien der landwirtschaftlichen Produktion an veränderte klimatische Randbedingungen für die kommenden Jahrzehnte auszuarbeiten.

### **Mitarbeiter**

**Heiko Paeth**, Kai-Oliver Heuer, Marc Janssens, Zhixin Deng, Claudia Hiepe

### **Zielsetzung**

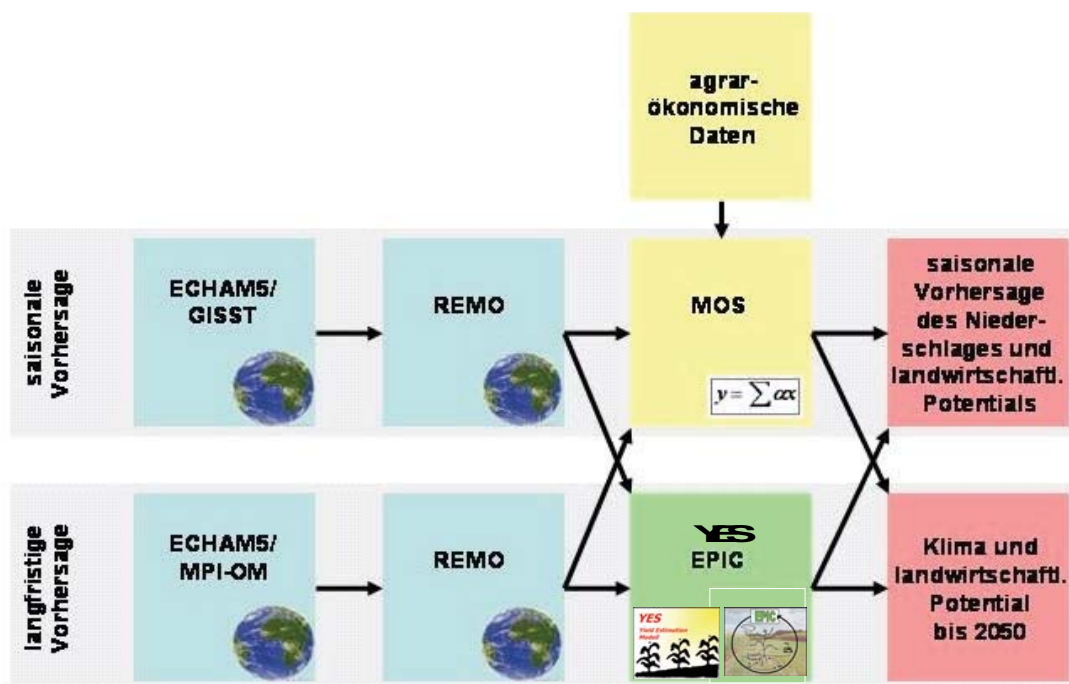
Geplant ist für die dritte Phase im IMPETUS-Projekt die operationelle Niederschlagsvorhersage für eine Regenzeit und die Kommunikation der Vorhersageergebnisse an Akteure in der landwirtschaftlichen Produktion. Das in IMPETUS entwickelte System basiert auf globalen und regionalen Klimamodellsimulationen, die an existierenden Beobachtungsdaten des Niederschlags geeicht werden, um die Zuverlässigkeit der simulierten Daten zu verbessern. Darüber hinaus gilt es, das Vorhersagesystem technisch-operationell zu implementieren, z.B. beim beninischen Wetterdienst in Cotonou. Das hierzu in den folgenden Monaten zu implementierende SDSS nennt sich „*Prévision Saisonnière de la Pluis Sous-sahélienne*“ (kurz: PRÉSAPLUS). Ferner müssen die vorhergesagten Variablen an die Bedürfnisse der landwirtschaftlichen Akteure angepasst und entsprechende Kommunikationswege aufgebaut werden, damit die Vorhersageergebnisse die Entscheidungsträger vor Ort rechtzeitig erreichen.

Die Verbindung zwischen Klima und Landwirtschaft wird zunächst mit einem statistischen Modell untersucht. Darüber hinaus sollen klimabedingte Veränderungen im Pflanzenwachstum mit den Wachstumsmodellen EPIC und YES berechnet werden. Damit soll neben den dekadischen Vorhersagen aus der zweiten IMPETUS-Phase nun auch auf der saisonalen Zeitskala eine Vorhersage des landwirtschaftlichen Potenzials in verschiedenen Subregionen Benins formuliert werden. Dabei sollen die saisonalen Vorhersagen und das Kommunikationssystem für die kurzfristige Planung operationell implementiert werden. Hierzu sind bereits einige Vorarbeiten geleistet worden.

## Modellierung

Auf Basis globaler Datensätze aus beobachtungsnahen Reanalysen (ECMWF) und Klimamodell-  
daten (ECHAM5) wurde ein regionales „Downscaling“ mit dem regionalen Klimamodell REMO  
durchgeführt. Mit Hilfe eines MOS-Systems („Weather Generator“, kurz: WEGE) wurden die Out-  
put-Daten von REMO korrigiert und mit Daten zu den regionalen Anbausystemen in Benin statis-  
tisch verschnitten (MOS). Es werden zwei Zielsetzungen verfolgt: Zum einen soll die saisonale  
Niederschlagsmenge für die Regenzeit operationell vorhergesagt werden. Zum anderen soll das  
künftige Potenzial der beninischen Landwirtschaft unter veränderten klimatischen Randbedingun-  
gen bis hin zum Jahre 2050 abgeschätzt werden. Ein Schema dieser Modellierungskette findet sich  
in **Abb. III.1.1-11**.

Mit Hilfe der Pflanzenwachstumsmodells EPIC, welches zum Ende der zweiten Phase an die korri-  
gierten Modelldaten angekoppelt werden konnte, sollen nun die klimainduzierten Veränderungen  
im landwirtschaftlichen Potenzial quantifiziert und entsprechende Vorschläge bzgl. geeigneter  
Nutzpflanzen und Anbaumethoden erarbeitet werden. Im **PK Be-L.4** wird eine ähnliche Fragestel-  
lung empirisch bearbeitet. Diese Zusammenarbeit zeigt sich auch in der Anzahl gleicher Bearbeiter  
in beiden Problemkomplexen.



**Abb. III.1.1-11:** Grafik zur Darstellung der Klimamodellkette innerhalb des PK Be-E.3

Damit wird bei der zentralen Frage der klimainduzierten Ernährungssicherheit insgesamt ein multi-  
disziplinärer Ansatz mit numerischen und statistischen Methoden verwirklicht. Die unterschiedlich  
gewonnenen Ergebnisse von **PK Be-E.3** und **PK Be-L.4** werden miteinander verglichen, um einen  
fundierten Einblick in die zukünftigen Risiken und Potenziale der beninischen Landwirtschaft zu  
erhalten.

Das saisonale Vorhersagesystem nutzt keine Zukunftsszenarien aus IMPETUS, sondern orientiert sich an möglichst realistischen Abschätzungen des Ist-Zustandes, wie Meeresoberflächentemperaturen und andere relevante regionale und globale meteorologische Parameter (z.B. African Easterly Waves, ENSO-Index), um eine möglichst akkurate mittelfristige Vorhersage über eine Regenzeit zu gewährleisten. Hierbei werden die Klimäläufe auf markante Muster hin überprüft, die zu besonders niederschlagsarmen oder -reichen Jahren führen. Näheres dazu steht unter Paeth et al. (2005).

Die Abschätzungen der langfristigen Klimaänderungen bis 2050 basieren auf den Emissionsszenarien des IPCC sowie auf Vorhersagen der FAO zu zukünftigen Landnutzungsänderungen in Afrika. Dabei wurden jeweils ein antropogen schwach gestörtes Szenario (B1) und ein stark beeinflusstes Szenario (A1B) realisiert, um den Handlungsspielraum aufzuzeigen.

Die Ergebnisse aus den neuen Klimamodellläufen wurden anderen Arbeitsgruppen im IMPETUS-Projekt zur Verfügung gestellt.

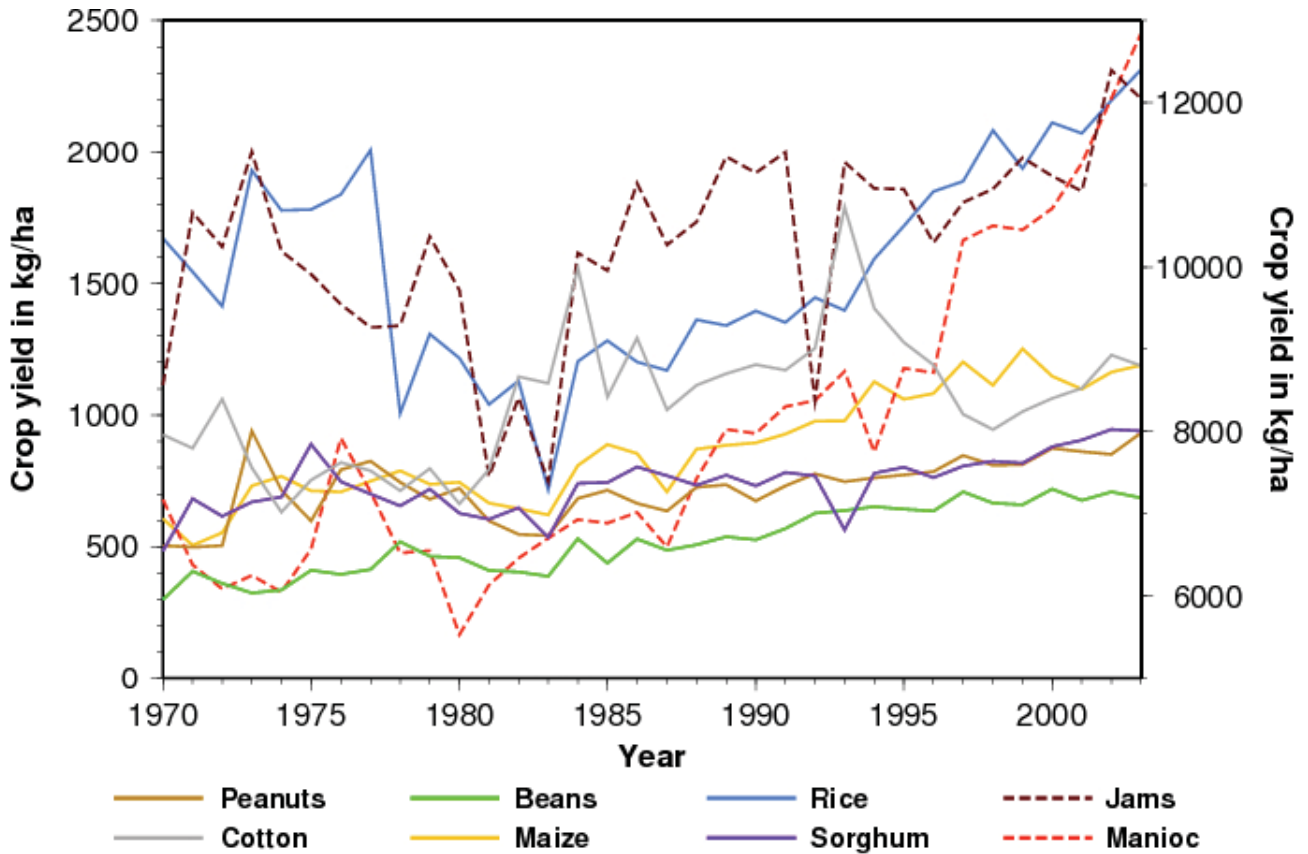
### **Kooperationspartner**

Insbesondere bei der saisonalen Vorhersage wird eine Kooperation mit der Direction de la Météorologie Nationale in Cotonou angestrebt. Erste Gespräche mit dem Direktor, Herr Didé, sind bereits geführt worden. Die Verbindung zwischen Klima und landwirtschaftlicher Produktion soll gemeinsam mit Wissenschaftlern der Université Abomey-Calavi untersucht und ebenfalls in ein operationelles Vorhersagesystem aufgenommen werden. Nach erfolgreicher Implementierung des Vorhersagesystems ist aber auch eine Kooperation mit Vertretern verschiedener Verwaltungsebenen und Akteuren in der Landwirtschaft notwendig. Hierbei werden insbesondere die in IMPETUS bereits geknüpften Kontakte bis hin zur Dorf und Gemeindeebene genutzt.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Das Hauptaugenmerk im **PK Be-E.3** lag im Jahr 2006 in der Analyse der langfristigen Veränderungen der landwirtschaftlichen Produktionen. Betrachtet wurde das Verhalten von verschiedenen Nutz- bzw. Ertragspflanzen im Bezug auf die meteorologischen Parameter, die das Klimamodell REMO in der Langfrist-Simulationskette für die Zeitscheiben 2005, 2010, 2015, 2020 und 2025 errechnet hat. Genauer zu dem Thema steht in Paeth et al. (2007a).

Das zu analysierende Gebiet, welches Benin abbilden soll, wurde in sieben einzelne Regionen unterteilt, um die Auswirkungen bei unterschiedlichen land- und klimabezogenen Begebenheiten zu analysieren. Trainiert wurde das Modell-Output-System mit Ertragsdaten von Maniok, Yams, Reis, Baumwolle und 14 anderen Erzeugnissen, welche vom Jahre 2003 mehrheitlich bis 1970 zurückreichen. Ein Überblick der Erträge für mehrere Produkte ist in **Abb. III.1.1-12** zu finden. Damit stellen diese Zeitreihen die Landwirtschaft in den mehrheitlich sehr trockenen Jahren bzw. Dürre-jahren dar, im Unterschied zu den vor allem in der Sahelzone eher feuchten und ertragreichen 50er und 60er Jahren. Die Daten wurden von beninischen Regierungsbehörden zur Verfügung gestellt.



**Abb. III.1.1-12:** Übersicht über die in Benin erzielten Ernteerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Produkte von 1970 bis 2003. Die linke Achse beschreibt die Erträge für die Sorten mit durchgezogenen Linien, die rechte Achse die für die gestrichelten.

**Tab. III.1-3:** Ergebnisse des MOS für neun typische Ertragsprodukte für die komplette Zeitreihen in Benin bereit gestellt wurden: Erklärte Varianzen (abgeleitet und mittels Kreuzvalidierung), explained variance from cross validation, and characteristics of the most relevant predictor (Variable: 1 = Niederschlag, 2 = Temperatur, 3 = relative Feuchte; Saison: Jahresquartal; Region: 1: Südwesten, 7: Nordosten, 8: Gesamt-Benin).

Crop	Explained Variance	Explained Variance	Predictors		
			Variable	Season	Region
<b>Peanuts</b>	79.2	47.2	3	3	7
<b>Cotton</b>	58.0	20.3	1	2	1
<b>Beans</b>	53.9	25.4	3	3	7
<b>Jams</b>	85.2	42.3	3	3	8
<b>Maize</b>	52.4	27.8	3	3	7
<b>Manioc</b>	72.5	30.2	1	1	7
<b>Rice</b>	73.4	53.3	3	3	7
<b>Sorghum</b>	72.9	43.6	3	3	7

Die Daten der landwirtschaftlichen Produktion wurden über so genannte Model Output Statistics (MOS) mit den simulierten Klimazeitreihen in Verbindung gesetzt. Die Korrelationen mit den Klimadaten wurden zunächst bis zum Modelljahr 2025 extrapoliert, welches für den Bereich Benin im dritten Jahresquartal (Juli, August, September) etwas feuchter ist als die Jahre davor und somit den Einfluss der interannuellen Variabilität reflektiert. Aber gerade um die vorauszusetzende Variabilität des Klimas darzustellen, ist diese Einbeziehung wichtig.

Das MOS, dessen Ergebnisse für acht Anbauprodukte in Tab. 1 zusammen gestellt sind, zeigt vor allem Abhängigkeiten des Pflanzenertrags von den Klimawerten im ersten und dritten Jahresquartal auf. Vergleicht man zusätzlich die Ertragsdaten aus dem gesamten Benin mit den regional gemittelten Stationen, fällt auf, dass vorzugsweise die Klimawerte aus der nordöstlichen Modellregion (Niger-Abflussgebiet), wo also die für die Vegetation negativen Auswirkungen des Niederschlagsrückgangs am Größten sind, mit den Ertragsdaten in Verbindung stehen.

Als Folge dieser Verbindungen lässt das MOS die simulierten Erträge einzelner Produkte im Laufe der Zeit teilweise um bis zu 20 % abnehmen (Modelljahr 2020), z.B. bei Erdnüssen, Reis oder Sorghum (Hirse), insbesondere Bohnen. Grafisch dargestellt sind die Ergebnisse in **Abb. III.1.1-13**. Andere Erträge werden nach diesen Berechnungen jedoch nur sehr wenig beeinflusst, wie Baumwolle, Maniok und Yams. Wie sehr bei den Berechnungen die mögliche Abnahme des Anbaugesbietes durch Degradation des Bodens oder Ausdehnung der Besiedlungen eine Rolle spielen könnte, muss noch näher bestimmt werden.

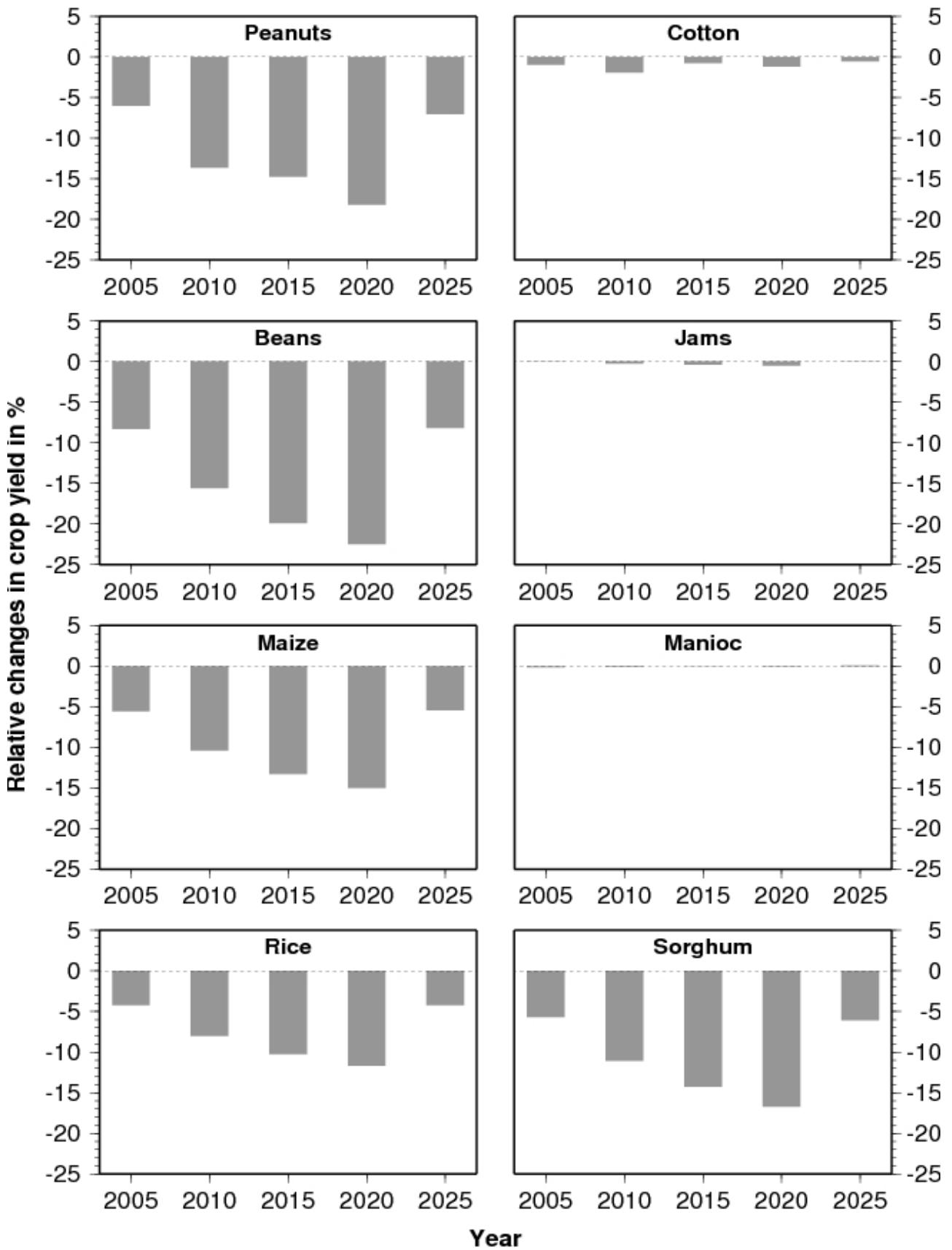
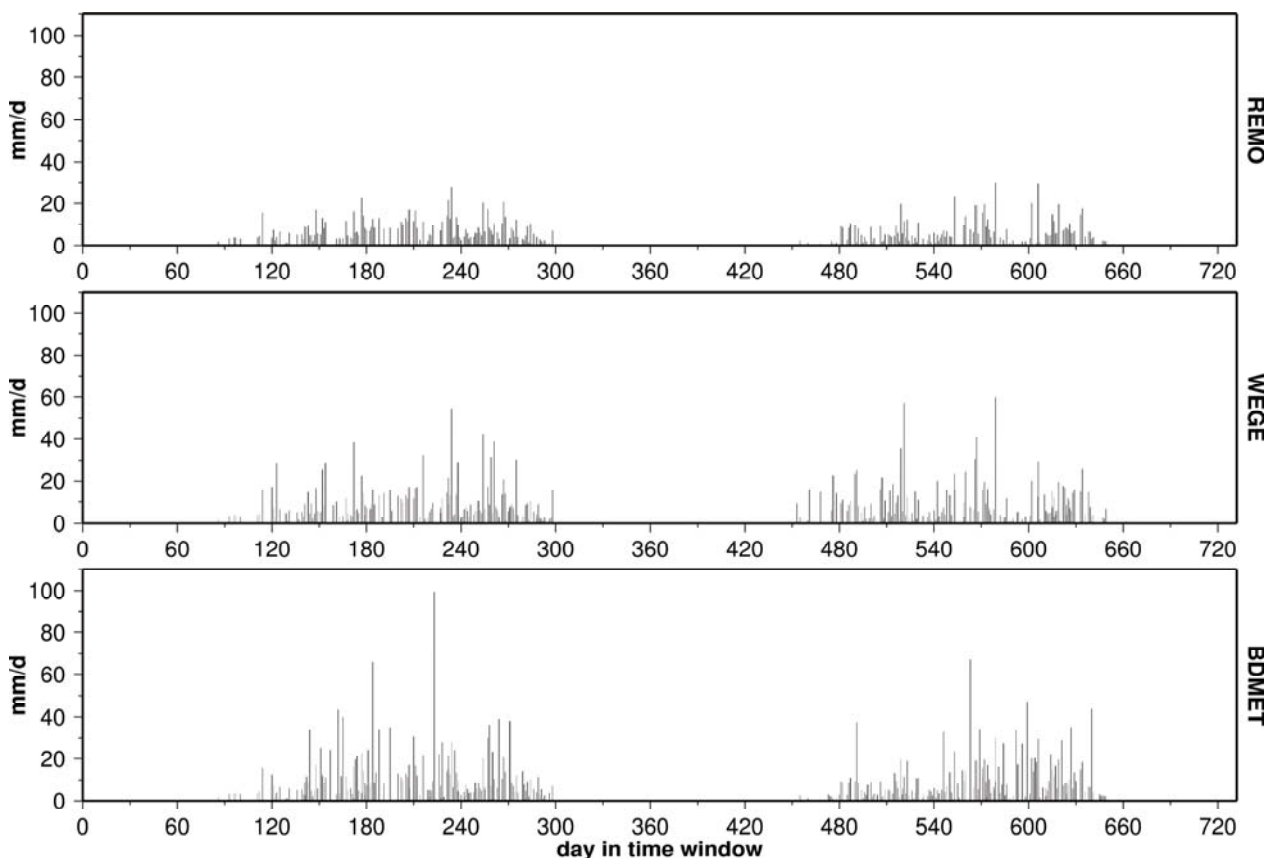


Abb. III.1.1-13: Berechnete Ertragsminderungen von acht landwirtschaftlichen Erzeugnissen in den fünf Zeitscheibenjahren im Vergleich zum Zeitraum 1970-2000, gemittelt über ganz Benin

Ein weiteres Arbeitsgebiet im **PK Be-E.3**, welches zu Anfang des Jahres abgeschlossen werden konnte, war die Arbeit am „Weather Generator“ WEGE. Einige Elemente von WEGE wurden von Herrn Diederich aus dem **PK Be-H.3** zur Verfügung gestellt.

Dieses Programmpaket dient dazu, die Modelldaten aus dem regionalen Klimamodell REMO, welches mit einer horizontalen Auflösung von  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  zu grob für viele Berechnungen in anderen Bereichen von IMPETUS ist, statistisch herunterzuberechnen, u.a. um Wahrscheinlichkeiten für Niederschlagsmengen anzugeben. Innerhalb des PK bezieht sich dies auf die Schnittstelle zwischen REMO und EPIC. Wichtig in der Modellkette ist dieses Modul auch deshalb, weil es die Abweichungen des REMO-Modells von Beobachtungsdaten (z.B. Bodenmessstationen, Satellitendaten) ausbessert. So werden häufig die Niederschlagsmengen von REMO überschätzt. Dies liegt allerdings hauptsächlich an der grob aufgelösten Orographie des Modellgebietes. Dadurch werden auch die Anzahl an niederschlagsfreien Tagen und die Austrocknung der Böden unterschätzt. Auf der anderen Seite werden aus dem gleichen Grund die Stark- bzw. Extremniederschlagsereignisse deutlich unterschätzt, bzw. können gar nicht dargestellt werden. Für die weitere, landwirtschaftlich orientierte Nutzung der Modelldaten im IMPETUS-Projekt fehlen insgesamt auch wichtige Informationen für Erosionsschäden nach Unwettern.



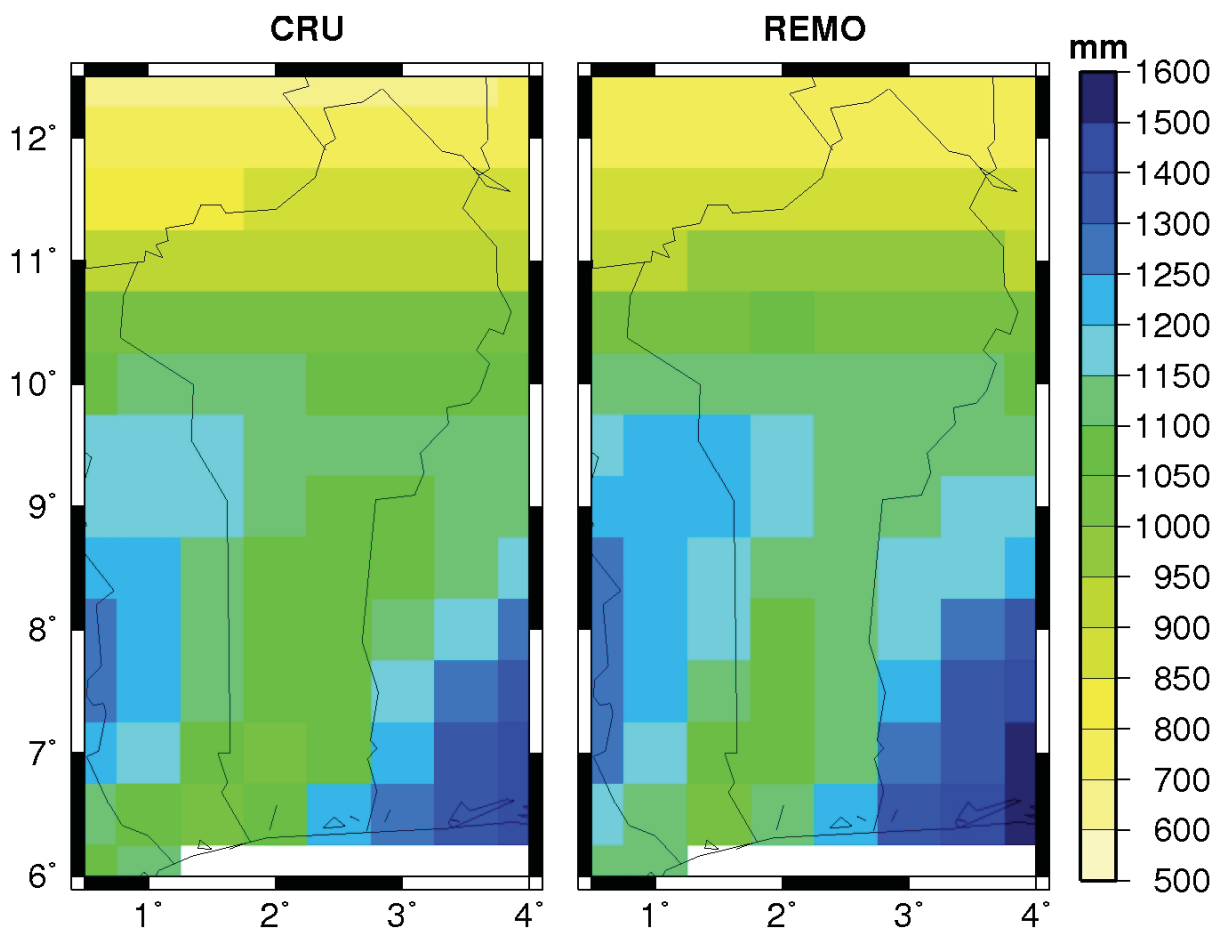
**Abb. III.1.1-14:** Vergleich der täglichen Niederschlagsdaten der Jahre von 2000 bis 2001 für eine exemplarische Regenmessstation (auf einem Modellgitterpunkt von REMO liegend) zwischen den Modellausgaben von REMO und WEGE und den gemessenen Daten (Quelle: BDMET).

Abgeschlossene Gütetests mit dem fertig gestellten WEGE lieferten sehr zufrieden stellende Ergebnisse (siehe Paeth et al. (2006)). Die Messdaten an bestehenden Wetterstationen in Benin wurden



sowohl mit Modelldaten von REMO als auch mit denen von WEGE verglichen. Die für die Vegetation im Benin wichtigen Klimaparameter, die Niederschlagsereignisse (schwacher Regen, Regenausfälle, Variabilität), werden durch WEGE nun deutlich besser dargestellt und stimmen mit den realen Daten sehr gut überein. Ein Beispiel hierzu ist in **Abb. III.1.1-14** zu finden, wo für zwei Jahre für eine Messstation die täglichen Niederschlagsdaten aus der Messung (vom BDMET, untere Spalte) mit den entsprechenden Modellausgaben vom unkorrigierten REMO-Modell (obere Spalte) von WEGE (mittlere Spalte) dargestellt sind. **Abb. III.1.1-15** zeigt den gemittelten Jahresniederschlag des Zeitraums 1970-1998 links aus den CRU-Reanalysedaten und rechts mit REMO und WEGE simuliert. Das simulierte Niederschlagsmuster stimmt nun sehr gut mit der Realität überein.

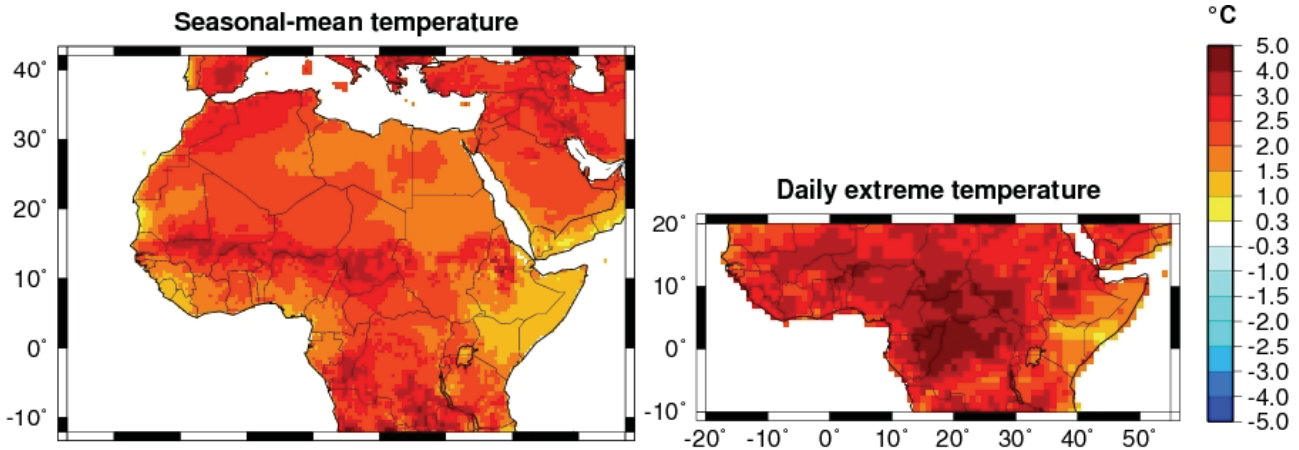
WEGE liefert also ein der Realität deutlich besser entsprechendes Simulationsmuster. Auch die Wahrscheinlichkeiten für extreme Ereignisse in Bezug auf reale Daten können nun gut wiedergegeben werden.



**Abb. III.1.1-15:** Vergleich der Jahresniederschläge über Benin (1970-1998) zwischen den CRU-Daten und den statistisch postprozessierten REMO - Daten

Auf Grundlage der langfristigen REMO-Simulationen bis 2050 zeichnet sich eine Verschlechterung der ackerbaulichen Verhältnisse in Benin für die kommenden 50 Jahre ab (Abb. 6). Die Jahresniederschlagssumme wird deutlich zurückgehen, die Anzahl der Regentage wird abnehmen. Interessant ist auch die Bestimmung von Extremereignissen, welche mit Hilfe der Extremwertstatistik (Benutzung der Generalisierten Pareto-Verteilung) erstellt wurden. So werden Temperaturunterschiede von extrem heißen Tagen im Gegensatz zu den durchschnittlichen Werten für das den Zeitbereich

von 2041 bis 2050 von ca. sechs Grad errechnet, was einer Verdoppelung der Anomalie zu 1961-1970 entspricht. Eine Grafik zur Modellausgabe für die Temperaturmittelwerte und -extremwerte ist in **Abb. III.1.1-16** zu finden; weiteres zu dem Thema steht in Paeth et al. (2007b).



**Abb. III.1.1-16:** Mit REMO berechnete Anomalien der Jahresmitteltemperaturen (links) und der maximalen Extremtemperaturen (rechts) in Afrika für 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1971-2000 unter der Annahme des A1B-Szenarios mit starkem Treibhausgasanstieg und ausgeprägten Landnutzungsänderungen

Das statistische Modell, welches die Transferfunktion zwischen Klima und Landwirtschaft ermittelt, ist bereits weitestgehend fertig gestellt worden. Das Pflanzenwachstumsmodell EPIC wird nun ebenfalls eingebunden.

Die Simulationen für den saisonalen Vorhersageansatz wurden erst in der dritten Phase von IMPETUS anvisiert. Hierbei wurde bewusst auf neuere Antriebsdaten gewartet, die nun beim DKRZ in Hamburg in Form des ECHAM5-Modells zur Verfügung stehen. Die Folgesimulationen mit REMO werden voraussichtlich im späten Frühjahr 2007 beginnen.

### **Ausblick auf weitere Arbeiten in der dritten Phase**

Im Jahr 2007 werden die zur saisonalen Vorhersage benötigten REMO-Simulationen mit den Antriebsdaten des ECHAM5-Globalmodells und beobachteten Meeres-oberflächentemperaturen als Vorbereitung für den saisonalen Vorhersageansatz durchgeführt. Hierbei werden neu berechnete Klimaantriebe in die Modellkette eingebaut. Dabei handelt es sich unter anderem um neue Berechnungen des Aerosolanteils in der Atmosphäre, welche vom MPI für Meteorologie in Hamburg zur Verfügung gestellt werden, oder durch genauere Bestimmungen und Verhaltensweisen der Vegetationsbedeckung auf der Erde. Für das nötige Ensemble befindet sich der zweite von vier bis fünf ECHAM5-Läufen in der Berechnung. Ferner werden die agrarökonomischen Daten aufbereitet und erste Gespräche mit Vertretern aus Politik und Landwirtschaft geführt, um ein Konzept für die operationelle Umsetzung der Vorhersage- und Kommunikationssystems zu erarbeiten. Hieraus resultieren bereits erste Analysen zur Effizienz zum Anbau bestimmter Pflanzen bei den bereits durch die

bisherigen mittels REMO berechneten Niederschlagsmustern für die kommenden Jahre (aus den Simulationen zur Langfristvorhersage).

Im darauffolgenden Jahr werden zunächst alle Anpassungen des MOS-Systems ausgearbeitet und erste Folgemodellierungen mit EPIC vorgenommen. Daraufhin werden beide Ansätze auf die Zukunftsprognosen von REMO angewendet und somit das langfristige landwirtschaftliche Potenzial in Benin (bis 2050, Daten bis 2025 sind bereits berechnet) abgeschätzt. Darüber hinaus werden verschiedene Gütemaße für die saisonale Vorhersage berechnet und erste Schritte hinsichtlich einer operationellen Vorhersage mit Hilfe von PRÉSAPLUS unternommen. Dies bezieht sich insbesondere auf die Schaffung einer Schnittstelle zu rezent beobachteten Meeresoberflächentemperaturen und deren statistische Extrapolation für die Dauer einer Regenzeit. Aber auch andere bekannte Muster, wie die Stärke des African Easterly Jets, werden in das System integriert. Die Kontaktpersonen in Benin sollen über die laufenden Arbeiten unterrichtet werden, um die Schulungen für Dienstleister und Nutzer vorzubereiten.

Im letzten Jahr wird ein Bericht über die dekadische Vorhersage verfasst und mit Entscheidungsträgern in Benin diskutiert. Hinsichtlich der saisonalen Vorhersage wird ein Testlauf unternommen und zahlreiche Schulungen für Dienstleister und Nutzer in Benin durchgeführt. Ferner werden die technischen Voraussetzungen für die saisonale Vorhersage und das Kommunikationssystem in Benin geschaffen, um eine reibungslose Überführung in den operationellen Dienst am Ende der dritten IMPETUS-Phase zu ermöglichen.

### **Literatur:**

- Paeth, H.; Girmes, R.; Menz, G.; Hense, A. (2005): Improving seasonal forecasts in the low latitudes. *Mon. Wea. Rev.* 134, 1859-1879.
- Paeth, H.; Busche, H.; Diekkrüger (2006): A dynamical-statistical weather generator for past and future climate. In Vorbereitung.
- Paeth, H.; Capo-Chichi, A.; Endlicher, W. (2007a): Climate change and food security in tropical west Africa. *Erdkunde; in Begutachtung.*
- Paeth, H.; Born, K.; Girmes, R.; Podzun, R.; Jacob, D. (2007b): Regional climate change in tropical Africa under greenhouse forcing and land-use changes. *Geophys. Res. Lett.*, in Begutachtung.

## PK Be-E.4 Ausweisung von geeigneten Standorten und nachhaltiges Management von Kleinstauseen für die Landwirtschaft



### **Problemstellung**

Wasser ist der wichtigste Produktionsfaktor für Landwirtschaft und Viehhaltung. Während der Trockenzeiten limitiert Wassermangel die landwirtschaftliche Produktion in Zentral- und Nord-Benin. Es ist davon auszugehen, dass dieser Wassermangel künftig durch Klimaveränderung noch verschärft wird. Vor dem Hintergrund und einer wachsenden Bevölkerung bei gleichzeitig zurückgehenden Niederschlägen kann die Versorgungssicherheit gefährdet sein. Bis zu einem gewissen Grad kann dem durch die Anlage kleiner Stauseen zur Produktionssteigerung in der Landwirtschaft begegnet werden.

Deshalb ist Ausweisung von geeigneten Standorten für den Bau der Stauseen sowie die Abschätzung der dadurch möglichen potentiellen Steigerung agrarischer Produktion für eine nachhaltige Entwicklung notwendig. Es genügt aber nicht nur Kleinstauseen zu bauen. Wie einige negative Beispiele in der Vergangenheit gezeigt haben, muss bei der Anlage eines kleinen Stausees neben der technischen Durchführung auch ein tragfähiges Nutzungskonzept in enger Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung und den lokalen Behörden erarbeitet werden. Dies stellt eine nachhaltige Nutzung sicher und kann potentiell negative Folgen (Konflikte, Bodendegradierung, u.a.) vermeiden. Auch sind bei Planung von Kleinstauseen wasserhygienische und epidemiologische Aspekte zu beachten.

Wichtig bei der Planung von Kleinstauseen ist die Schaffung eines Gesamtkonzepts, das neben naturräumlichen Gegebenheiten auch ökonomische und soziologische/ethnologische Aspekte berücksichtigt. Dies ist die Zielsetzung dieses Problemkomplexes. Da Kleinstauseen in ganz Westafrika eine wachsende Bedeutung erfahren, ist die Schaffung eines tragfähigen Gesamtkonzepts mit den dazugehörigen Planungswerkzeugen auch von überregionalem Nutzen.

### **Mitarbeiter**

**Hans-Peter Thamm**, Michael Judex, Vincent Orekan, Gero Steup, Nassirou Bako-Arifari, Claudia Hiepe

### **Zielsetzung**

Zielsetzung dieses PKs ist die Ausweisung geeigneter Standorte für die Errichtung von kleinen Stauseen unter Integration nachhaltiger Managementkonzepte. Hierfür werden entsprechende Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung (SDSS - *Spatial Decision Support System*) geschaffen. Der Aufbau erfolgt in unterschiedlichen Modulen.

Im Modul „physisch-geographische Eignungsanalyse“ werden die naturräumlichen Faktoren wie Topographie, geologischer Untergrund, Klima, Boden und Vegetation analysiert, um potentiell mögliche Standorte für die Errichtung von kleinen Stauseen auszuweisen. Nach der Ausweisung der Standorte soll anhand ökonomischer Untersuchungen eine Kosten-Nutzen-Analyse erfolgen, in welche auch potentielle Klimaveränderungen einbezogen werden können. Angesichts der Erfahrungen mit derartigen Projekten in der Vergangenheit ist die Erstellung nachhaltiger Managementkonzepte in enger Zusammenarbeit mit den Behörden und der Bevölkerung vor Ort eine wichtige Zielsetzung dieses PKs. Dabei sollen strukturierte Planungsprozesse entwickelt werden, die zu einer nachhaltigen Nutzung führen und Konflikte vermeiden. Ein weiteres Ziel ist die Erstellung von Werkzeugen zur Abschätzung der Ertragssteigerung unter unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen und Landbewirtschaftungssystemen.

Die einzelnen Module werden in dem SDSS SYMBA (*System for the Management of Small Scale Barrages*) realisiert. **Abb. III.1.1-17** zeigt die modulare Struktur von SYMBA. Wesentliches Merkmal von SYMBA ist die Integration von ökosystemaren und sozioökonomischen Analysen.

### **Methodik**

#### ***Physisch-Geographische Eignungsanalyse***

Für einzelne Module der physisch-geographischen Eignungsanalyse wurden Voruntersuchungen mit einem geographischen Informationssystem und anderen Spezialprogrammen durchgeführt. Dabei standen die Evaluierung der Machbarkeit und die Anforderungen an die benötigten Daten und eine Abschätzung der Genauigkeit der zu erwartenden Aufgaben im Vordergrund.

Wichtig in dem Zusammenhang war die Erstellung eines detaillierten Anforderungskatalogs für jedes einzelne Modul sowie die präzise Erfassung und Beschreibung der Wirkungsgefüge in Struk-

togrammen. Dieser Schritt ist von fundamentaler Bedeutung, da ein DSS nur die in ihm implementierten funktionalen Zusammenhänge abbilden kann. Im DSS nicht berücksichtigte Auswirkungen oder funktionale Zusammenhänge könnten in der Praxis fatale Folgen haben und den Nutzwert des gesamten Systems in Frage stellen. **Abb. III.1.1-18** zeigt ein Struktogramm, welches die funktionalen Zusammenhänge der einzelnen Module beschreibt.

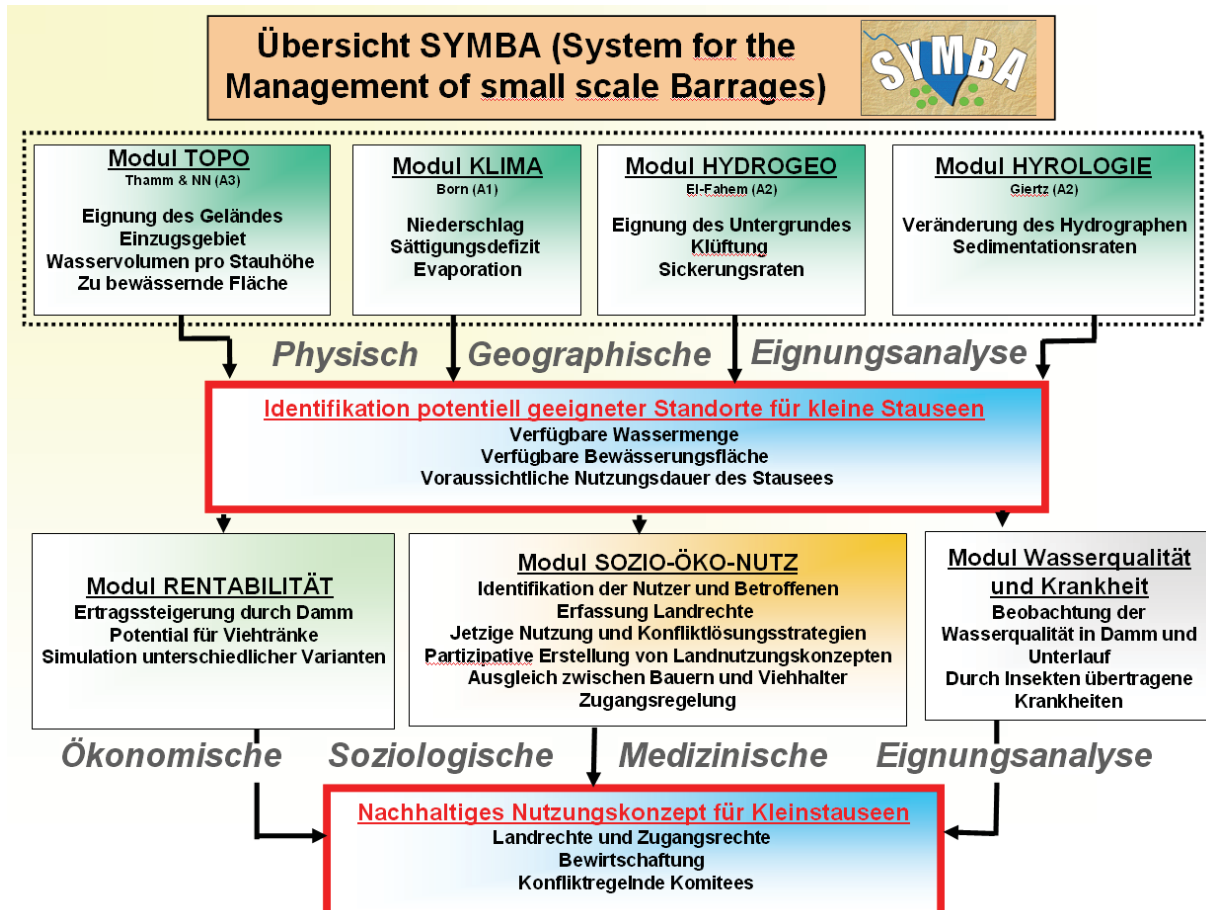


Abb. III.1.1-17: Struktur des DSS SYMBA (Thamm)

### Topographische Analyse

Als erstes steht die topographische Analyse der Eignung eines Geländes für die Anlage eines Kleinstausees. Zielgrößen für die Ausweisung eines geeigneten Gebietes sind ein günstiges Verhältnis von Staudammhöhe und Staudammlänge zum möglichen Stauvolumen. Des Weiteren sollte im Unterlauf die Topographie eine Anlage von Feldern erlauben. Steilstufen oder enge Flusstäler sind Ausschlusskriterien. Mit dem „SYMBA Topographie Modul“ kann eine derartige Analyse erfolgen, wobei innerhalb eines Einzugsgebiets Flächen mit einer topographischen Eignung für die Anlage von Kleinstauseen ausgewiesen werden (s. **Abb. III.1.1-19**). SYMBA berechnet auch das theoretisch mögliche Stauvolumen und die daraus resultierende Wasseroberfläche und Uferlänge je nach Höhe des Staudamms.

Das Modul TOPO wurde in dem SDDS bereits realisiert und erfolgreich getestet. Die Qualität der Ergebnisse der topographischen Analyse ist von der Genauigkeit des verwendeten digitalen Gelände-



demodells (DGM) abhängig. Hier ergibt sich eine gewisse Einschränkung, da für weite Teile des Quémé Einzugsgebiets nur das aus der STRM Mission abgeleitete DGM in einer räumlichen Auflösung von 90 m x 90 m zur Verfügung steht. Daraus folgt, dass für die von der topographischen Analyse ausgewiesenen geeigneten Flächen vor einer eventuellen Realisierung eines Kleinstauseeprojektes auf jeden Fall noch genauere Untersuchungen der Topographie vorgenommen werden müssen. Im Rahmen des IMPETUS Projekts wurden allerdings für die Ableitung von räumlich hochaufgelösten digitalen Geländemodellen mit einer großen Genauigkeit der Höhe eine relativ kostengünstige Methode entwickelt, die auf der Auswertung von Luftbildern beruht, welche von einer „Low Cost“ Drohne aufgenommen werden.

### ***Modul KLIMA***

Der Nutzwert von Kleinstauseen ist in einem hohen Maße abhängig von der verfügbaren Wassermenge pro Stauhöhe und der zeitlichen Verfügbarkeit des Wassers. Die Abschätzung dieser Parameter erfolgt in dem Modul SYMBA-KLIMA. Hierin werden auf der Grundlage der Messdaten und der meteorologischen Modelle die Gebietsniederschlagsmengen in ihrer zeitlichen Verteilung berechnet. Wichtig in diesem Zusammenhang sind auch die zu erwartenden maximalen Niederschlagsmengen. Daraus ergeben sich Anforderungen an das Design des Kleinstausees in Hinblick auf die Dimensionierung der Überläufe.

Weiterhin erfolgt in SYMBA-KLIMA die Berechnung der Verdunstung aus dem Kleinstausee in Abhängigkeit der Wasseroberfläche, die wiederum eine Funktion der Stauhöhe bei gegebener Topographie ist. Maßgebliche Parameter hierfür sind Temperatur, Luftfeuchte, das sich daraus ergebende Sättigungsdefizit, Strahlungsbedingungen und Windverhältnisse. Die zur Verdunstungsberechnung benötigten klimatologischen Parameter werden aus den meteorologischen Modellen zur Verfügung gestellt und über „Look Up“ Tabellen in SYMBA integriert. Das Programmdesign von SYMBA ist aber so konzipiert, dass bei Bedarf diese Informationen auch über eine Datenbankbindung oder sogar über eine Modellkopplung bezogen werden können. Die Bereitstellung der meteorologischen Parameter in einer ausreichenden räumlichen Auflösung stellt dabei einen besonderen Anspruch an die meteorologischen Modelle. Die einfache Einbindung dieser Ergebnisse in SYMBA ermöglicht die Verwendung der jeweils aktuellsten Versionen.

Ein großer Vorteil von SYMBA ist die Einbeziehung von Szenarien zukünftiger Entwicklung der meteorologischen Parameter, wie sie von den Modellen berechnet werden. Hiermit ist eine Abschätzung des Nutzwerts der Kleinstauseen auch unter veränderten Klimabedingungen möglich.

Im Jahr 2006 standen die Implementierung der Wirkungszusammenhänge und die Programmierung der Schnittstellen im Vordergrund.

### ***Modul Hydrogeo***

Im SYMBA Modul HYDROGEO wird die Eignung des geologischen Untergrundes für die Anlage von Kleinstauseen untersucht. Besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Undurchlässigkeit des Untergrundes gelegt. Ein IMPETUS Mitarbeiter des Geologischen Instituts Bonn erstellte eine Kar-

te der geeigneten Untergründe sowie der Zonen mit großer Klüftigkeit. Grundlagen hierfür waren geologischen Karten sowie seine eigenen Erhebungen. Die Karte wurde als digitale Version zur Verfügung gestellt und in SYMBA integriert. Im Modul SYMBA-HYDROGEO soll auch der Grundwasserflurabstand abgeschätzt werden sowie der Einfluss der jeweiligen Kleinstauseen auf das Grundwasser.

Die Ungenauigkeit der geologischen Karten für das Untersuchungsgebiet sowie deren unzureichende räumliche Auflösung erfordern eine detaillierte Untersuchung der Gebiete, an denen die Kleinstauseen errichtet werden sollen. Allerdings ist schon mit der jetzigen Datengrundlage eine sinnvolle Vorauswahl der geeigneten Gebiete beziehungsweise der Ausschluss ungeeigneter Gebiete möglich.

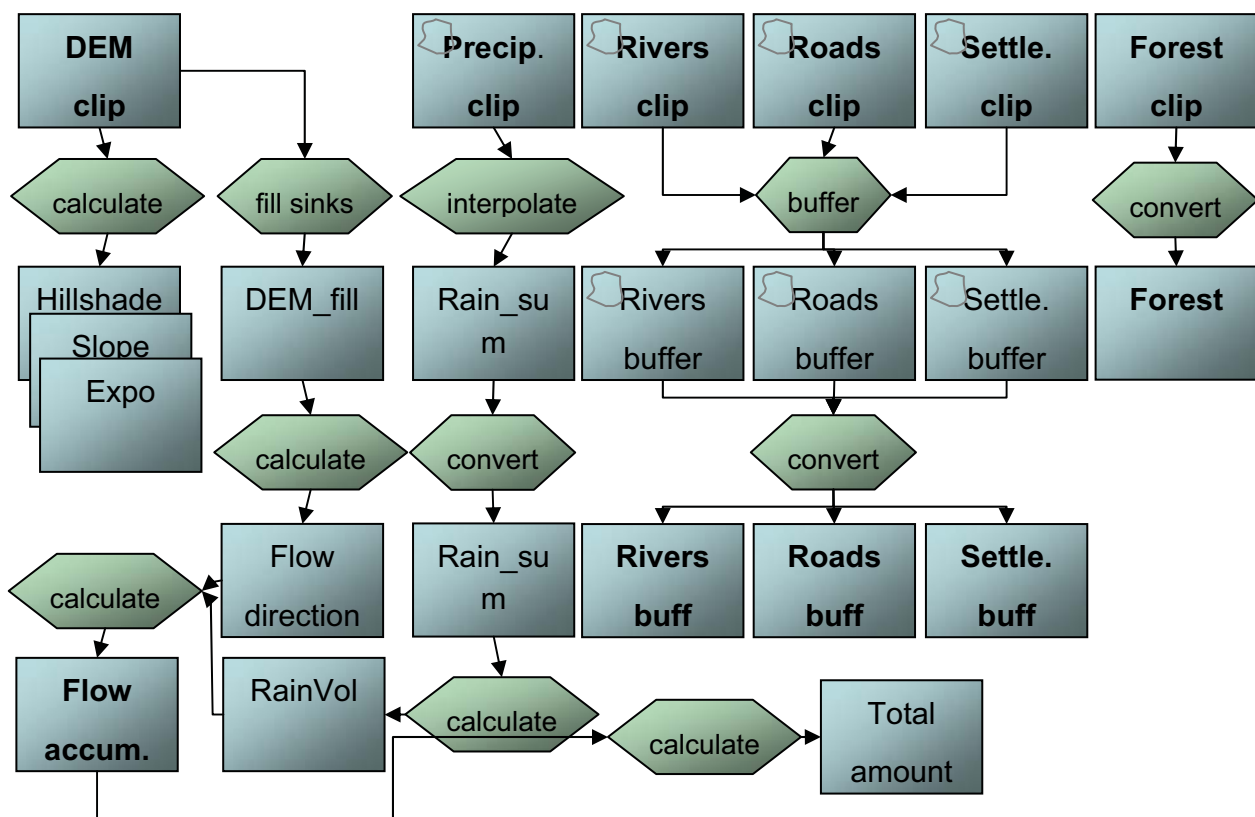


Abb. III.1.1-18: Beispiel für die Beschreibung der funktionalen Zusammenhänge im SDSS Kleinstauseen. Das Struktogramm zeigt wie einzelne Informationsebenen wie digitales Geländemodell, Landnutzung, Niederschlag u.a. in das SDSS einfließen (Grafik: Laudin auf Grundlage von Thamm und Giertz)

### Modul Hydrologie

In dem Modul HYDROLOGIE werden die hydrologischen Verhältnisse in den jeweiligen Einzugsgebieten untersucht. Dabei werden die Einzugsgebietsspenden für die gewünschten Einzugsgebiete berechnet. Hierbei soll auch eine zeitliche Differenzierung des Hydrographen an jedem gewünschten Punkt erfolgen. Dadurch kann das für die Kleinstauseen nutzbare Wasser abgeschätzt werden.



Auch ist die Berechnung der zu erwartenden Spitzenabflüsse möglich, so dass eine Planung der entsprechenden technischen Maßnahmen wie geeignete Überläufe, Sprudelbecken, usw. erfolgen kann.

Eine weitere Frage die in diesem Modul bearbeitet wird, ist die Abschätzung der Veränderung im Abflussregime je nach Ausführung des Kleinstaudamms. Besonders im Hinblick auf die Konfliktvermeidung mit den Unterliegern ist dies eine wichtige Fragestellung.

Weiterhin werden in dem Modul die Infiltrationsraten unter Verwendung der von IMPETUS erstellten detaillierten Bodenkarte abgeleitet. Hierbei erfolgt eine Berücksichtigung der Ergebnisse der hydrogeologischen Analysen. Das Auffüllen des Bodenwasserspeichers und Grundwasserspeichers besitzt eine wesentliche Funktion für die Nutzung des Kleinstausees, da ein Teil der Bewässerung der Kulturen über am Rande des Kleinstausees angelegte Brunnen erfolgen kann.

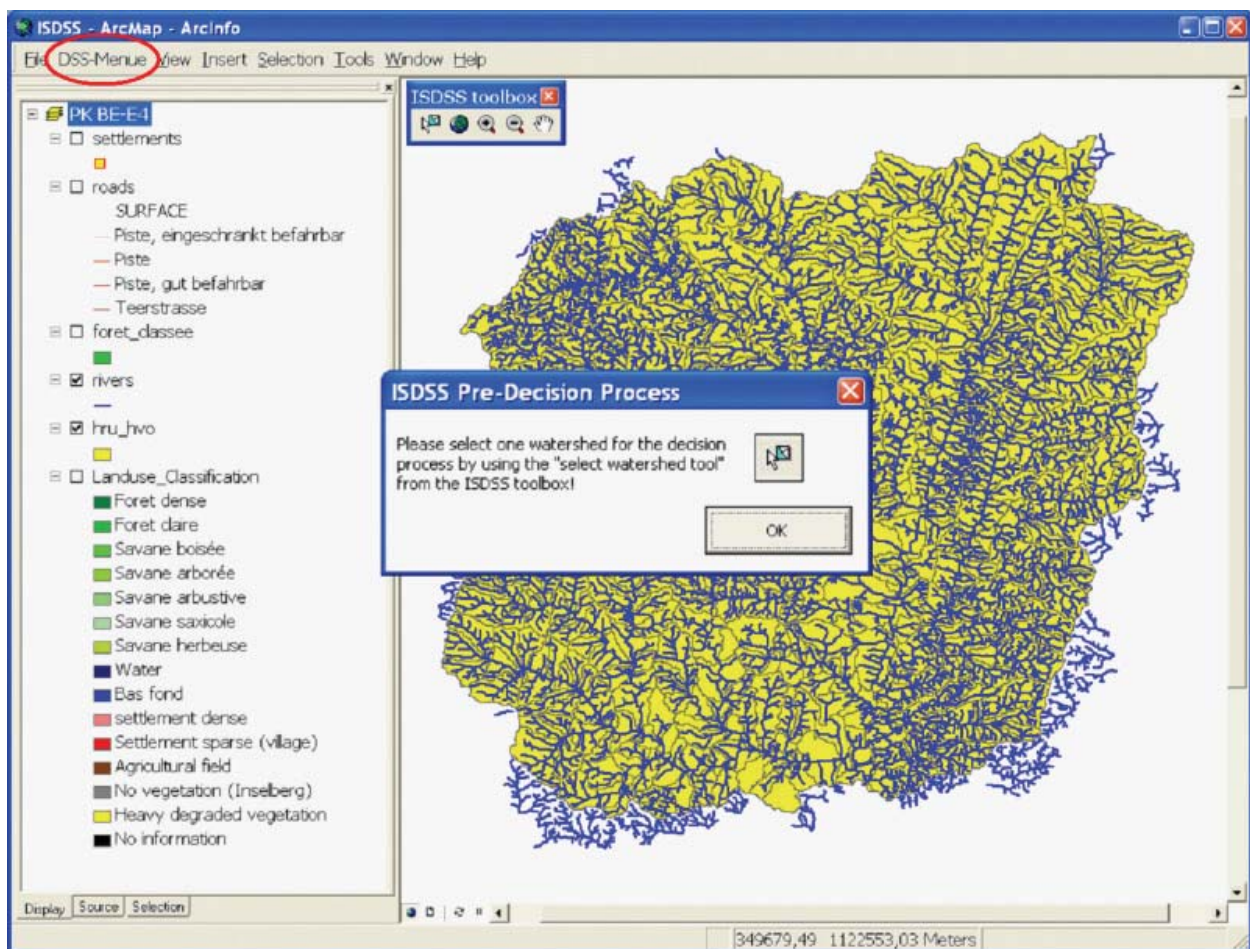


Abb. III.1.1-19: Beispiel für das ISDSS Kleinstauseen für den oberen Ouémé

### ***Berücksichtigung der Einzelergebnisse in der Gesamtbewertung für die physisch/geographische Eignungsanalyse***

Für die Abschätzung der Lebensdauer des Kleinstausees sind die Sedimentationsraten von Bedeutung. In dem hydrologischen Modul von SYMBA wird unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit im Einzugsgebiet, der Topographie, der Fließgeschwindigkeit, der Durchflussmenge und

anderen für die Fragestellung relevanten Parametern, die Sedimentationsfracht abgeschätzt. Somit kann berechnet werden, in wie vielen Jahren die Konstruktion zusedimentiert ist.

SYMBA erlaubt die Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen in Abhängigkeit der Szenarien zukünftiger Entwicklung. Die entsprechend der Szenariendefinition veränderten und mit entsprechenden Modellen berechneten Veränderungen im Abfluss, der Landnutzung und anderen Parametern fließen in das SYMBA Modul Hydrologie ein. Die Integration erfolgt hier ebenfalls im einfachsten Fall über „Look Up“ Tabellen, in denen schon berechnete Modellergebnisse abgelegt werden. Bei Bedarf können aber auch dynamische Datenbankabfragen sowie aktive Modelleinbindung realisiert werden.

Zu erwartende Klimaveränderungen hinsichtlich Niederschlagsmenge und Niederschlagsintensitäten können ebenso berücksichtigt werden wie Veränderungen der Vegetationsbedeckung / Landnutzung in den Einzugsgebieten, die wiederum Einfluss auf den Hydrographen und die Sedimentationsrate haben. Erste Realisierungen der hydrologischen Fragestellungen wurden bereits in dem SDSS umgesetzt.

**Abb. III.1.1-20:** Beispiel für eine Benutzeroberfläche für das iSDSS für die Kleinstauseen. Die Nutzer können je nach Anforderungen ihre Anfragen für die Physikalisch-Geographische Eignungsanalyse definieren. (aus Laudien et. al 2006)

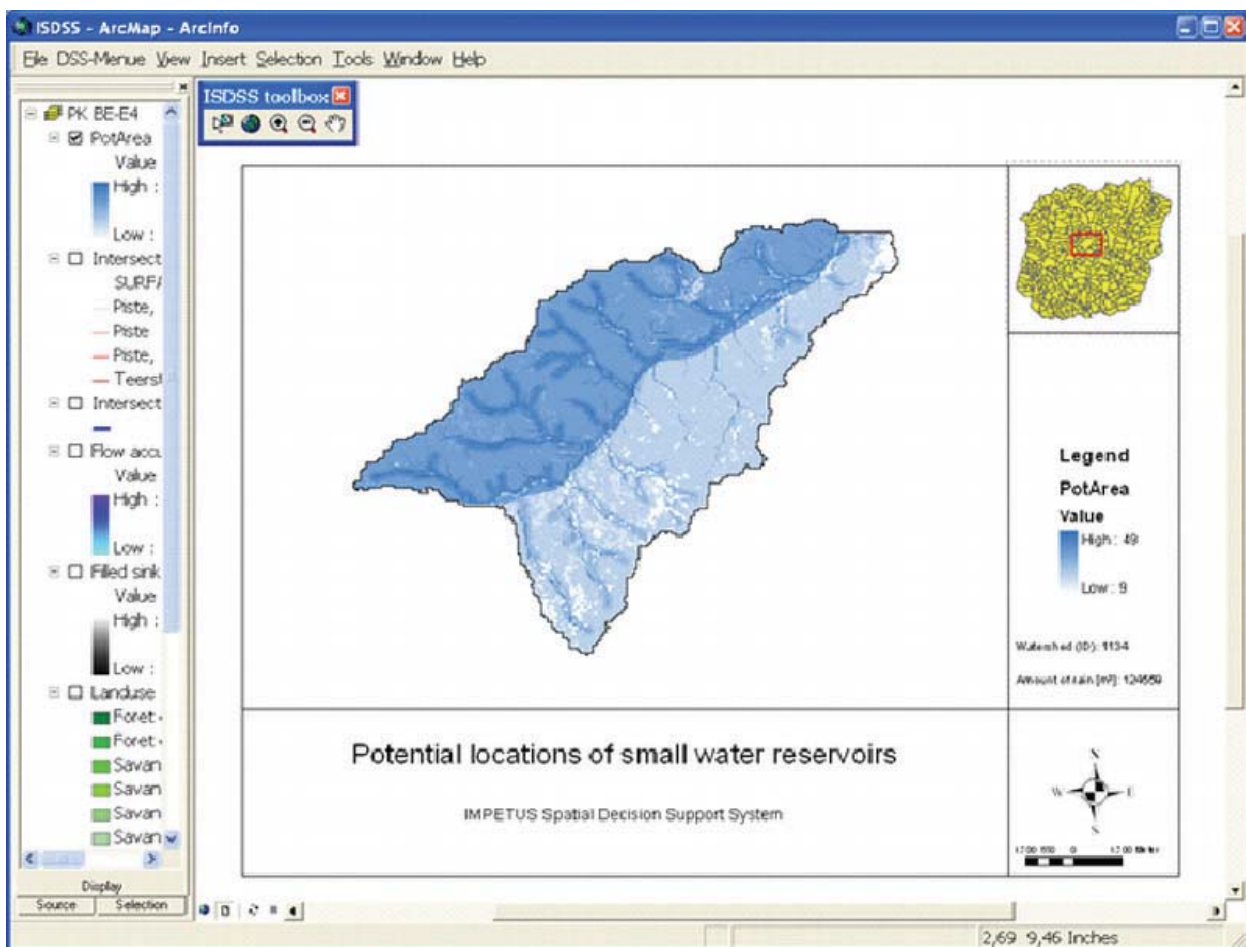
### **Beschreibung des Regelwerks für das SDSS SYMBA**

Für die Bewertung einer Eignung eines Gebietes für die Anlage für Kleinstauseen werden die einzelnen Bewertungskriterien unterschiedlich gewichtet.

Es gibt „harte“ Ausschlusskriterien, die eine Ausweisung als geeigneten Standort für Kleinstauseen kategorisch verhindern, zum Beispiel, wenn sich Siedlungen oder überregionale Straßen in dem Zielgebiet befinden, oder der geologische Untergrund so stark geklüftet ist, dass sich bei vertretbarem Aufwand das Stauziel nicht erreichen lässt. Weitere „harte“ Ausschlusskriterien sind ungeeignete Topographie.

Neben diesen „kategorischen“ Ausschlusskriterien gibt es andere Faktoren, die eine Anlage von Kleinstauseen nicht komplett unmöglich machen aber erschweren. Hierzu gehört zum Beispiel eine ungeeignete Landbedeckung, wie z.B. ein dichter Wald, der erst mit großem Aufwand gerodet werden müsste, bevor ein Kleinstausee gebaut werden kann. Auch Distanzfaktoren zu Siedlungen und Verkehrswege werden hierbei berücksichtigt. Es ist wenig sinnvoll, einen Kleinstausee in einem Gebiet anzulegen in dem weder Menschen wohnen die ihn sinnvoll bewirtschaften noch Transportwege existieren, um die produzierten Güter zu vermarkten. Allerdings ist eine z.Z. unzureichende Infrastruktur kein kompletter Ausschlussgrund, da in Zukunft eventuell eine durch Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung oder sonstigen Ursachen bedingte Nahrungsmittelknappheit die Anlage von Kleinstauseen auch in diesen Gebieten nötig macht oder sich die Besiedlung ändert.

In der **Abb. III.1.1-18** wird das Vorgehen für einen Teil der topographisch/hydrologischen Eignungsanalyse in einem Flussdiagramm dargestellt. Die unterschiedlichen Eingabedatensätze sowie die Beschreibung der funktionalen Zusammenhänge werden verdeutlicht. Klar wird dabei auch, dass z.T. Zusatzfunktionen benötigt werden zum Ausgleich von Fehlern oder Fehlwerten in den Eingangsdaten. So müssen z.B. Fehlstellen im DGM, die auf Fehlwerte zurückzuführen sind, mit geeigneten Verfahren interpoliert werden. Die Implementierung solcher Funktionen ist zeitaufwändig, da ausgiebige Validierungen nötig sind, damit es durch die Hilfsfunktionen nicht zu Artefakten in den für die SDSS wichtigen Eingabedatensätzen kommt.



**Abb. III.1.1-21:** Mit dem ISDSS Kleinstauseen berechnete Orte, die sich für die Anlage von Kleinstauseen eignen.

### ***Modul Rentabilität***

Mit diesem Modul soll der „Mehrwert“ abgeschätzt werden, der sich durch Kleinstauseen in unterschiedlichen Konfigurationen (hinsichtlich Stauhöhe und Stauvolumen) und unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten für die Anwendergruppen ergibt. Hierbei kommen agrarische Wachstumsmodelle zum Einsatz. Dabei ist der Effekt einer verbesserten Wasserversorgung eine Kernfrage. Daneben werden aber auch Nährstoffversorgung und im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung die potentielle Erschöpfung der Böden berücksichtigt. Eingangsdaten hierfür sind Bodenkarten und daraus abgeleitete Bodeneigenschaften, der Bedarf der einzelnen Nutzpflanzen sowie Klimabedingungen und Wasserverfügbarkeit. Mit den Modellen soll ebenfalls abgeschätzt werden, ob eine zweite oder gar dritte Ernte möglich ist. Dabei soll die Fruchtfolge so optimiert werden, dass eine nachhaltige Nutzung gewährleistet werden kann.

Diese Ertragsmodellierung erfolgt für Bewässerungssysteme unterschiedlicher Komplexität. Im einfachsten Fall der Bewässerung wird durch einen kleinen Damm die Verweildauer des Wassers erhöht, so dass Boden- und Grundwasserspeicher durch Infiltration aufgefüllt werden. Der durch die Stauhöhe erhöhte Wasserdruck steigert die Infiltrationsraten. Der Anbau von Nutzpflanzen erfolgt dann auf den gesättigten Böden. Eventuell kann auch eine Bewässerung mit einfachen Brunnen, die um den Kleinstausee angelegt werden, erfolgen. Dieses System hat den Vorteil, dass es fast keine zusätzliche Arbeitskraft und keine spezielle Ausbildung zur Pflege des Bewässerungssystems benötigt. Etwas komplexer ist das System der einfachen Bewässerungsrinnen, die entweder durch Bretter oder mit kleinen Erddämmen, die einfach mit Handwerkzeugen zu erstellen sind, gesteuert werden. Dieses System eignet sich für die Bewässerung größerer Flächen, erfordert allerdings einen deutlich höheren Grad an Organisation und Ausbildung der Nutzer. Die höchste Stufe der Komplexität, die simuliert werden soll, ist die Abschätzung des Mehrertrags durch eine Bewässerung mit Motorpumpen.

Mit Hilfe des Moduls RENTABILITÄT kann der Mehrwert durch den Kleinstausee in Verhältnis zu den Kosten des Kleinstausees gesetzt werden. Diese Information ist für staatliche Stellen sowie Geberorganisationen im Hinblick auf einen effizienten Mitteleinsatz von Interesse.

Wenn die Ertragssteigerung erheblich ist, kann der Aufwand für Sensibilisierung und Schulung der Staudammnutzer gering gehalten werden. Lösungen bei denen der sich Mehrwert für die Nutzer unmittelbar erschließt, z.B. durch Verbesserung der Einkommenssituation, sind in der Regel nachhaltig, da dadurch die Motivation der Verantwortlichen, diese Systeme anzuwenden und zu pflegen, nicht erst geweckt werden muss. Auch ist die Breitenwirkung durch positive Berichte der Bauern untereinander nicht zu unterschätzen. Dadurch kann der Aufwand für Sensibilisierung und Motivation der Nutzer gering gehalten werden.

### ***Modul Sozio-öko-nutz***

In diesem Modul werden die für eine nachhaltige Nutzung der Kleinstauseen notwendige Elemente aus dem Gebiet der Soziologie und Ökonomie behandelt. Während in der Vergangenheit den technischen Aspekten bei der Anlage und Nutzung von Kleinstauseen in der Regel große Aufmerksamkeit gewidmet wurden, erfolgte oft eine Vernachlässigung der soziologisch-ökonomischen Zusammenhänge. Das ist verständlich, da sie oft vielschichtig, komplex und nicht einfach zu erfassen und

mit Formeln beschreibbar sind. Auf der anderen Seite beruht das Scheitern von Kleinstausee-Projekten sehr häufig auf der Missachtung der sozialen, kulturellen oder ökonomischen Gegebenheiten vor Ort. Wenn ein Kleinstausee angelegt wird ohne hinreichende Klärung von Landrechtsfragen und Eigentumsverhältnissen, kann in der Regel keine nachhaltige Nutzung erfolgen, da sich die Bauern mangels gesicherter Landrechte nicht um langfristige Nutzungskonzepte bemühen. Auch die Konflikte zwischen nomadisierenden Tierhaltern und Bauern müssen im Vorfeld erkannt werden, um angepasste Konfliktlösungsstrategien zu finden. Diese sollten auf den jeweiligen traditionellen Mechanismen der Konfliktregulierung beruhen.

Einige Teile dieses Moduls können technisch in SYMBA integriert werden, z.B. Karten der Siedlungsräume der unterschiedlichen Ethnien, was raumbezogene Analysen erlaubt. Dies ist notwendig, da es schwierig wird, Nutzungskonzepte für Kleinstauseen in Gegenden aufzustellen, in denen Konflikte zwischen unterschiedlichen Ethnien herrschen. Es ist auch darauf zu achten, dass im unmittelbaren Unterlauf des Kleinstausees nicht andere Ethnien siedeln, die nach der Anlage des Kleinstausees benachteiligt sein können.

Andere Ergebnisse des PKs können durch strukturierte Prozessesse wie der partizipativen Landnutzungsplanung und der Einrichtung von Komitees zur Konfliktlösung abgebildet werden. Die Untersuchung der Landrechtsverhältnisse sowohl des traditionellen Land- und Landnutzungsrechts für die unterschiedlichen Ethnien sowie die entsprechende staatliche Gesetzgebung und die Konflikte zwischen tradierten und staatlichen Landrecht wird im Moment noch von den Sozialwissenschaftlern unter Bako-Arifari untersucht.

### ***Technische Realisierung des DSS:***

Die einzelnen Module des DSS wurden in einer Kombination einer Geodatenbank (die „proof of concept“ Studien erfolgten mit MS Access) und dem Geographischen Informationssystem ArcGIS realisiert. ArcGIS verfügt über eine Schnittstelle, mit der Module in der Programmiersprache Visual Basic für Anwendungen (VBA) eingebunden werden können. Dies erlaubt die effiziente Realisierung spezifischer Module. Hierbei wird der Datenbank Zugriff automatisch zur Verfügung gestellt und komplexe GIS Operationen können relativ einfach mit der ArcObjects Bibliothek in den Programmcode implementiert werden. Diese hochfunktionale Bibliothek ist Teil des ArcGIS Pakets. Das reibungslose Zusammenspiel mit Visual Basic erlaubt eine Programmierung auch hochkomplexer raumbezogener Anwendungen in überschaubarer Zeit. Für die endgültige Version, bei der große Datenmengen zur Analyse anfallen, wird eine leistungsfähigere Datenbank eingebunden werden. Durch die standardisierten Schnittstellen ist dies ohne großen Zeitaufwand machbar.

### **Literatur**

- El-Najdawi, M. K. & A. C. Stylianou (1993) "Expert support systems: integrating AI Technologies," Communications of the ACM 36(2), 55-65.
- Keenan, P. (1997), Using a GIS as a DSS Generator. [http://mis.ucd.ie/staff/pkeenan/gis\\_as\\_a\\_dss.html](http://mis.ucd.ie/staff/pkeenan/gis_as_a_dss.html)
- Laudien, R., Giertz, S., Thamm, H.-P., Diekkrüger, B., & Bareth, G. (2006): Customizing ArcGIS for spatial decision support - Case study: Locating potential small water reservoirs in Benin.- Proceedings of Spie (Vol. 6421), Geoinformatics 2006: Geospatial Information Technology, Huayi Wu & Qing Zhu (Editors), 64210KY, ISSN 0277-786X, ISBN 0-8194-6530-5, 28-29.10.2006, Wuhan, China.
- Leung, Y. (1997): Intelligent Spatial Decision Support Systems, Springer - Verlag, Berlin.



- Malczewski, J. (1999): GIS and multicriteria decision analysis, Wiley, New York.
- Manoli, E.; Arampatzis, G.; Pissias, E., Xenos, D. & D. Assimacouloulo (2001), "Water demand and supply analysis using a spatial decision support system," *Global NEST: The International Journal*, 3(3), 199-209.
- Thamm, H.-P.; Judex, M.; Orekan, V.; Giertz, S., Diederich, M.; Sogalla, M.; Hiepe, C.; Singer, U.; Doevenspeck, M. & G. Menz (2006): Present and Future Vegetation Dynamics in the Ouémé Catchment and its Influence on the Hydrological Cycle, International conference on Integrated river basin management in contrasting climate zones, 14.12.-15.12., Stuttgart
- Thamm, H.-P. (2006) „Ausweisung von geeigneten Standorten und nachhaltiges Management von Kleinstauseen für die Landwirtschaft,“ P. Speth and B. Dieckrüger (2006): IMPETUS: Sechster Zwischenbericht, Zeitraum: 1.1.2005 – 31.12.2005,
- Singh, A.(2004): Towards decision support models for an ungauged catchment in India, the case of Anas catchment, Dissertation an der Universität Karlsruhe, Fak. f. Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften, Karlsruhe P. Speth, B. Dieckrüger, M. Christoph & A. Jaeger (2005): „IMPETUS-West Africa- An integrated approach to the efficient management of scarce water resources in West Africa – Case studies for selected river catchments in different climate zones,“ ptDLR– Projektträger im DLR (eds.), GLOWA – German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle. Status Report 2005. 86-94 (2005), <http://www.impetus.uni-koeln.de>
- Turban, E.; Aronson, J. E. & T.P. Linag(2005): Decision support systems and intelligent systems. Prentice Hall, New York
- Yeh, A. (1999): "Urban planning and GIS," P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, and D.W. Rhind (eds.), *Geographic information system*, Vol.2, John Willey and Sons, New York

## PK Be-E.5 Land- und Wasserbedarf der Nutztierhaltung in Benin



Transhumante bei der Überquerung des Ouémé

### **Problemstellung**

In Benin ist die extensive Weidetierhaltung ein wesentlicher Bestandteil der Landnutzung. Für die Produktion von tierischen Lebensmitteln werden vor allem die beiden natürlich vorkommenden Ressourcen Land und Wasser als Produktionsfaktoren eingesetzt. Jedoch konkurriert die Tierhaltung zunehmend mit Ackerbau und Plantagenwirtschaft um verfügbare Flächen. Auf den Wasserkreislauf wirkt die Weidetierhaltung im Wesentlichen auf zwei Ebenen ein. Zum Einen konkurrieren Tiere mit Menschen um das verfügbare Trinkwasser. Hierbei sind sowohl verfügbare Wassermengen als auch der Einfluss der Viehtränken auf die lokale Wasserqualität zu berücksichtigen. Zum Anderen verändert der zunehmende Druck der Tierbestände auf die immer knapper werdenden Weideressourcen die Vegetationszusammensetzung und beeinflusst dadurch den hydrologischen Kreislauf. Während der Aspekt des Tränkewasserverbrauchs regional und saisonal bedeutend ist, betreffen die Probleme von Flächenknappheit und Überweidung das ganze Land. Hintergrund ist das Aufeinandertreffen zweier gegenläufige Trends: einerseits steigt die Nachfrage nach tierischen Produkten durch das Bevölkerungswachstum und veränderte Konsumgewohnheiten stark an. Andererseits sorgt das Bevölkerungswachstum für einen zunehmenden Bedarf nach Ackerland und verdrängt damit die derzeit noch dominante Form der extensiven Weidehaltung. Produktionszunahmen im Tierhaltungssektor erfolgen momentan ausschließlich über die Ausdehnung der Viehzahlen, und nicht über Steigerungen der Produktionseffizienz. Es ist somit absehbar, dass mit steigenden Tierzahlen die Wanderungen der viehhaltenden Ethnien bereits bestehendes Konfliktpotenzial weiter vergrößern. Zusätzlich reduzieren regionale Klimaänderungen die Produktivität der unter zunehmendem Weidedruck stehenden natürlichen Vegetation. Angesichts der geringer werdenden heimischen Produktionsspielräume werden entweder die Importe von Fleisch und Milchprodukten zunehmen, was eine Fortsetzung des wirtschaftlichen Aufwärtstrends voraussetzt, um die Importe

finanzieren zu können, oder Preisanreize lassen durch gestiegene Nachfrage intensivere und damit flächensparende Produktionsverfahren rentabel werden.

### **Mitarbeiter**

**Ina Gruber**, Arnim Kuhn, Julia Röhrig, Hans-Peter Thamm

### **Zielsetzung**

Ein bedeutendes Ziel dieses Problemkomplexes ist die Abschätzung der Versorgung mit tierischen Nahrungsmitteln bis 2025 in Abhängigkeit von Einkommensentwicklungen und Verfahrensänderungen der Produktionstechnik in der Viehhaltung. Dies soll ausgehend von der Verfügbarkeit von Produktionsressourcen, vor allem von Land, und dem Einfluss bzw. der Möglichkeit von Importen tierischer Erzeugnisse erfolgen. Dazu werden Berechnungen des Wasserbedarfs für Nutztiere und der Landnutzungsänderung durchgeführt. Darauf aufbauende Szenarienrechnungen mit variierenden Klimaausprägungen, Landnutzungs- und Haltungsformen werden berechnet, um frühzeitig möglichen Handlungsbedarf aufzeigen zu können.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Die gegen Ende der zweiten Phase begonnene Implementierung des Tierhaltungssektors in das agrarökonomische Modell BenIMPACT, wurde im Berichtszeitraum verstärkt weitergeführt. Das Modell BenIMPACT verfügt nun über ein Tierhaltungsmodul, das eng an das bisher bestehende Pflanzenproduktionsmodul angelehnt wurde. Diese Nähe ist aufgrund der zahlreicher Verknüpfungen dieser beiden Bereiche notwendig. Zusätzlich wurden verschiedenste Methoden angewendet um konsistente Entwicklungsmöglichkeiten zu ermitteln, die für die Szenarienausgestaltung benötigt werden.

### **Modellierung**

Der analytische Ansatz von PK Be-E.5 besteht in der Entwicklung eines ökonomischen Modells der Tierhaltung für die Departments in Benin und dessen Einbindung als Submodul in das Agrarsektormodell BenImpact. Das Blockdiagramm veranschaulicht den interdisziplinären Charakter dieses Vorhabens (siehe Abbildung 1). In dieses Modul gehen naturwissenschaftliche Ergebnisse aus dem Bereich der Meteorologie, der Fernerkundung, der Biologie und der Tierernährung ein. Des Weiteren werden auch landwirtschaftliche Produktionsdaten und sozioökonomische Trends wie Bevölkerungsentwicklung, Konsumverhalten und Handelsmuster im Modell berücksichtigt. Wichtige Ergebnisse sind die Aufteilung der Produktionsressourcen (Weideland bzw. Futterfläche, Wasser, landwirtschaftliche Arbeitskraft) zwischen der Tierhaltung und anderen Landnutzungsformen, und das sich daraus ergebende heimische Versorgungsangebot mit tierischen Nahrungsmitteln.



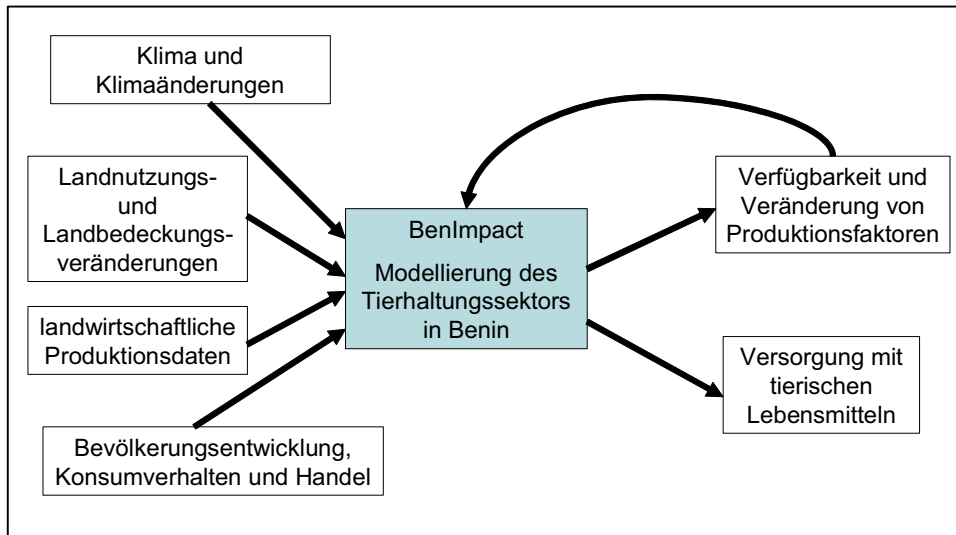


Abb. III.1.1-22: Darstellung des Modellierungsansatzes

Das Agrarsektormodell BenImpact (siehe PK Be-E.1) ist ein für IMPETUS entwickeltes agrarökonomisches Partialmodell. Das Modell besteht aus einem Angebots- und einem Nachfragemodul, die nunmehr simultan gelöst werden mit dem Ziel, den Gewinn zu maximieren und Transportkosten zu minimieren. Der Aufbau des Modells ist in **Abb. III.1.1-22** dargestellt.

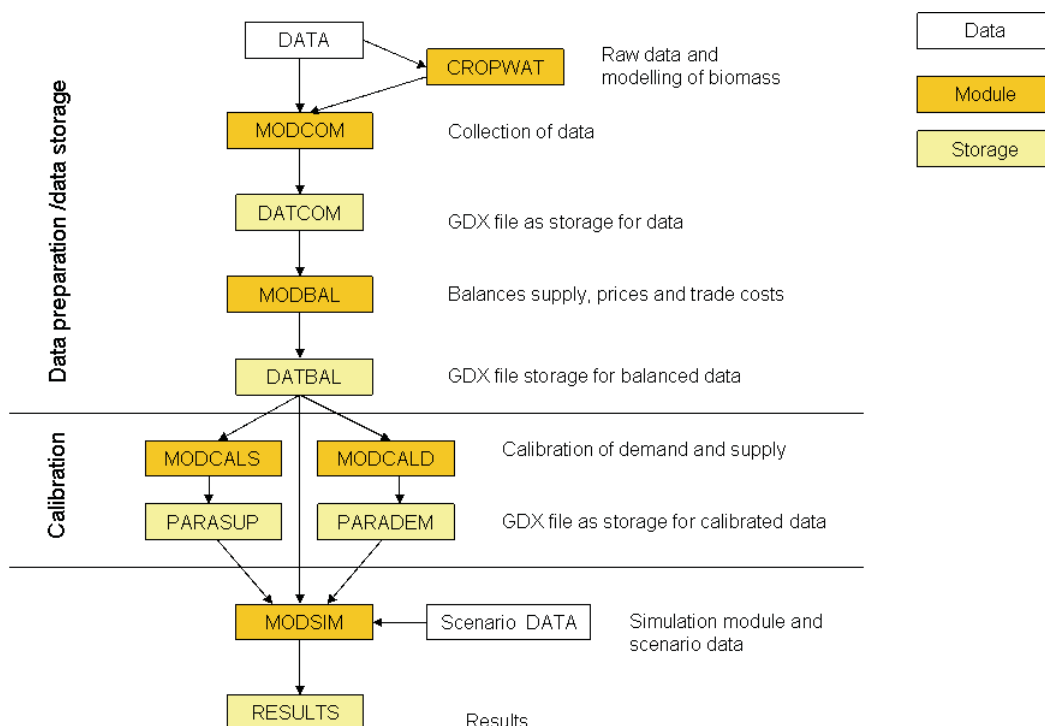


Abb. III.1.1-23: Aufbau von BenIMPACT, Quelle Grafik: GRUBER (2006)

Im Modell werden Landrestriktionen, Verarbeitungskapazitäten und Beschränkungen bei Produktionsfaktoren berücksichtigt. Das landwirtschaftliche Einkommen und die Preise für Agrarprodukte werden in BenImpact endogen modelliert. Interregionaler Handel zwischen verschiedenen Depart-

ments innerhalb Benins, zwischen den Nachbarländern und dem Weltmarkt sorgt für einen Ausgleich der regionalen Mengenbilanzen für Agrarprodukte.

### *Modellierung der Tierhaltung*

Zur Berücksichtigung der Viehhaltung war es zunächst nötig, die erhobenen Daten aus Feldforschung und Literatur in die bestehende Modellstruktur von BenIMPACT zu überführen und zusätzliche Produktionsaktivitäten zu definieren. Als Aktivitäten im Tierhaltungsbereich sind nun die Haltung von Rindern, Schafen, Ziegen, Schweinen und Hühnern in das Modell aufgenommen worden, welche die fünf wichtigsten landwirtschaftlichen Nutztierarten in Benin darstellen.

Aufgrund der schlechten Verfügbarkeit von Zeitreihen wurde im Berichtszeitraum viel Wert auf die Ermittlung von widerspruchsfreien Entwicklungsmöglichkeiten gelegt. Zur Konkretisierung möglicher Entwicklungen im Tierhaltungsbereich wurden die Auswertung der Zukunftseinschätzung der Experten (Durchführung des Expertensurveys November 2005), einer Literaturstudie über Entwicklung in Nachbarländern als auch eine theoretische Analyse der aktuellen Situation mit Hilfe von landwirtschaftlichen Entwicklungstheorien zugrunde gelegt. Diese Analyse bildet in Kombination mit den Überlegungen aus den IMPETUS Szenarien die Grundlage für eine fundierte Szenarienrechnung bis 2025.

Vor allem die steigende Nachfrage wird in der Literatur (siehe Delgado et al., 1999; Schneider, 1999) als driving force für den Tierhaltungssektor angesehen. Dieser deutliche Anstieg, verursacht durch das hohe Bevölkerungswachstum als auch die zunehmende Nachfrage nach tierischen Produkten bei steigenden Einkommen, kann mit dem derzeitigen Umfang der Tierhaltung nicht abgedeckt werden.

Aus der Befragung beninischer Experten ging hervor, dass die steigende Nachfrage durch zunehmende Produktivität in der Tierhaltung gesättigt werden kann. Jedoch wurde als mögliche Strategie auch die ‚traditionelle‘ Reaktion genannt, die darin besteht, die bestehenden Produktionssysteme beizubehalten und ausschließlich die Tierzahlen zu erhöhen. Die Rolle von Importen zum Ausgleich der Nachfragelücke stünde demgegenüber wegen zahlreicher bestehender und potentieller Importrestriktionen zurück.

Ausgehend von diesen Einschätzungen wurde nach der Aufbereitung der Daten und der Programmierung des Basislaufs ein ‚Business as usual‘ - Szenario (BAU) definiert. In diesem BAU-Szenario werden die bisherigen extensiven Produktionsmethoden in der Tierhaltung beibehalten und das Klimaszenario B1 verwendet. Damit werden in dem Modell die Umfänge der Tierhaltungsaktivitäten für Wiederkäuer nicht über den Preis gesteuert, sondern allein über die Verfügbarkeit von Land bzw. Futter. Die Tierzahlen der Monogastrier folgen in dieser Modellversion entsprechend der Ergebnisse der Literaturrecherche dem regionalen Bevölkerungswachstum. Unter diesen Vorgaben berechnet das Modell die Entwicklungen der Tierzahlen von Wiederkäuern in den drei Regionen Norden, Zentrum und Süden. Die BAU-Simulation gibt zunächst ein exogenes regionalisiertes Wachstum der Tierzahlen vor. Jedoch werden diese ermittelten Tierzahlen endogen regional reduziert, wenn die Futterverfügbarkeit in einer Region unzureichend ist und in einer Periode nicht

eingehalten werden kann. Die Einhaltung der Futterverfügbarkeit wird mit folgender Ungleichung erzwungen:

$$Yield_{i,p,bio} \cdot \left( AAgr_i - \sum_{crop} Lev_{crop} \cdot Levf_{crop,p} + AFor_{i,p} \right) + Lev_{i,p,crop} \cdot Cropres_{crop} \geq \sum_{lvst} Lev_{i,lvst} \cdot Fodreq_{i,p,lvst}$$

wobei

Yield: Ertrag an Biomasse

Levl: Umfang der Produktionsaktivität

i: Region

Levf: Flächenbedarf

p: Periode (1-4)

crop: Pflanzenbauaktivität

bio: natürliche Weide, Wald

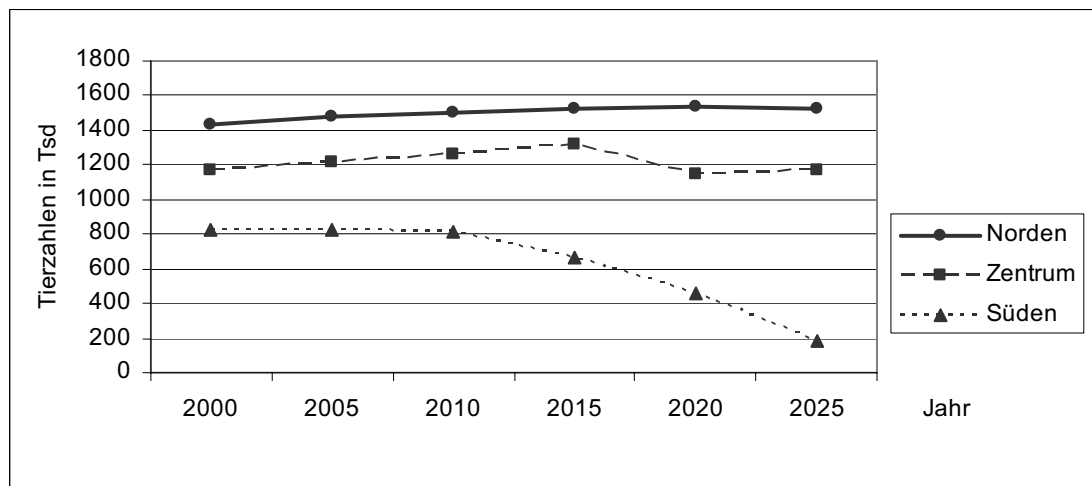
lvst: Tierhaltungsaktivität

AAgr: Landwirtschaftliche Nutzfläche

Cropres: Ernterückstände

AFor: Waldfläche

Ist die Futterverfügbarkeit nicht gewährleistet, werden regionale bzw. saisonale Reduktionskoeffizienten berechnet, welche die Tierzahlen dezimieren. Jedoch ist es nicht sinnvoll in mehreren Perioden hintereinander die Tierzahlen zu reduzieren, da die Reproduktionszyklen vor allem bei Rindern über mehrere Perioden hinweg andauern. Deswegen wird der höchste Reduktionskoeffizient verwendet, der die Reduktion der Wiederkäuer in einem Jahr bestimmt.<sup>1</sup> Damit ergibt sich für das BAU Szenario folgende Entwicklung der Tierzahlen, die in **Abb. III.1.1-24** dargestellt ist.

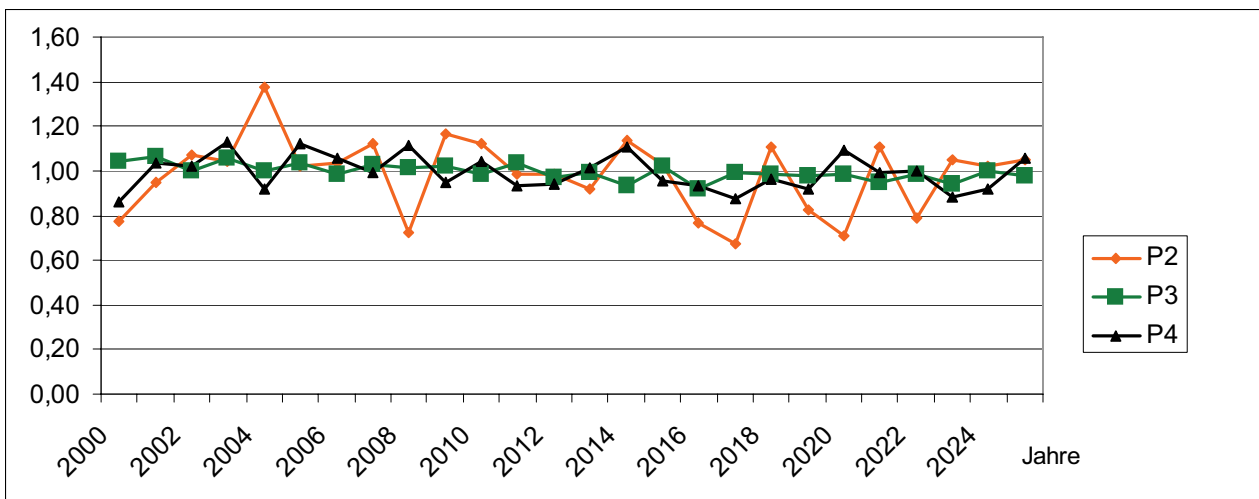


**Abb. III.1.1-24:** Entwicklung der Zahlen von Wiederkäuern in den 3 Großregionen bis 2025 (vorläufiges Ergebnis)

<sup>1</sup> Da die Formulierung des Modells als Mixed Complementary Problem (MCP) die Verwendung der Maximumfunktion (unter mehreren Argumenten) von GAMS nicht erlaubt, wird eine nichtlinear approximierende Maximumfunktion verwendet, die den höchsten Wert aus den vier (möglichen) periodischen Reduktionskoeffizienten bestimmt.

Diese vorläufige Modellergebnisse zeigen, dass eine unbeschränkte Zunahme an Wiederkäuern nicht möglich ist. Die Entwicklung der Tierzahlen in diesem Modelllauf ist begrenzt durch die Verfügbarkeit von natürlicher Weide. Die Abnahme der Wiederkäuer für die südliche Region sind aber sicherlich überschätzt, da die kleinen Wiederkäuer Schafe und Ziegen mit zusätzlichen Futtermitteln versorgt werden bzw. vor allem auch die Ziegen Abfälle am Straßenrand fressen. Trotzdem zeigt das Modell deutlich, dass eine ausschließlich auf Ressourcen basierte Produktionsmethode mit der steigenden Nachfrage nicht mithalten werden können. Daher sind Strategien zur Verbesserung der Produktivität notwendig, wenn die Produktion von tierischen Produkten größtenteils in Benin stattfinden soll.

Neben der Entwicklung der Tierzahlen für Wiederkäuer kann man die Bedeutung und den Einfluss des Klimas auf die extensive flächenabhängige Tierhaltung an dem benötigten Flächenbedarf feststellen. In **Abb. III.1.1-25** wird der normierte Flächenbedarf pro Rind und Periode über den Zeitablauf dargestellt. Zur Normierung wurde der Durchschnitt der letzten 35 Jahre verwendet. Periode 1, Januar bis März, ist nicht abgebildet, da in dieser Zeit die Futtermittellieferung vorwiegend aus Ernteresten und Waldweide besteht.



**Abb. III.1.1-25:** Flächenbedarf an Weidefläche (ohne Wald) pro Rind bis 2025 in Abhängigkeit des Jahresverlaufs

Betrachtet man den Flächenbedarf in den einzelnen Perioden so erkennt man, dass in Periode 3, Juli bis September, geringe Schwankungen im Zeitverlauf auftreten. In Periode 4, Oktober bis Dezember, sind die Schwankungen über die Jahre bereits höher. Noch deutlicher wird die Abhängigkeit der extensiven Produktion vom Niederschlag in Periode 2. Je nachdem wann die Regenzeit einsetzt und wie viel Niederschlag fällt, werden deutlich mehr bzw. in regenreichen Jahren weniger Fläche pro Tier als im langjährigen Mittel benötigt.

Zusätzlich zu den Berechnung Tierzahlen bei extensiven Produktionsmethoden und dem Flächenbedarf wurde das Modell dahingehend erweitert, dass mit jeder Bestimmung des Aktivitätsumfangs in der Tierhaltung die saisonal benötigten Wassermengen für die Modellregionen ausgegeben werden. Der Wasserbedarf wird für jede Region in Abhängigkeit der aufgenommenen Trockenmasse, der Temperatur und der Milchleistung berechnet.

$$WQ_i = \sum_r \left( \frac{N_{r,i} \cdot LW_r}{TLU} \cdot 6.25 \cdot \left( 4.303 + 0.0906 \cdot e^{(0.115 \cdot temp)} \right) \right) + 3M \cdot N_{cows,i} + \sum_m N_{m,i} \cdot n_m$$

wobei

WQ: gesamter Wasserbedarf

TLU: Tropical Livestock Unit (250 kg)

i: Region

temp: Temperatur in °C

r: Wiederkäuer

N: Anzahl an Tieren

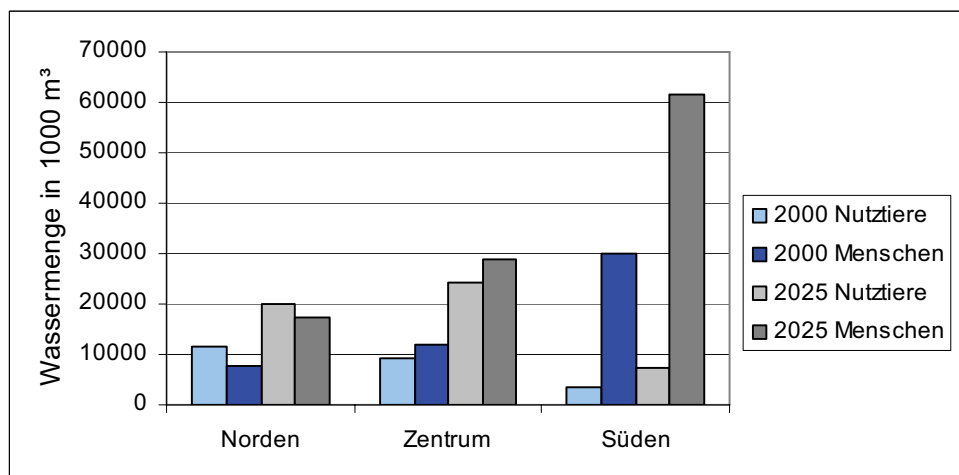
M: Milchleistung

m: Monogastrier

LW: Lebend Gewicht

n: Wasserbedarf

Diese Wassermengen werden in Relation zum menschlichen Konsum gesetzt als auch zu der im Basisjahr benötigten Wassermenge in der Tierhaltung. Bei der obigen Berechnung der Tierzahlen ergibt sich folgende Entwicklung für den Wasserbedarf in **Abb. III.1.1-26**. Für den menschlichen Bedarf wurden 20 Liter Wasser pro Person und Tag angesetzt. Diese Menge entspricht dem angestrebten Versorgungsziel für Benin.



**Abb. III.1.1-26:** Wasserbedarf der Nutztierhaltung im Vergleich zum menschlichen Bedarf

Nachdem nun die klimatischen und Ressourcen relevanten Aspekte in die BAU Simulation eingebaut wurden, werden in den folgenden Schritten ein weiteres Klimaszenario gerechnet werden und die ökonomischen Zusammenhänge in das Modell eingebaut werden. Hiermit ist vor allem die Abhängigkeit des Angebots auf den Preis gemeint und das Verhalten der verschiedenen Akteure auf Preisänderungen. Mit dieser nächsten Erweiterung des Modells können die bestehenden Interaktionen in der Produktion und die Substitution von verschiedenen tierischen Produkten auf der Konsumentenseite abgebildet werden.

### **Zusammenarbeit mit anderen Institutionen**

In Benin sind die Direction de l'Élevage, ein Department des Agrarministeriums und mehrere Professoren der Universität Abomey-Calavi in die laufende Arbeit eingebunden. Reger Austausch ist mit den Direktoren der Staatsfarmen in Benin vorhanden, die als Innovatoren in diesem Sektor angesehen werden können. Darüber bestehen Kontakte zum INRAB (L'Institut des Recherches Agricoles du Bénin) und einigen privaten Organisationen, die im Tierhaltungsbereich aktiv sind.

### **Feldarbeiten**

Bei einem Feldaufenthalt Ende 2006 wurden diese Modellergebnisse mit Experten aus dem Tierhaltungssektor diskutiert und neue Anregungen aufgenommen. Im Rahmen des Problemkomplexes BeE-1 und diesem Problemkomplex wurde eine beninische Masterstudentin gesucht, die sich in den kommenden Monaten in ihrer Masterarbeit mit Landpreisen auseinandersetzen wird, da die Datenlage weiterhin unbefriedigend ist. Zusätzlich wurden erste Gespräche mit Mr. NSIA von der Delegation à l'Aménagement du Territoire (DAT) geführt, die sich mit Landnutzungsfragen in Benin beschäftigen. Ihr Ziel ist es auf der Basis von Geodaten, der Regierung Impulse für eine optimale an den vorhandenen Ressourcen angepasste Landnutzung zu geben. Bei den Treffen wurde zusammen mit Julia Röhrig, Hauptverantwortliche von Be-E.6, mit den Experten darüber hinaus diskutiert, in wie weit marginale Gebiete bzw. auch degradierte Gebiete für die Tierhaltung genutzt werden oder in Zukunft genutzt werden könnten. Des Weiteren konnten die Kenntnisse über Strukturen der Landnutzungsplanung in Benin erweitert werden.

### **Literatur**

- Delgado, C. et al. (1999): Livestock to 2020 – The Next Food Revolution. IFPRI: Food, Agriculture and the Environment, Discussion Paper 28. Washington D. C..
- Gruber, I. (2006): How to meet future demand for animal products: the case of Benin. Poster presented at the Tropentag 2006, Bonn.
- Schneider, F. (1999): Livestock and the Environment. In: InfoAgrar News No. 5 / Jan. 1999. Bühler Druck AG.

## PK Be-E.6 Erhaltung der natürlichen Produktionsgrundlagen unter Berücksichtigung des globalen Wandels



Sorghumfeld am Fuße eines Berges im Norden Benins

### **Problemstellung**

Die Folgen von Bevölkerungswachstum und stagnierenden Erträgen sind insbesondere in stark agrarisch geprägten Räumen wie Benin bedeutsam. Knappe Landressourcen und ein damit ansteigender Druck auf die natürlichen Produktionsgrundlagen äußern sich unter anderem in einer weiteren Intensivierung und Expansion der landwirtschaftlichen Aktivitäten. Beides stößt jedoch insbesondere auf naturräumlich bedingten marginalen Produktionsstandorten rasch an Grenzen. Diese Gebiete lassen aufgrund ungünstiger Wachstumsbedingungen durch bestehende naturräumliche Einschränkungen nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten bei einem relativ niedrigen Ertragsniveau zu. Marginale Standorte können dadurch nur einen geringen, jedoch wichtigen Beitrag zur Ernährungssicherung leisten. Des Weiteren sind diese Räume durch eine hohe Gefährdung der Produktionsgrundlagen durch Landdegradierung aufgrund landwirtschaftlicher Übernutzung charakterisiert. Dadurch wird die landwirtschaftliche Produktionsgrundlage weiter verschlechtert und darüber hinaus den Wasserkreislauf in vielfältiger Weise beeinflusst.

Die Erhaltung und nachhaltige Nutzung agrarischer Produktionsstandorte ist von entscheidender Bedeutung für die Gewährleistung der aktuellen und zukünftigen Ernährungssicherheit sowie für die gesellschaftliche Stabilität Benins. Für die zukünftige Ernährungssicherung gilt es daher, den Naturraum optimal zu nutzen und darüber hinaus zu untersuchen, in wieweit sich die naturräumlichen Bedingungen für die Landwirtschaft aufgrund globaler Umweltveränderungen verändern werden, um entsprechende Vorsorge- und Schutzmaßnahmen rechtzeitig in die Wege zu leiten.

## Mitarbeiter

**Julia Röhrig**, Claudia Hiepe, Zhixin Deng

## Zielsetzung

Ein wichtiges Ziel ist die Berechnung der aktuellen agrarischen Marginalität modifiziert nach dem Ansatz von CASSEL-GINTZ ET AL. (1997) sowie damit verbundene Degradationsrisiken für Benin in einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km. Dafür werden verschiedene naturräumliche Beschränkungsfaktoren quantifiziert und zu einem Index zusammengefasst, dem Marginalitätsindex für die landwirtschaftliche Produktion. Damit werden Gebiete identifiziert, die aufgrund ihrer Limitationen nur begrenzt nutzbar sind und auf denen eine erhöhte Degradationsgefahr durch Übernutzung besteht. Darüber hinaus kann über die Berechnung für jede Fläche der wesentliche naturräumliche Beschränkungsfaktor bestimmt und damit notwendige Kompensationsmaßnahmen abgeleitet werden. Tatsächlich übernutzungsgefährdete Räume werden über die Implementierung von Informationen zur Landnutzung, zum Bevölkerungsdruck und zu Anbaumethoden ausgewiesen. Die Degradation der Vegetationsbedeckung, eine erste Form der Landdegradation, wird flächenhaft aus Fernerkundungsdaten abgeleitet. In einem weiteren Schritt wird untersucht, inwiefern sich die naturräumlich bedingte Marginalität unter verschiedenen Klimaszenarienannahmen bis ins Jahr 2025 verändern kann. Über demographische Szenarien bzw. Interventionsszenarien, wie z.B. einem erhöhten Einsatz von Düngemittel können der zukünftige Bevölkerungsdruck auf die Ressourcen bzw. das potenzielle Kompensationspotenzial bestimmt werden. Diese Informationen, die als digitale Karten und in einem SDSS aufbereitet werden, sollen nationalen Entscheidungsträgern ebenso wie im Entwicklungsbereich tätigen Institutionen zur Verfügung gestellt werden, um inhaltliche aber auch räumliche Schwerpunkte zukünftiger Aktivitäten zum Schutz der Ressourcen sowie deren nachhaltige Nutzung zu unterstützen.

## Modellierung

Im Zentrum der Modellierung steht die Berechnung des Marginalitätsindex für die landwirtschaftliche Produktion. Der Index wurde vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung gemeinsam mit dem Max-Planck Institut in Hamburg weltweit mit einer räumlichen Auflösung von 0.5° entwickelt (Cassel-Gintz et al. 1997). Mittels des Index werden naturräumlich bedingte marginale agrarische Standorte sowie deren spezifische naturräumliche Beschränkungsfaktoren identifiziert und quantifiziert. Neben den Beschränkungsfaktoren werden darüber hinaus auch einige Kompensationsmaßnahmen, die ohne großen Kapitalinput implementiert werden können, berücksichtigt. Die Bewässerungsmöglichkeit in Gewässernähe ist dafür ein Beispiel. Sowohl für die Quantifizierung als auch für den logischen Entscheidungsbaum wird Fuzzy Logik verwendet. Für die Modellierung im Rahmen von IMPETUS wird der Index mit räumlich höher aufgelösten Datenprodukten von 1 km und einem angepassten Berechnungsalgorithmus berechnet. Bisherige Arbeiten zeigen, dass aufgrund der höher aufgelösten Daten sowie den spezifischen Bedingungen in Benin eine Modifizierung des Berechnungsalgorithmus des Marginalitätsindex notwendig ist. Das umfasst zum einen die Modifizierung der Zugehörigkeitsfunktionen und zum anderen die Berechnung der Inputparameter. So können einige Inputparameter relativ einfach mit neu verfügbaren höher aufgelösten Datensätzen,



wie beispielsweise die Hangneigung aus SRTM Daten, nach dem Ansatz von Cassel-Gintz et al. (1997) direkt berechnet werden. Für diese Daten muss dann meist nur die Zugehörigkeitsfunktion angepasst werden. Für die Mehrheit der Beschränkungsfaktoren ist der originale Ansatz für die globale Ebene zu unspezifisch, so dass die Datensätze mittels an die nationale Ebene angepasster Ansätze neu bestimmt werden müssen. Die Programmierung des Modells erfolgt mittels IDL.

Lassen sich mit dem Marginalitätsindex potenziell durch landwirtschaftliche Aktivitäten übernutzungsgefährdete Flächen lokalisieren, wird der Modellansatz im Rahmen von IMPETUS insofern erweitert, dass einige elementare sozioökonomischen Einflussfaktoren sowie gegenwärtige Prozesse mitberücksichtigt werden. Das sind insbesondere Informationen zur Landnutzung, zur Demographie und zu Anbauintensitäten. Dadurch kann die tatsächlich bestehende Degradationsgefahr abgeleitet werden. Im Rahmen von Szenarienrechnungen werden darüber hinaus demographische Entwicklungen, Klimaveränderungen sowie Kompensationsmöglichkeiten implementiert (siehe **Abb. III.1.1-27**).

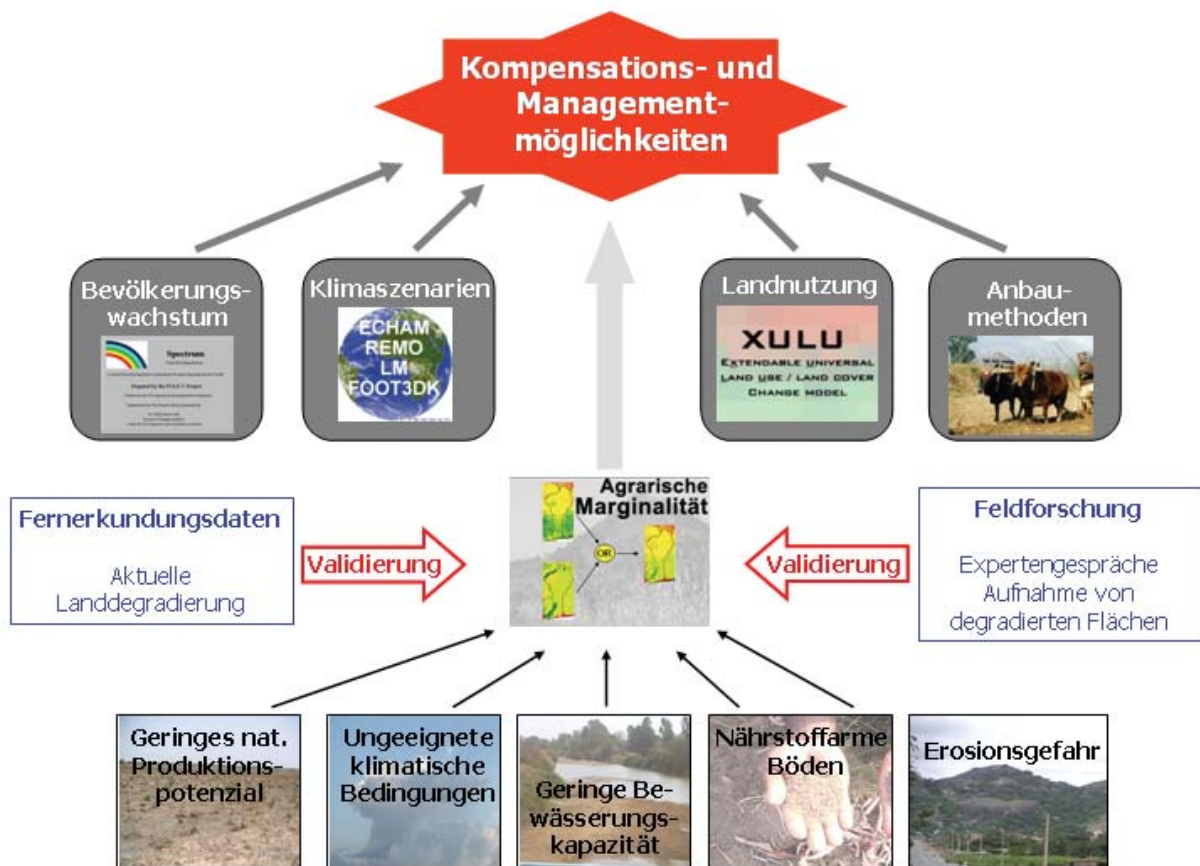


Abb. III.1.1-27: Konzept des PKs Be-E.6

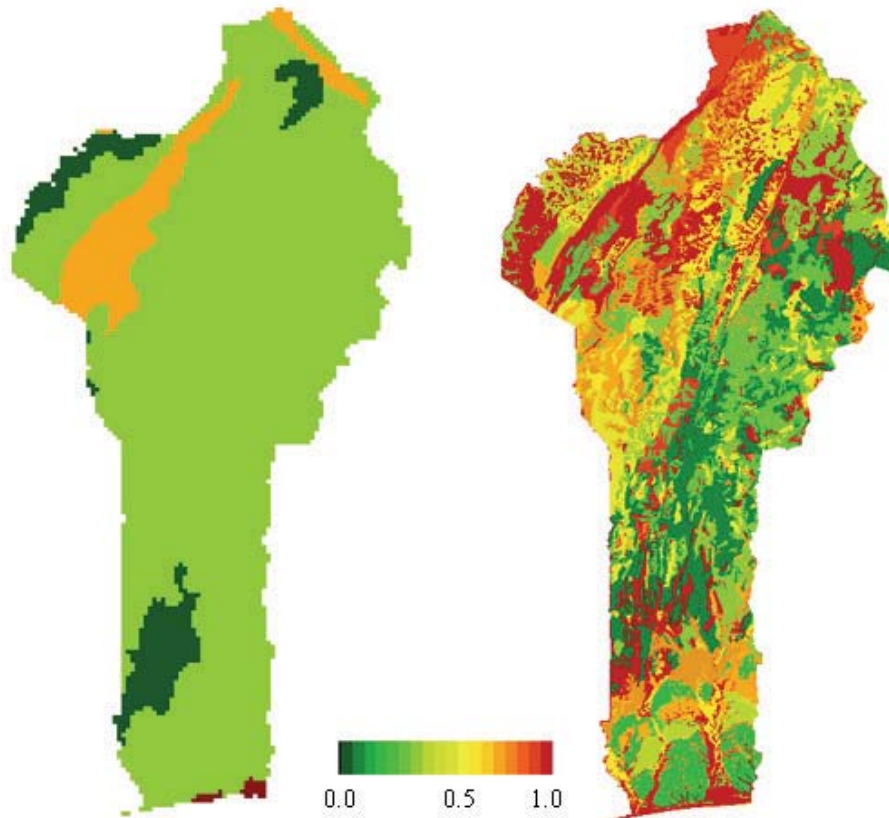
### Stand der bisherigen Arbeiten

Die Arbeitsschwerpunkte von PK **Be-E.6** lagen 2006 auf der Weiterentwicklung der Eingabeparameter für den Marginalitätsindex in der räumlichen Auflösung von 1 km, auf der Verbesserung der

Ergebnisse zur aktuellen Degradation der Vegetation, der Realisierung des SDSS sowie auf der Berechnung erster Klimaszenarien. Während des Feldaufenthaltes wurde eine erste lauffähige Version des SDSS beninischen Stakeholdern vorgestellt und diskutiert sowie weitere Felddaten zur Validierung der Ergebnisse der Marginalitätsindexe als auch der Landdegradation aufgenommen.

### ***Bestimmung der agrarischen Marginalität***

Bei der Berechnung des Marginalitätsindexe für die agrarische Produktion konnte die Aufbereitung und Bestimmung weiterer Eingangsparameter durch räumlich höher aufgelöste Datenprodukte abgeschlossen werden. Dies führte zu einer deutlichen Differenzierung und Verbesserung des Endergebnisses. Ein wichtiger Schritt dabei war die Generierung des Bodendatensatzes aus der ORSTOM-Karte (ORSTOM 1977), welche die Bodenklassen deutlich differenzierter darstellt als die FAO-Bodenkarte. Die Bodenfruchtbarkeit ist in Benin einer der wesentlichen naturräumlichen Faktoren für die landwirtschaftliche Eignung. Angelehnt an den Ansatz von LEVEQUE ET AL. (1979), bei dem agrarökonomische Klassen direkt aus der ORSTOM-Bodenkarte Togos abgeleitet wurden, wurden die Böden Benins nach ihrer agrarischen Eignung analog bewertet und klassifiziert. Allerdings wurden die Böden Benins und Togos von unterschieden Gruppen kartiert, so dass die Zuordnung nur teilweise direkt übernommen werden konnte. Bei der Bewertung wurden wie bei LEVEQUE ET AL. (1979) zuerst zwischen hydromorphen und nicht hydromorphen Böden unterschieden. Die Böden wurden dann weiter in einer Ordinalskala in drei Gruppen unterteilt: sehr gute, mittlere und für Landwirtschaft nur schlecht nutzbare Böden. Angepasst an die Informationen in den Begleitheften zu den Bodenkarten und nach Diskussion mit weiteren Experten, wie Dr. Iguè von INRAB wurde der Datensatz fuzzifiziert. **Abb. III.1.1-28** zeigt die Fuzzifizierung des FAO-Datensatzes nach der Methode, die in CASSEL-GINTZ ET AL. (1997) beschrieben ist, im Vergleich zu dem viel detaillierteren Ergebnis das mittels der ORSTOM-Karte generiert werden konnte.



**Abb. III.1.1-28:** Vergleich der fuzzifizierten Bodendatensätze der FAO (links) und von ORSTOM (1977) (rechts)

Zur Validierung des Marginalitätsindex wurden während einer Geländekampagne im November weitere Felddaten aufgenommen sowie weitere Interviews durchgeführt. Die Auswertung der Daten ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Erste Zwischenergebnisse sowie Diskussionen mit nationalen Experten stärken jedoch das aktuelle Ergebnis des Marginalitätsindex.

Von Mitarbeitern aus dem IMPETUS Teilprojekt A1 wurden die klimatischen Eingabeparameter (Niederschlag, aktuelle und potenzielle Evapotranspiration) für zwei Szenarien bis 2050 berechnet. Diese wurden für die Berechnung des Marginalitätsindex entsprechend aufbereitet und fuzzifiziert, um mögliche Veränderungen der naturräumlichen Bedingungen für die Landwirtschaft zu bestimmen. **Abb. III.1.1-29** zeigt die Veränderungen der Aridität (Quotient aus aktueller zu potenzieller Evapotranspiration) für zwei Klimaszenarien des IPCC gegenüber 1960-2000. Man erkennt, dass insbesondere der Norden, der Nordwesten und der Süden deutlich trockener werden. Die Analysen, wie sich die möglichen Veränderungen des Klimas auf den Marginalitätsindex auswirken, sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.



**Abb. III.1.1-29:** Die Aridität gemittelt über den Zeitraum zwischen 1960-2000 (links), 2000-2050 nach dem A1B-Szenarium (mitte) bzw. nach dem B1-Szenarium des IPCC (rechts)

### ***Bestimmung der Landdegradierung***

Zur Bestimmung der aktuellen Degradation der Vegetation wurden Zeitreihen von Jahresintegralen der NDVI-Daten (iNDVI) aus dem GIMMS Datensatz (PINSON ET AL. 2005, TUCKER ET AL. 2005) und Jahresniederschlagssummen (von dem Teilprojekt A1 erstellt) zwischen 1982-2003 analysiert. Die Analyse basierte auf Ansätzen von Budde et al. (2004) und Li et al. (2004), wobei neben einem generellen Trend der Vegetation bzw. des Niederschlags, vor allem der Korrelationskoeffizient und seine Entwicklung betrachtet wurden. Zur Bestimmung der Degradation wurden dann drei Voraussetzungen (1. generell negativer Vegetationstrend, 2. geringe Korrelation zwischen Niederschlag und Vegetation und 3. negativer Trend des Korrelationskoeffizienten) über einen eigenen Fuzzy-Logik basierenden Entscheidungsbaum miteinander verbunden. Der Wert 1 bedeutet dabei, dass die Fläche stark degradiert ist und der Wert 0, dass keine Degradation der Vegetation vorliegt. Die Ergebnisse führten teilweise zu guten, vor allem im Süden Benins jedoch zu unzufriedenstellenden Ergebnissen. Anstelle des Korrelationskoeffizienten wurde daraufhin ein anderer Ansatz verfolgt. Dabei wird der Quotient aus Niederschlagssumme und iNDVI untersucht. Der Quotient wird in der Literatur als ein Maß für die sog. „Rain Use Efficiency“ (RUE) verwendet (z.B. HOUNTONDI ET AL. 2006, LE HOUÉROU 1984). Auch dieser Datensatz wurde wieder fuzzifiziert. Vergleiche mit aufgenommenen Felddaten und Diskussionen mit beninischen Experten zeigen, dass dieser Ansatz zu besseren Ergebnissen führt. Die Tabelle belegt, dass die Werte des 2. Ansatzes für degradierte Flächen, die während der Feldkampagnen aufgenommen wurden deutlich über dem Bildmittelwert liegen während die Mittelwerte nach dem 1. Ansatz sogar unter dem Gesamtmittelwert liegt. Be-

trachtet man die Standardabweichung, so ist diese beim ersten Ansatz für die degradierten Flächen deutlich höher als beim zweiten Ansatz.

**Tab. III.1-4:** Vergleich der Ergebnisse zur Degradation der Vegetation der zwei verschiedenen Ansätzen mit Feldaufnahmen

Methode zur Bestimmung der Degradation	Mittelwert (Feldaufnahmen von degradierten Flächen; n=64)	Mittelwert (Benin)	Standardabweichung (Feld)	Standardabweichung (alle)
1. Ansatz (über Korrelationskoeffizient)	0.23	0.25	0.23	0.25
2. Ansatz (über Quotient)	0.47	0.24	0.1	0.25

### *Spatial Decision Support System (SDSS)*

Vor dem Feldaufenthalt in Benin im November wurde eine erste lauffähige Version des SDSS mit dem Namen „Protection des ressources agricoles naturelles dans le contexte du changement global : où le risque de dégradation de la terre est-il particulièrement aigu en raison de la surexploitation?“realisiert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist darin die Berechnung des Marginalitätsindex implementiert. Der potentielle Nutzer hat dabei die Möglichkeit, die Eingangsrasterdaten aus der Geodatenbank auszulesen und vor der Berechnung des Marginalitätsindex die Zugehörigkeitsfunktion und damit die Fuzzifizierung nach seinem Expertenwissen zu modifizieren. Dabei können die Eckwerte („keine Einschränkung“ bzw. „eine nachhaltige Nutzung ist aufgrund des Beschränkungsfaktors ohne Kapitalinput nicht möglich“) entweder über die Keyboard-Tastatur eingegeben oder aus dem Eingangsrasterdatensatz abgegriffen werden. Zu einer besseren Orientierung werden die geographischen Koordinaten, Flüsse, Strassen und größere Städte mit dargestellt. Über die Eckpunkte wird dann die Zugehörigkeitsfunktion definiert und der Marginalitätsindex berechnet.

Das SDSS stieß bei den Vorstellungen in Benin auf sehr großes Interesse und Zuspruch. Weiterentwicklungsmöglichkeiten wurden dabei konstruktiv diskutiert und konnten teilweise schon realisiert werden.

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Um die Arbeiten im **PK Be-E.6** den verantwortlichen Institutionen und Behörden in Benin zugänglich zu machen und Verbesserungen durch Kooperationen zu erreichen, wurden folgende Kontakte neu aufgebaut: CENATEL, Délégation à l'Aménagement du Territoire (DAT), Direction Générale de Forêts et de Ressources Naturelles (DRFN), Universität Porto-Novo und NRO AGEDREN.

### Feldarbeiten

Die Feldkampagnen im Rahmen der PK-Arbeiten hatte drei Schwerpunktthemen: Validierung des Marginalitätsindex, Aufnahme von degradierten Flächen sowie die Präsentation und Diskussion des SDSS.

- Validierung des Marginalitätsindex: Zur Überprüfung der Zwischenergebnisse wurden geeignete Testflächen mit Schwerpunkt auf Süd- und Mittelbenin aufgenommen und Interviews mit nationalen Experten und Bauern durchgeführt. Dabei wurden die naturräumlichen Begrenzungsfaktoren für die landwirtschaftliche Produktion diskutiert und anschließend die Modellergebnisse überprüft. Um den Berechnungsalgorithmus an Benin anpassen zu können, ist es erforderlich, Informationen über die Bedeutung und Schwere der einzelnen Begrenzungsfaktoren, Konsequenzen für die Landnutzung und die gesamtheitliche Bewertung des naturräumlichen Potenzials zu bekommen. Ferner bedeutsam sind Informationen über Intensität und Art der Landnutzung wie beispielsweise Länge der Brache oder Anbaufrüchte. Gemeinsam mit einer Mitarbeiterin aus dem IMPETUS Teilprojekt A4 wurde mit Stakeholdern aus der Tierhaltung die Nutzung marginaler Gebiete für die Tierhaltung diskutiert.
- Aufnahme degradierter Flächen: Für die Validierung der eigenen Ableitung der Landdegradierung aus Fernerkundungsdaten für Benin wurden degradierte Flächen digital aufgenommen. Da erste Ergebnisse der eigenen Ableitung im Süden unzufriedenstellend waren, wurde dort eine Tagesexkursion gemeinsam mit drei beninischen Doktoranten der Universität Abomey-Calavi aus dem Fachbereich Geographie organisiert, um das Prozessverständnis und die Formen der Landdegradation besser kennen zu lernen. Außerdem wurde ein Treffen an der Universität Porto Novo mit Dr. Tchibozo und Dr. Joyi sowie einigen Doktoranten organisiert, bei dem die gewählten Methoden und Ergebnisse diskutiert werden konnten.
- SDSS: Das realisierte SDSS wurde während des Aufenthaltes Stakeholdern verschiedener Institutionen, wie der Délégation à l'Aménagement du Territoire (DAT), CENATEL, Direction Générale de Forêts et de Ressources Naturels (DFRN), DED und den Universitäten Abomey-Calavi vorgestellt und Inhalte, Einsatzpotenzial sowie Benutzerfreundlichkeit diskutiert. Ferner konnten die Kenntnisse über Strukturen der Planung und Umsetzung von Ressourcenschutzmaßnahmen in Benin in Gesprächen mit Experten erweitert werden.

## Literatur

- Budde, M. E., Tappan, G., Rowland, J., Lewis, J. & L. L. Tieszen (2004): Assessing land cover performance in Senegal, West Africa using 1-km integrated NDVI and local variance analysis. In: *Journal of Arid Environments* 59 (3): 481-498.
- Cassel-Gintz, M. A., Lüdeke, M. K. B., Petschel-Held, G., Reusswig, F., Pöchl, M., Lammel, G. & H. J. Schellnhuber (1997): Fuzzy logic based global assessment of marginality of agricultural land use. In: *Climate Research. Interactions of Climate with Organism, Ecosystems, and Human Societies*. 8 (2). S. 135-150.
- Hountondji, Y.-C., Sokpon, N. & P. Ozer (2006): Analysis of the vegetation trends using low resolution remote sensing data in Burkina Faso (1982-1999) for monitoring of desertification. In: *International Journal of Remote Sensing* 27 (5-6): 871-884.
- Le Houérou, H. N. (1984): Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. – *Journal of Arid Environment* 7: 213-247.
- Leveque, A. (1978): Ressources en sols du Togo: Carte à 1/200 000 des unités agronomiques déduites de la carte pédologique. Socle granito-gneissique limité à l'ouest et au nord par les Monts Togo. In: ORSTOM (Hrsg.): *Notice Explicative* 73. ORSTOM. Paris.
- Li, J., Lewis, J., Rowland, J., Tappan, G. & L. L. Tieszen (2004): Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. In: *Journal of Arid Environments* 59 (3): 463-480.
- Orstom (1977): Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200.000. O.R.S.T.O.M. *Notice Explicative* 66. Paris.

- Pinzon, J., Brown, M. E. & C. J. Tucker (2005): Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: Huang, N. (Hrsg.) Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications: 167-186.
- Tucker, C. J., Pinzon, J., Brown, M. E., Slayback, D., Pak, E. W., Mahoney, R. Vermote, E. & Saleous, N. El (2005): An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing* 26 (20): 4485-4498.



## PK Be-E.7 Nutzungspotenzial von Inland-Valleys im Oberen Ouémé Einzugsgebiet



Reisanbau in einem Inland-Valley in Dogué

### **Problemstellung**

Die Landwirtschaft in Benin erfolgt traditionell im Trockenfeldbau. Die ohnehin nur wenig fruchtbaren Böden können durch unsachgemäße Nutzung schnell erodieren und an Nährstoffen verarmen. Hinzu kommt, dass ein ausreichendes Wasserangebot nur in der Regenzeit gegeben ist, so dass - wenn nicht künstlich bewässert wird - keine ganzjährige landwirtschaftliche Produktion stattfinden kann. Verstärkt durch eine wachsende Bevölkerung kann es durch die Bodendegradation zu einer Verknappung potenzieller Anbauflächen kommen, die in Zukunft die Ernährungssicherung der Bevölkerung gefährden kann.

Eine Ausweitung der Agrarproduktion in die bisher nur wenig genutzten Inland-Valleys könnte einen Beitrag zur zukünftigen Ernährungssicherung darstellen. Die Böden in den Inland-Valleys sind in der Regel fruchtbarer als andere Böden im Einzugsgebiet, da Nährstoffe von den Hängen in diesen Bereich transportiert werden. Gleichzeitig ermöglicht das Wasserangebot eine wesentlich längere landwirtschaftliche Nutzung pro Jahr als auf anderen Flächen im Einzugsgebiet, womit Problemen bei einer eventuellen Verkürzung der Regenzeit begegnet werden kann.

Folgende Fragen sind von zentraler Bedeutung:

- Wie groß ist die potenziell verfügbare Inland-Valley-Fläche im Oberen Ouémé-Einzugsgebiet?
- Inwieweit kann der landwirtschaftliche Anbau in den Inland-Valleys ausgeweitet werden (Nutzungspotenzial)?



- Sind die hydrologischen Verhältnisse der Inland-Valleys für den Anbau bestimmter Kulturen geeignet?
- Wie verhält sich der Nährstoffhaushalt der Inland-Valleys bei intensivierter Nutzung?
- Wie wirken sich Umweltveränderungen (Klimawandel, Landnutzungs-änderung) auf die Hydrologie und den Nährstoffhaushalt der Inland-Valleys aus? (Szenarien)

### Mitarbeiter

Simone Giertz, Gero Steup, Christiane Stadler

### Zielsetzung

Ziel des Problemkomplexes ist die Abschätzung des Nutzungspotenzials der Inland-Valleys und damit ihres möglichen Beitrages zur zukünftigen Ernährungssicherung.

### Nutzergruppen

- Direction de Genie Rurale (Cellule Bas-Fonds)  
Ansprechpartner : Felix Gbaguidi (Directeur de Cellule Bas-Fonds)
- Inland Valley Consortium (IVC)  
Ansprechpartner : Dr. Paul Kiepe (Wissenschaftlicher Koordinator des IVC)  
Lokaler Koordinator Benin: Dr. Vincent Mama
- Communes des HVO:  
Tchaourou, Djougou, Bassila, N'Dali, Kopargo

### Modellierung

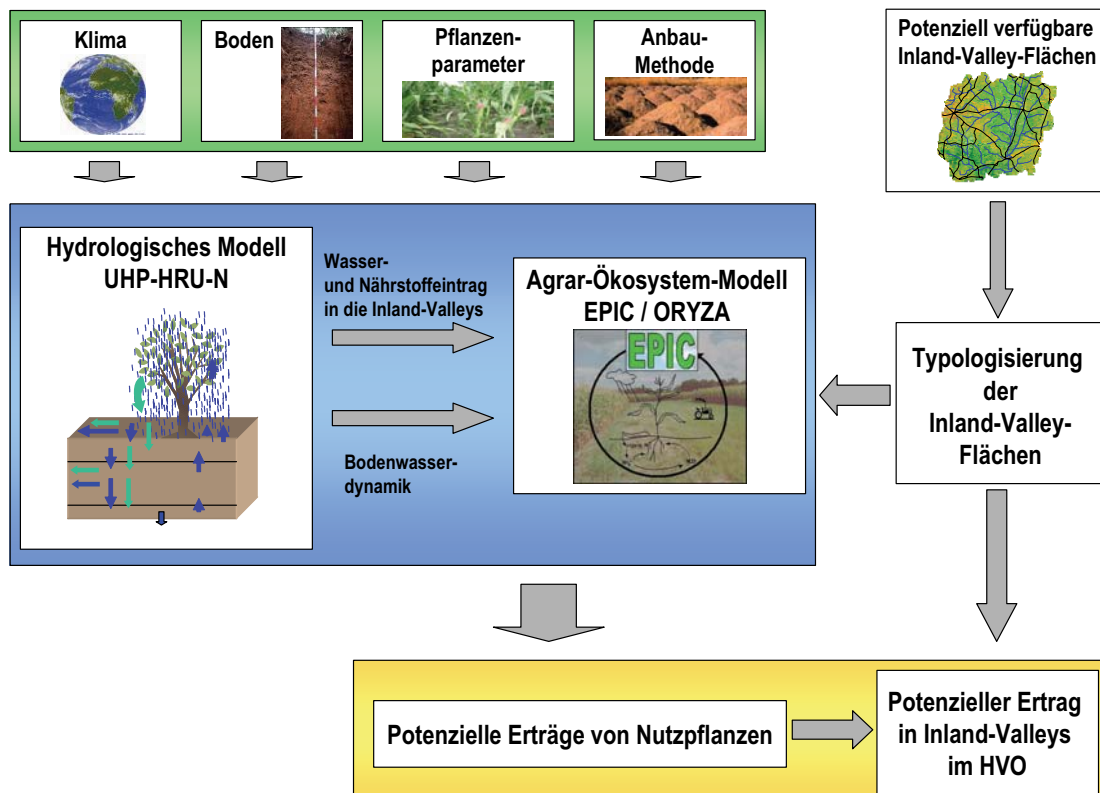
Das Blockdiagramm in Abbildung 2 zeigt den Ansatz des Problemkomplexes sowie die wichtigsten Inputdaten für die verwendeten Modelle UHP-HRU-N und EPIC.

Der Modellierung geht eine Typologisierung der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Inland-Valleys voraus. Jeweils ein Vertreter eines Inland-Valley-Typs wird dann genauer analysiert, um die Modelle parametrisieren zu können.

UHP-HRU-N ist ein numerisches Simulationsmodell, das alle hydrologischen Prozesse (Evapotranspiration, Infiltration, Oberflächenabfluss, Interflow, Grundwasserneubildung) berücksichtigt. Um den Nährstoffeintrag in die Inland-Valleys simulieren zu können, wurde ein Modul zum Stickstofftransport in das Modell integriert, so dass Aussagen über die Wasserverfügbarkeit und die Entwicklung des Nährstoffhaushalts in Inland-Valleys getroffen werden können.

Durch das standortbezogene, konzeptionelle Modell EPIC (früher *Erosion-Productivity-Impact-Calculator*, heute *Environmental-Policy-Integrated Climate*) werden alle relevanten biophysikalischen Prozesse eines Agrarökosystems in einzelnen Teilmodulen erfasst. Die Modellierung erfolgt auf Feldskala; gerechnet wird mit Tageswerten. Mit EPIC sollen die generelle Eignung verschiede-

ner Kulturpflanzen unter den besonderen hydrologischen Verhältnissen nachvollzogen und die Erträge simuliert werden. Vorrangig wird der Anbau von Reis simuliert, da die über mehrere Monate dauerhaft nassen Verhältnisse hierfür besonders geeignet sind. Soweit es die Datenlage zulässt, werden verschiedene Reissorten parametrisiert. Da am Institut für Pflanzenernährung bereits das Model „ORYZA“ verwendet wird und dies bereits in afrikanischen Inland-Valleys mit verschiedenen Sorten erfolgreich angewendet wurde, soll dieses für die Modellierung des Reisanbaus genutzt werden.



**Abb. III.1.1-30:** Schematische Darstellung der Komponenten des SDSS „Nutzungspotenzial Inland-Valleys“

Auch der im HVO praktizierte Anbau von Yams in Inland-Valleys wird in EPIC nachvollzogen. Dafür wird Yams als neue Feldfrucht in das Modell implementiert.

Vorraussetzung für eine Regionalisierung der auf Feldskala modellierten Erträge ist die Erfassung der verfügbaren Inland-Valley-Fläche. Dies wird über einen kombinierten Ansatz aus Feldkartierung, Fernerkundung und GIS-Analysen vorgenommen.

### Stand der bisherigen Arbeiten

Bereits seit den 80er Jahren wird der systematischen Erfassung von Inland-Valleys in Westafrika und ihrer Nutzungsmöglichkeiten von Seiten internationaler Institutionen großes Interesse entgegengebracht.

gebracht. Das Inland Valley Consortium (IVC) koordiniert in zehn Ländern Westafrikas die Aktivitäten zur Erforschung und Erfassung von Inland-Valleys.

Auch in Benin wurden bereits einige Studien zur Inventarisierung und zu Nutzungsmöglichkeiten von Inland-Valleys durchgeführt. Im Rahmen der FAO-Studie 'Inventaire, Etude et Aménagement des Bas-Fonds' (Assigbé & Mama, 1993) wurden 180 Inland-Valleys aufgenommen. Die Daten sind jedoch für Entscheidungsträger kaum nutzbar, da nur wenige Eigenschaften der Inland-Valleys erhoben wurden, die Daten nicht geolokalisiert wurden und außerdem in keiner Datenbank erfasst sind. Die Aktivitäten des IVC in Benin konzentrierten sich bisher v.a. auf Detailstudien in drei Inland-Valleys in der Commune Dassa. Großräumige Studien zur Erfassung der Inland-Valleys, wie z.B. in Togo, wurden bisher vom IVC in Benin nicht durchgeführt.

Auf nationaler Ebene ist in Benin die *Cellule Bas-Fonds*, die zur *Direction de Genie Rural* des Landwirtschaftsministeriums (MAEP) gehört, für die Planung von Inwertsetzungs- und Management-Maßnahmen in Inland-Valleys zuständig. Auch diese Behörde verfügt jedoch über keine Datenbank mit Informationen über Lage und Eigenschaften von Inland-Valleys. Für eine effiziente Planung der Nutzung und des Managements von Inland-Valleys müssen jedoch Informationen über physische Eigenschaften der Einzugsgebiete sowie über hydrologische und bodenphysikalische Eigenschaften der Inland-Valleys ebenso berücksichtigt werden, wie sozio-ökonomische Aspekte.

### ***Ermittlung der verfügbaren Inland-Valley-Fläche***

Eine erste Ermittlung der verfügbaren Inland-Valley-Fläche erfolgte anhand der auf Landsat7 ETM+-Daten basierenden Landnutzungsklassifikation von Thamm (2003) und Judex (2003). **Abb. III.1.1-31** zeigt die aus der Klassifikation extrahierten Inland-Valleys, die 1,8 % der Gesamtfläche des HVO ausmachen. Die von der Landnutzungsklassifikation als Inland-Valleys ermittelten Flächen zeigen jedoch im räumlichen Muster kaum Übereinstimmungen mit den im Gelände aufgenommenen Inland-Valley-Flächen, die sich am Gewässernetz orientieren. Dies ist zum einen dadurch zu erklären, dass Inland-Valleys, die zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahme Ende Oktober nicht mehr wassergesättigt waren, in der Klassifikation nicht erfasst und statt dessen meist als Savanne klassifiziert werden. Zum anderen weisen bereits landwirtschaftlich genutzte Inland-Valleys häufig die gleiche spektrale Signatur auf wie Ackerflächen und werden so als Feldflächen ausgewiesen. Hierdurch ist die geringe Inland-Valley-Dichte im Nord-Westen des HVO zu erklären. Ein weiteres Problem stellen die Überschwemmungsflächen großer Flüsse dar, wie z.B. die des Ouémé im Süden des HVO, die in der Klassifikation als Inland-Valleys ausgewiesen werden.

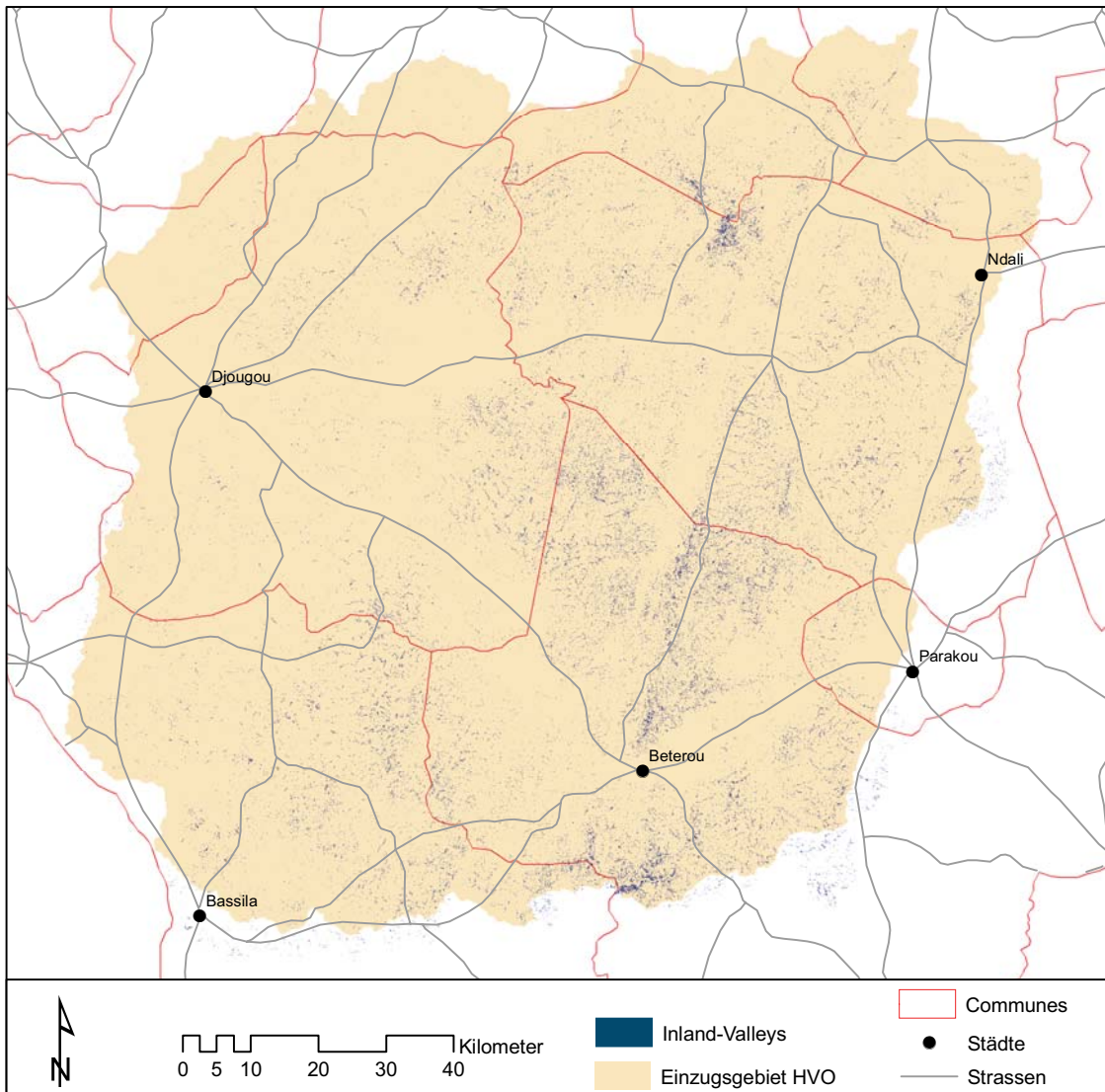


Abb. III.1.1-31: Aus der Landnutzungsclassifikation von Judex (2003) extrahierte Inland-Valley-Flächen

### ***Kampagne zur Inventarisierung der Inland-Valleys im HVO***

Um eine zuverlässige Datenlage bezüglich der verfügbaren Inland-Valley-Flächen und ihrer für eine Nutzung relevanten Eigenschaften zu bekommen, wurde in Zusammenarbeit mit der *Cellule Bas-Fonds* von Mai bis Juli 2006 eine Inventarisierungskampagne durchgeführt. Dabei wurden alle beim Zensus 2002 (INSAE, 2004) aufgenommenen Dörfer im HVO aufgesucht und alle auf dem Terrain des jeweiligen Dorfes liegenden Inland-Valleys kartiert. Da die Ergebnisse der Inventarisierung auch für die Planung auf kommunaler Ebene von Bedeutung sind, wurde - soweit möglich - die gesamte Fläche der Communes bearbeitet, auch wenn sie über das Einzugsgebiet des HVO hinausreicht.

In jedem Dorf wurden anhand eines Fragebogens sozioökonomische Daten erhoben (Ethnie, Landnutzungsrechte, Anbindung des Dorfes etc.). Mit Hilfe der lokalen Bevölkerung wurden die Inland-Valleys auf dem Territorium des Dorfes aufgesucht und ihre Fläche ab einer Größe von 0,5 ha mit Hilfe eines GPS-Gerätes kartiert. Zusätzlich wurde zu jedem Inland-Valley ein ausführlicher Frage-

bogen ausgefüllt, mit dem Daten zur Topographie, zur Hydrologie, zu Bodeneigenschaften sowie zur Nutzung des Inland-Valleys erfasst wurden. Zusätzlich wurde die Position von kleinen Inland-Valleys (< 0,5 ha) mit dem GPS Gerät aufgenommen.

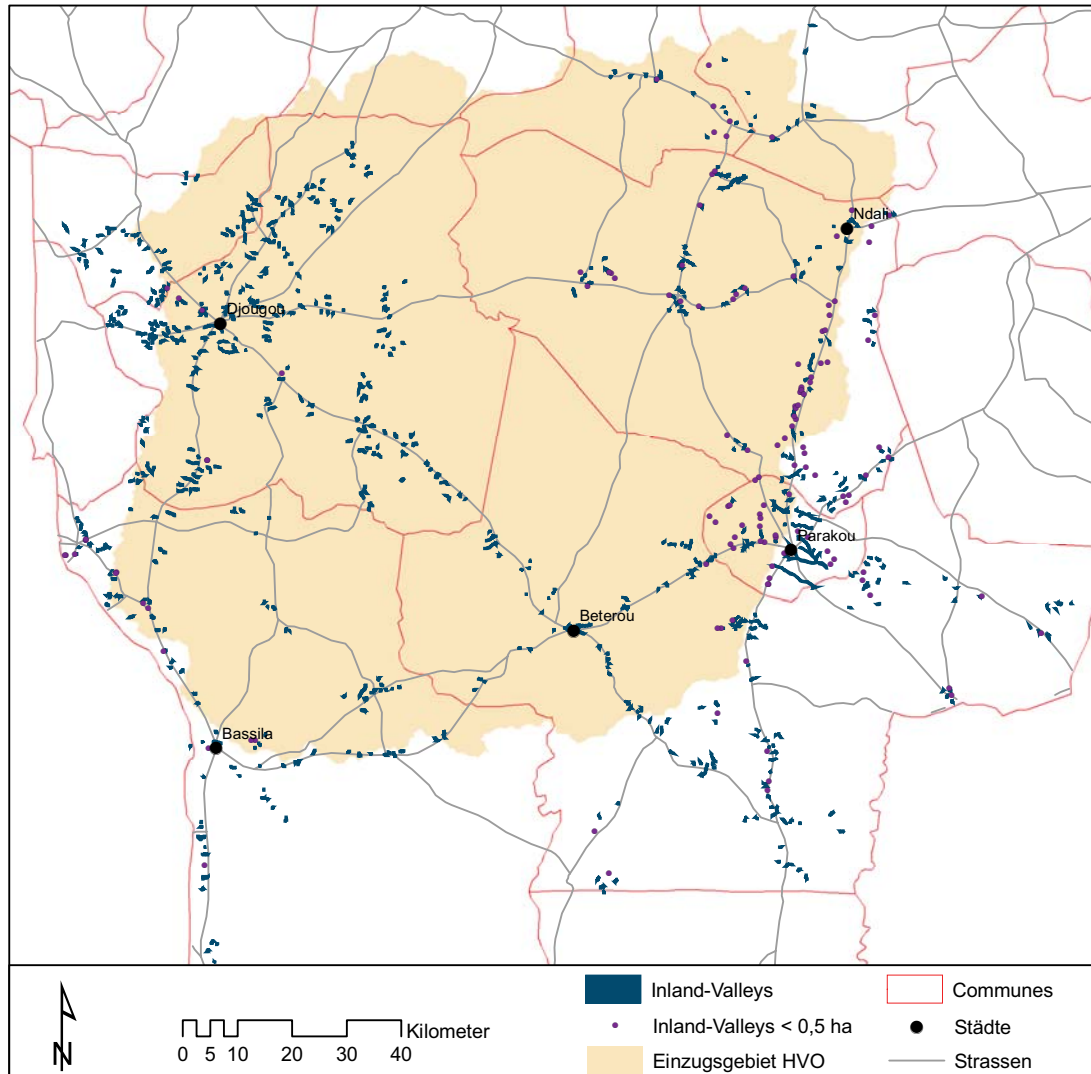


Abb. III.1.1-32: Kartierte Inland-Valleys in den Communes des HVO

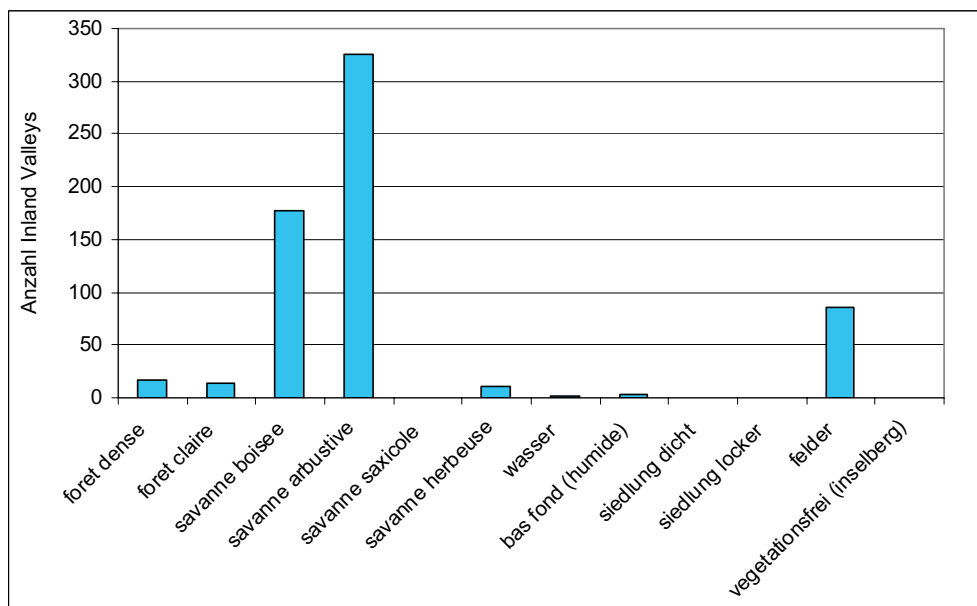
Die Feldarbeit wurde von Mitarbeitern der *Cellule Bas-Fonds* durchgeführt, die bereits Erfahrung mit der Kartierung von Inland-Valleys und der Durchführung von Umfragen zu dieser Thematik hatten. Während der gesamten Kampagne wurde parallel mit drei Teams gearbeitet. **Abb. III.1.1-32** zeigt die während der Inventarisierungskampagne kartierten Inland-Valleys. Es wird deutlich, dass durch die Methode, die Inland-Valleys anhand der Zensus-Dörfer aufzunehmen, wenig besiedelte Regionen nicht berücksichtigt werden. So sind in der zentralen Region des HVO nördlich von Bétérou keine Inland-Valleys kartiert worden, da es sich um ein staatlich geschütztes Waldgebiet handelt (Forêt de l’Ouémé Supérieur), in dem keine Dörfer liegen. Aufgrund der schlechten Zugänglichkeit des Terrains abseits von Wegen und Siedlungen ist eine vollständige Kartierung der Inland-Valleys in abgelegenen Gebieten nicht möglich. Hinzu kommt, dass viele kleine und abgelegene Dörfer, beispielsweise in der Region nördlich von Bassila, im Zensus gar nicht erfasst wurden und

so auch bei der Inventarisierung unberücksichtigt blieben. Insgesamt wurden 232 Dörfer und 672 Inland-Valleys mit einer Fläche von 54,3 km<sup>2</sup> kartiert sowie die Positionen von 132 kleinen Inland-Valleys aufgenommen. Alle erhobenen Daten wurden in eine Access-Datenbank eingegeben, die in Anlehnung an die vom IVC initiierte Datenbank für Inland-Valleys in Togo erstellt wurde und die die Grundlage für das sich im Aufbau befindende SDSS ist.

### **GIS-Analyse zur Ermittlung der potenziell verfügbaren Inland-Valley Fläche**

Die Ausführungen haben gezeigt, dass aufgrund der schlechten Zugänglichkeit nicht alle Inland-Valleys durch Feldkartierung erfasst werden können. Für die Ermittlung des Argarpotenzials wird jedoch die möglichst vollständige Inland-Valley-Fläche benötigt. Daher ist es notwendig, zusätzliche Analysen durchzuführen, um die nicht kartierten Inland-Valleys zu bestimmen.

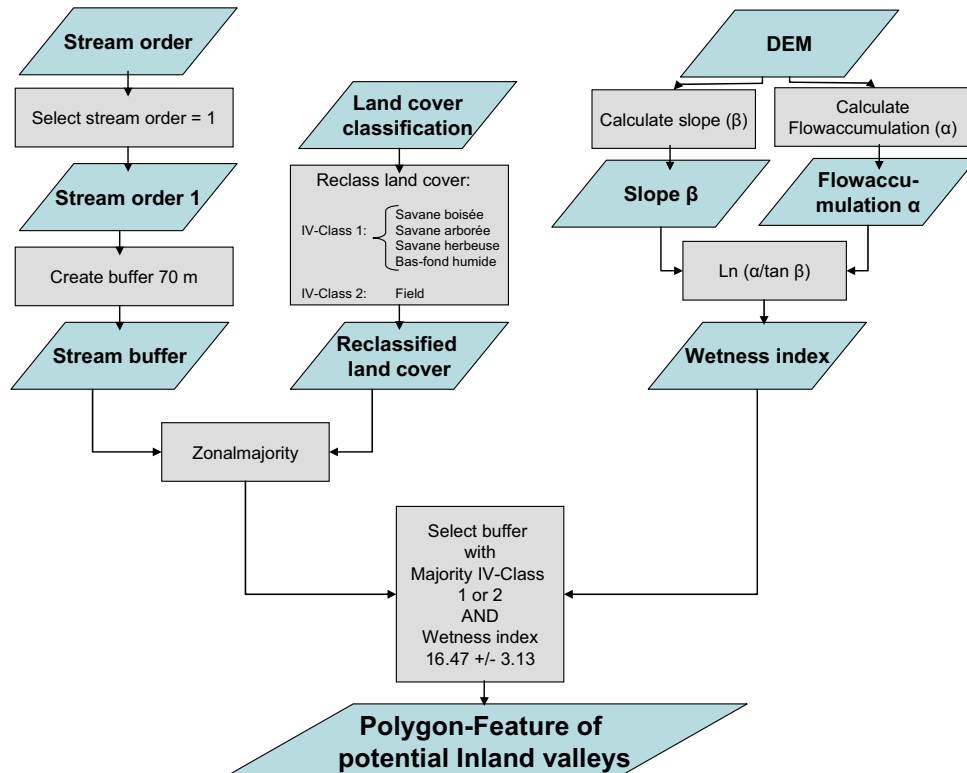
Auf der Grundlage der im Gelände kartierten Inland-Valleys konnten mittels GIS-Analysen topographische und hydrologische Eigenschaften und die in den Inland-Valleys vorherrschende Landnutzungsklasse der Klassifikation ermittelt werden **Abb. III.1.1-33**.



**Abb. III.1.1-33:** Dominante Landnutzungsklassen der kartierten Inland-Valleys

Die Analysen zeigen, dass über 70% der Inland-Valleys an Gewässerabschnitten 1. Ordnung vorkommen. Des Weiteren wurde ein mittlerer topographischer Wetness-Index (Beven & Kirkby, 1979) von 16,47 ermittelt. Bezüglich der vorherrschenden Landnutzung der kartierten Inland-Valleys wurde deutlich, dass die meisten Inland-Valleys als *savane arborée* oder *savane boisée* klassifiziert wurden. Dagegen kommen die zu erwartenden Landnutzungen *savane herbeuse* oder *bas-fond humide* nur selten vor (vgl. **Abb. III.1.1-33**). Dies ist damit zu erklären, dass häufig in den Inland-Valleys selber oder auch am Rand vereinzelt Bäume vorhanden sind, so dass die Fläche meist als Savanne klassifiziert wird. Die Ergebnisse der GIS-Analyse wurden genutzt um potenzielle Inland-Valley-Flächen zu lokalisieren, die von der Kartierung nicht erfasst wurden. Es wurden

die ermittelten Eigenschaften der kartierten Inland-Valleys (Gewässerordnung, Wetness-Index, Landnutzungs-kategorie) für die GIS-Analyse verwendet. **Abb. III.1.1-34** zeigt das Flowchart der durchgeführten GIS-Analyse zu Ermittlung der potenziellen Inland-Valley-Flächen.



**Abb. III.1.1-34:** Flowchart der durchgeführten GIS-Analysen

Das Ergebnis der GIS-Analyse und ein Ausschnitt mit direktem Vergleich der kartierten und der abgeleiteten Flächen ist in **Abb. III.1.1-35** dargestellt. Es wird deutlich, dass durch die GIS-Analyse die Standorte der Inland-Valleys gut abgebildet werden können. Zum Teil stimmen die Länge und auch die Breite der Flächen nicht vollständig überein.



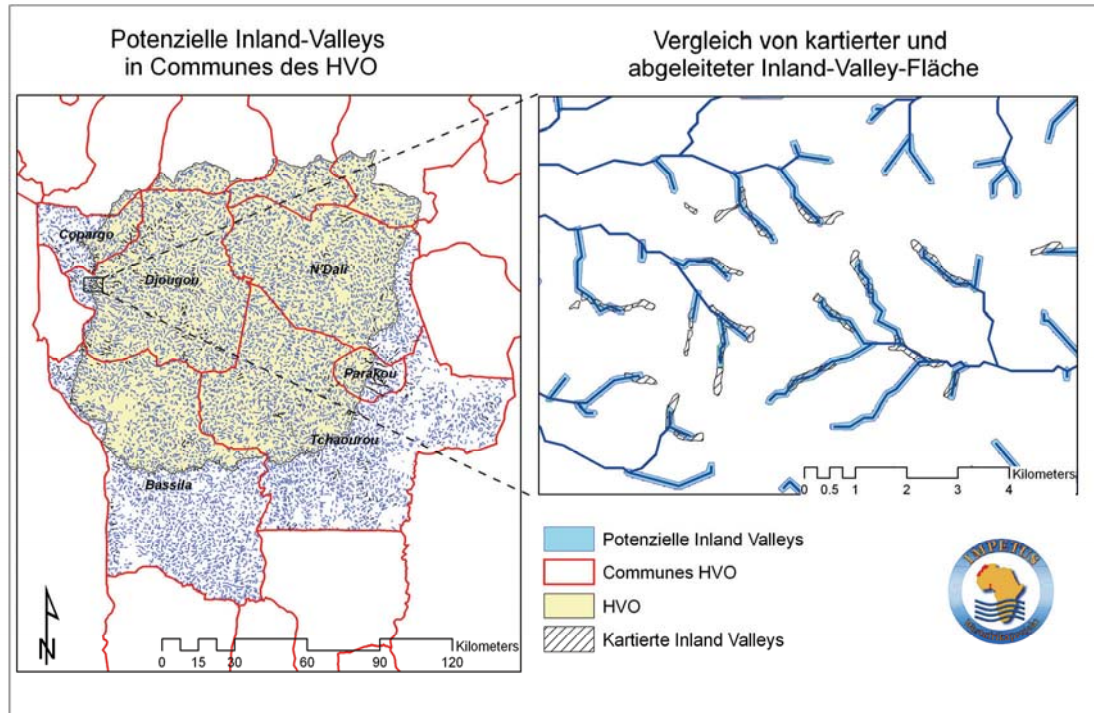


Abb. III.1.1-35: Karte der potenziellen Inland-Valley Flächen

Insgesamt wurden für die Communes Bassila, Tchaourou, Parakou, Djougou, Kopargo und für die zum HVO-Gebiet zählenden Flächen der Communes Pehouko, Sindendé und Bémberéké 7366 potenzielle Inland-Valleys mit einer Gesamtfläche von 1335 km<sup>2</sup> ermittelt.

### *Typologisierung und Untersuchung repräsentativer Inland-Valleys*

Zur Ermittlung notwendiger Bodenparameter für die Modellierung wurden die in der Feldkampagne kartieren Inland-Valleys nach folgenden Kriterien kategorisiert:

1. Physisch-geographische Eigenschaften der Region (Niederschlag, Topographie, Geologie, Gewässernetzdichte)
2. Eigenschaften der Inland-Valleys: Morphologie, Größe, aktuelle Nutzung

Es wurden insgesamt 13 Inland-Valleys im HVO nach den aufgeführten Kriterien ausgewählt. **Abb. III.1.1-36** zeigt acht der ausgewählten Inland-Valleys der unterschiedlichen Regionen.



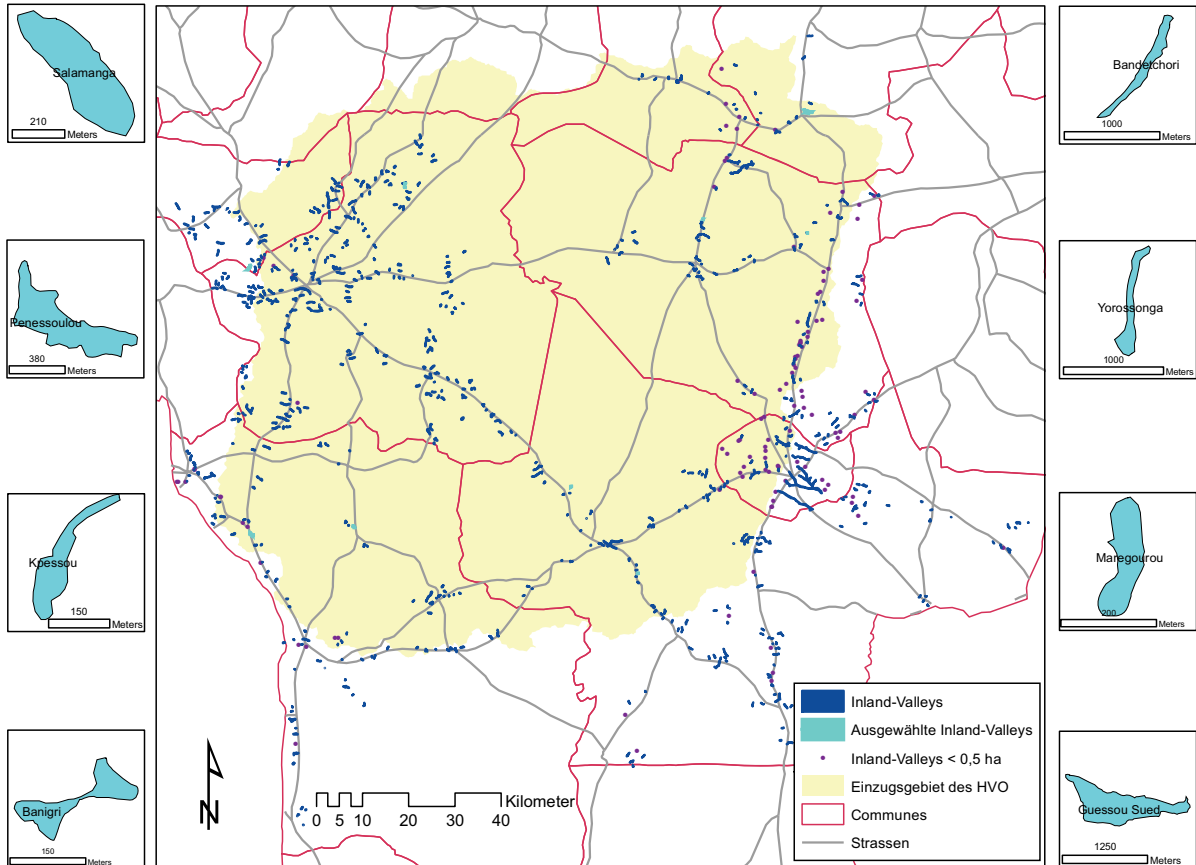


Abb. III.1.1-36: Karte ausgewählter Inland-Valley-Flächen

In den ausgewählten Inland-Valleys wurden Bohrstockkartierungen durchgeführt und an repräsentativen Standorten Gruben angelegt, um gestörte und ungestörte Proben entnehmen zu können. Anhand der Proben wurden Korngrößen-Analysen sowie Messungen der Lagerungsdichte und der Wasserhaltekapazität durchgeführt. Des Weiteren wurden Mischproben der Ah-Horizonte genommen, um das C/N-Verhältnis des Oberbodens zu untersuchen. **Abb. III.1.1-37** zeigt eine Bodencaena durch ein Inland-Valley im Westen des HVO.

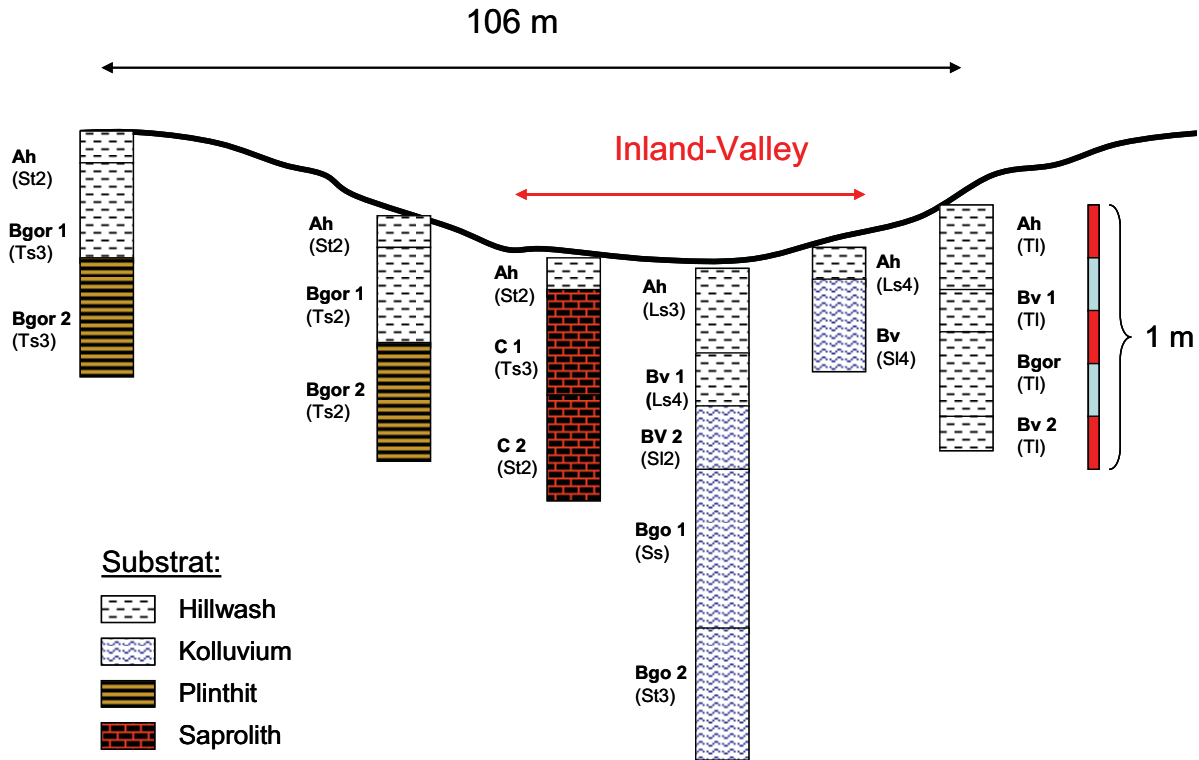


Abb. III.1.1-37: Boden-Catena in einem Inland-Valley im westlichen HVO (Sérou, Commune Djougou)

**Ertragsmodellierung**

Für die Abschätzung des Nutzungspotenzials von Inland-Valleys wurden 2006 Feldversuche mit Reis in einem Inland-Valley bei Dogué angelegt. Diese Feldversuche liefern die notwendigen Daten für die Ertragsmodellierung mit ORYZA und EPIC. Darüber hinaus sollen die Feldversuche zu Aussagen über potenzielle Ertragssteigerungen mit verschiedenen Managementstrategien beitragen. Für die Feldversuche wurde die vom WARDA zur Verfügung gestellte Reissorte Sahel 108 verwendet, die eine Wachstumsphase von 117 Tagen aufweist und bereits im Senegal in überfluteten Bereichen kultiviert wird.

Die Versuchsfelder wurden in einem bereits genutzten Inland-Valley mit einer Fläche von rund 1,5 ha angelegt. Dabei wurden Vergleichsplots in zwei unterschiedlichen Positionen im Inland-Valley berücksichtigt: der Randbereich und der Zentralbereich, da sich diese beiden Bereiche hinsichtlich ihrer Nährstoffversorgung und Wasserversorgung deutlich unterscheiden. Zur Optimierung der Ertragsleistung wurden drei verschiedene Anbaustrategien für beide Positionen angewandt: Wasserkontrolle, Dünger und Unkrautkontrolle.

Tab. III.1-5: Aufbau der Versuchsfelder mit je vier Wiederholungen

Randbereich				Zentralbereich			
mit Deichen		ohne Deiche		mit Deichen		ohne Deiche	
mit Dünger	ohne Dünger	mit Dünger	ohne Dünger	mit Dünger	ohne Dünger	mit Dünger	ohne Dünger
Unkrautkontrolle							

Um Aussagen über den Einfluss von Wasserkontrollmaßnahmen zu gewinnen wurden die Plots auf topographisch gleicher Höhe angelegt, wobei die Hälfte der Plots mit Deichen umrandet wurde, um für diese Plots einen gleichmäßigen Wasserstand zu gewährleisten

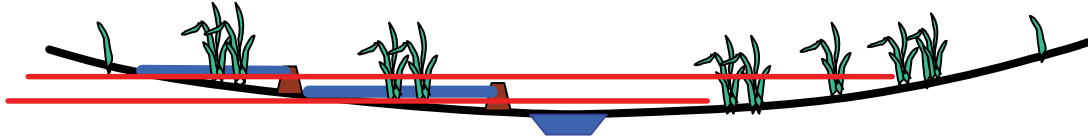


Abb. III.1.1-38: Versuchsaufbau zum Einfluss der Wasserkontrolle auf den Ertrag

Für die zu düngenden Plots wurde eine Basisdüngung von 10kg/ha Phosphat und 60kg/ha N-Urea vor der Aussaat und eine weitere Düngergabe von 30 kg/ha N-Urea 5 Tage vor dem Rispenschieben verabreicht. Die Unkrautkontrolle erfolgte zu drei Zeitpunkten vor dem Rispenschieben.

Um alle notwendigen Input- und Kalibrierungsdaten für die Modellierung zu bekommen, wurden für alle Plots Bodenmischproben entnommen, sowie die Biomasse, die Pflanzhöhe und der Ertrag bestimmt. Außerdem wurden ein Regensmesser installiert und die Wasserstände der Plots regelmäßig gemessen. Die Ergebnisse werden derzeit ausgewertet und für die Modellierung aufbereitet.

### ***Entwicklung eines SDSS / Informationssystems***

Auf Grundlage der Ergebnisse der Inland-Valley-Kampagne, der GIS-Analyse und der Szenarienmodellierung wird ein SDSS entwickelt, das Entscheidungsträgern in Benin zur Verfügung gestellt wird. Das SDSS dient vor allem der nationalen Behörde *Cellule Bas-Fonds* zur effektiven Planung der Inland-Valley-Nutzung und der Management-Maßnahmen. Aber auch für das IVC, Projekte der Entwicklungszusammenarbeit (z.B. GTZ, DED) und den Communes, die im Rahmen des Dezentralisierungsprozess immer mehr Entscheidungskompetenzen erhalten, stellt das SDSS ein wichtiges Tool zur Unterstützung der Planung von Maßnahmen und Aktivitäten im Bereich der Inland-Valley-Nutzung dar.

Durch die enge Kooperation mit der nationalen Behörde *Cellule Bas-Fonds* und dem IVC erfolgte bereits in der Vorphase der SDSS-Entwicklung eine Abstimmung mit wichtigen Nutzern des SDSS. Das entwickelte Konzept wurde in Anlehnung an das bestehendes Inland-Valley-Informationssystem des IVC für Togo entwickelt, um eine Weiterentwicklung und Weitergabe des Systems im Rahmen der IVC-Aktivitäten zu gewährleisten. Daten, die im Rahmen anderer Aktivitäten des IVC aufgenommen wurden sollen wenn möglich in das System integriert werden, um ein umfassendes Inland-Valley-Informationssystem zu erhalten. Das System ist HTML-basiert und beinhaltet folgende Komponenten:

1. Allgemeine Beschreibung von Inland-Valley Systemen
2. Zusammenfassende Darstellung der Eigenschaften der kartierten Inland-Valleys für jede HVO-*Commune*. Dies ist für kommunale Entscheidungsträger von Bedeutung, um abzuschätzen, welche Möglichkeiten der Inwertsetzung von Inland-Valleys in ihrer *Commune* bestehen.

3. Räumliche Darstellung der kartierten und abgeleiteten Inland-Valleys über eine GIS-Oberfläche (realisiert mit GEOTOOLS) mit Abfragemöglichkeiten und Link zur Inland-Valley-Datenbank. Hier können Entscheidungsträger Inland-Valleys nach Kriterien selektieren, die für die Planung der Nutzung und die Planung von Managementmaßnahmen wichtig sind. Abbildung 10 zeigt einen Entwurf für ein benutzerfreundliches Abfrageblatt mit wichtigen Selektionskriterien zur Auswahl von Inland-Valleys für Inwertsetzungsmaßnahmen.
4. Einbindung der vollständigen Inland-Valley-Datenbank mit Detailinformationen zu den Inland-Valleys. Hier können Entscheidungsträger detaillierte Informationen zu einem ausgewählten Inland-Valley erhalten.
5. Ergebnisse der Detailuntersuchungen repräsentativer Inland-Valleys. Hier können auch Ergebnisse von Detailstudien des IVC oder anderer Projekte integriert werden.
6. Ergebnisse der Szenarien. Hier werden die Ergebnisse verschiedener Szenarien mit dem berechneten Argrapotenzial dargestellt. Ob eine Integration der Modelle selbst erfolgen soll, wird noch mit den Stakeholdern diskutiert.

**Critères de sélection**

Commune:

Distance du bas-fond au village (km):

Accès du bas-fond de village:

**1. Topographie**

Surface du bas-fond (ha):

Morphologie du bas-fond:

Taille bassin versant [km2]:

**2. Hydrologie**

Hauteur inondation (cm):

**3. Sols**

Niveau de la fertilité:

Texture du sol:

**4. Exploitation et Aménagement**

Bas-fond exploité

Culture principale:

Bas-fond aménagé?

**Types d'aménagement**

diguettes simples  diguettes avec vannes de vidange

diguettes de retention avec chenal d'évacuation  pompage avec bassins pour arrosage manuelle

Autres:

**5. Economie et Perspectives**

Produits du bas-fond commercialisés au marché?

L'aménagement de bas-fond désiré par population?

Abb. III.1.1-39: Entwurf eines Abfrageblattes zur Selektion der Inland-Valleys

Abb. III.1.1-40 zeigt eine erste Version der HTML-Benutzeroberfläche für das SDSS.

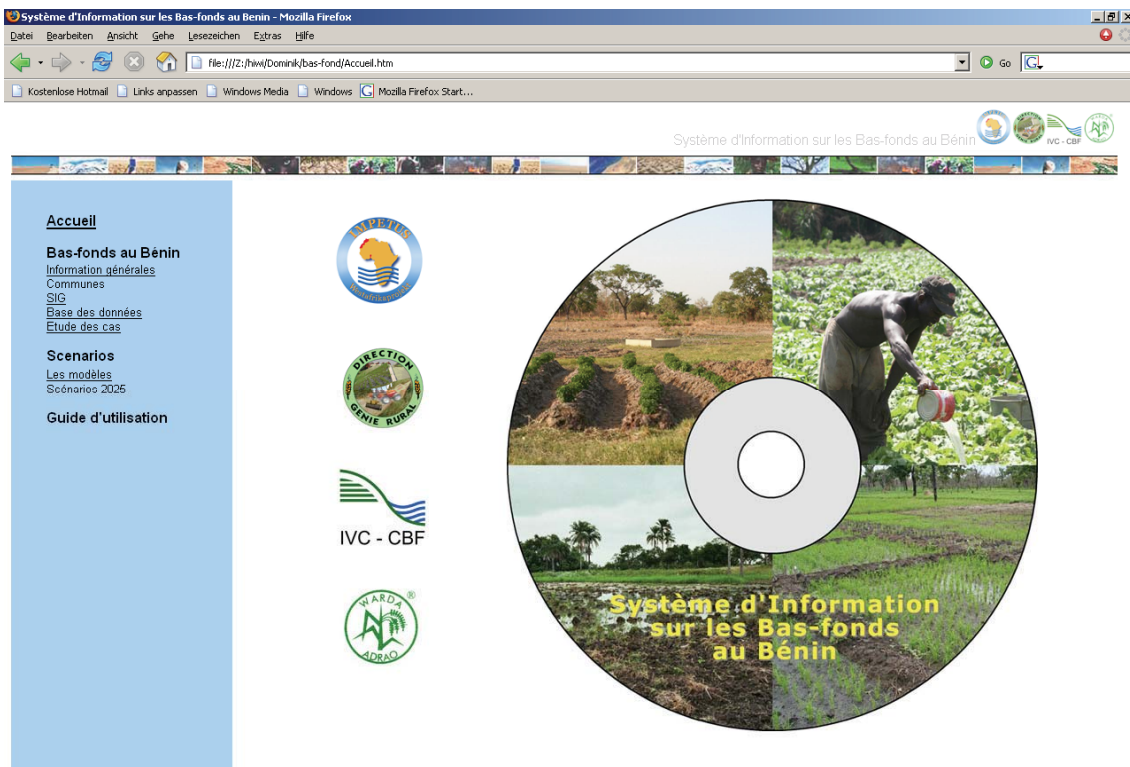


Abb. III.1.1-40: Benutzeroberfläche des SDSS

Die Benutzeroberfläche wird in Zusammenarbeit mit dem IVC und dem *Cellule Bas-Fonds* weiter entwickelt. Die Fertigstellung ist für Herbst 2007 geplant.

## Literatur

- Assigbé, P. & V.J. Mama (1993): Les recherches sur la mise en valeur des bas-fonds au Bénin. In : Jamin, J.Y., Andriessse, W., Thoimbiano, L. & P.N. Windmeijer: Inland Valley Research in Sub-Saharan Africa. Priorities for a Regional Consortium. Proceedings of the 1st Annual Workshop of the Inland Valley Consortium WARADA, Bouaké, June 8-10. 1993, S. 27 – 35.
- Beven, K.J. & Kirkby, M. (1979): A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology. –
- Giertz, S., Steup, G., Stadler, Ch., Schönbrodt, S., Diekkrüger, B. & H. Goldbach (2006): Analysis and evaluation of the agro-potential of inland valleys in the Upper Ouémé catchment (Benin, West Africa). Proceedings of the Tropentag 2006 in Bonn. [www.tropentag.de](http://www.tropentag.de)
- Hydrological Sciences Bulletin 24, S.43-69.
- Judex, M. (2003): Analyse und Erklärung der Landbedeckungs- und Landnutzungsänderung im Upper Oueme Catchment (Benin, Westafrika) durch die Verknüpfung von LANDSAT-Daten mit sozioökonomischen Daten. Unpublished diploma thesis, Geographical Institute, University of Bonn, [http://www.rsr.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Judex\\_Diplomarbeit\\_2003.pdf](http://www.rsr.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Judex_Diplomarbeit_2003.pdf), 2003.
- Thamm (2003): Vorläufige Landnutzungsklassifikation des HVO auf Grundlage der LANDSAT 7 ETM+-Szene vom 26.10.2000. Unveröffentlichte ERDAS-IMAGE-Daten.
- INSAE (2004): Third general population and habitation census of Benin 2002 - synthesis of results. Cotonou.



### III.1.2 Hydrologie

Im Themenbereich „*Wasserdargebot, Wasserverbrauch, Wasserqualität*“ sind alle Problemkomplexe zusammengefasst, bei denen das Wasser im Fokus der Untersuchungen steht. Hydrologische Aspekte sind jedoch in einer Vielzahl weiterer Problemkomplexe integriert (z.B. **PK Be-E.7**, **PK Be-E.4**) und stellen häufig wichtige Eingangsdaten dar.

Der Themenbereich umfasst drei Problemkomplexe. Im **PK Be-H.1** werden die verfügbaren Wasserressourcen quantifiziert und deren räumliche Variabilität mittels dynamischer Simulationsmodelle beschrieben. Im Berichtszeitraum konnten die Szenarienrechnungen weitergeführt werden, da nun die verschiedenen REMO-Läufe aufbereitet vorliegen. Hierbei zeigt sich eine signifikante Abnahme der erneuerbaren Wasserressourcen in den beiden SRES Klimaszenarien A1b und B1. In Kombination mit dem steigenden Wasserbedarf der Bevölkerung und für die Tiere ergibt sich eine Verknappung der Ressourcen, die jedoch, ohne weitere Intensivierung des Bewässerungsfeldbaus, keine bedrohlichen Auswirkungen haben wird. Die Vorarbeiten für eine benutzerfreundliche Schnittstelle für das eingesetzte Modellsystem UHP-HRU sind weit fortgeschritten, das Konzept für das SDSS BenHydro liegt vor und wird in den kommenden Monaten realisiert.

Neben den Untersuchungen zum Wasserverbrauch im ländlichen und städtischen Raum auf Haushaltsebene hat sich der **PK Be-H.2** mit dem Bedarf an Bewässerungswasser beschäftigt. Derzeit ist zwar das Wasser kein limitierender Faktor, die Planungen in Benin sehen aber eine Intensivierung des Bewässerungsfeldbaus vor, so dass es hier lokal zu Engpässen kommen kann. Die in diesem PK erhobenen Daten werden im **PK Be-H.1** für die Abschätzung des Wasserbedarfs benötigt. Hinsichtlich der Implementierung des Wissens in Benin ist eine Kombination von Informationssystem und Entscheidungsunterstützungssystem geplant, welches sich gerade in der Diskussion befindet und im Sommer 2007 realisiert wird.

Im **PK Be-H.3** wird ein operationelles „*Niederschlags Monitoring System*“ für Benin und Westafrika entwickelt. Dieses besteht aus einer Kombination von satellitenbasierten Mikrowellensensoren und kann zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Niederschlagsprodukte erzeugen. Im Berichtszeitraum wurde insbesondere das System kalibriert und validiert, um den Einsatz in Benin vorzubereiten. In enger Zusammenarbeit mit den beninischen Partnern wurde die Implementierung vorbereitet, so dass eine nachhaltige Nutzung gewährleistet ist. Wesentlich für die Nutzbarkeit der REMO-Simulationsergebnisse war die Entwicklung eines Tools, das es ermöglicht, die berechneten Werte an die gemessenen Verteilungen anzupassen. Wie in verschiedenen Untersuchungen gezeigt wurde, sind die REMO-Ergebnisse als Mittel über eine Rasterzelle nicht repräsentativ für einzelne Messpunkte, was Auswirkung auf die Simulation der Abflüsse und nachfolgend der Bodenerosion hat. Mit dem neuen Werkzeug ist gewährleistet, dass die simulierten Häufigkeitsverteilungen und Niederschlagsmengen den beobachteten entsprechen und somit für hydrologische Berechnungen nutzbar sind.



## PK Be-H.1 Wasserverfügbarkeit und Wasserverbrauch im oberen Ouémé



Frauen auf dem Weg zum Brunnen

### Problemstellung

Die hydrologischen Prozesse und die Grundwasserneubildung werden stark von Umweltfaktoren (Boden, Landnutzung, Klima) beeinflusst. Die zu beobachtenden Umweltveränderungen (Klimaänderung, Landnutzungsänderung, Bodendegradation) haben somit große Auswirkungen auf diese Prozesse und die zukünftige Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser in der Region. Ein Problem ist die Zunahme des Wasserverbrauchs, die v.a. durch die Bevölkerungsentwicklung hervorgerufen wird. Folgende Fragenstellungen werden im **PK Be-H.1** bearbeitet:

- Wie viel Oberflächen- und Grundwasser steht im Einzugsgebiet des oberen Ouémé zur Verfügung? (Ist-Zustand und Szenarien)
- Wie hoch ist der Wasserverbrauch im Einzugsgebiet des oberen Ouémé?
- Welchen Einfluss haben Umweltveränderungen auf die Wasserverfügbarkeit?

### Mitarbeiter

**Simone Giertz**, Gero Steup, Marion Schopp

### Zielsetzung

Die Zielsetzung des Problemkomplexes ist eine Abschätzung der Verfügbarkeit von Oberflächen- und Grundwasser, der Veränderung des Grundwasserspiegels durch Grundwasserentnahme und veränderte Grundwasserneubildung sowie eine Abschätzung des Wasserverbrauchs im HVO-Gebiet für verschiedene



Szenarien vorzunehmen. Eine Ausweitung des PKs auf das gesamte Ouémé-Einzugsgebiet ist geplant. Dieser Problemkomplex basiert auf den Erkenntnissen der kleinräumigen Prozessstudien und nutzt diese, um Aussagen auf der regionalen Skala zu ermöglichen. Die lokale Skala wird in weiteren PKs behandelt (siehe **PK Be-E.4** und **PK Be-E.7**).

### Nutzergruppen

- Direction Générale de l'Eau
  - Dr. Pierre Adissou (Chef Service Hydrologie)
  - Dr. Felix Azonsi (Chef Service Resources en Eau)
  - Mitarbeiter : Arnaud Zannou, Aurélien Tossa
- Université d'Abomey-Calavi
  - Prof. Abel-Afouda (Faculté des Sciences Techniques)
  - Mitarbeiter : Eric Alamou
  - Prof. E. Agbossou (Faculté des Sciences Agronomiques)
  - Mitarbeiter : Dr. Luc Sintondji

### Modellierung

#### *Ermittlung der natürlichen Wasserverfügbarkeit*

Die natürliche Wasserverfügbarkeit wird mit den numerischen Simulationsmodellen UHP-HRU und FE-FLOW (WASY, 2004) ermittelt.

UHP-HRU ist ein konzeptionelles hydrologisches Modell, das alle hydrologischen Prozesse (Evapotranspiration, Infiltration, Oberflächenabfluss, Interflow, Grundwasserneubildung) simuliert. Die räumliche Diskretisierung des Modells basiert auf HRUs (hydrologic response units) für die flächengenau die Verfügbarkeit des Oberflächenwassers berechnet wird.

Das Modell FE-FLOW ist ein dynamisches Grundwasserströmungsmodell, das auf dem Finite-Elemente-Konzept beruht. Beim Diskretisierungsvorgang werden im Modellgebiet Knoten verteilt, die mit den verfügbaren hydraulischen und geometrischen Informationen besetzt werden. Durch Lösung der Grundwasserströmungsgleichung unter Berücksichtigung von Zu-/Abflüssen werden die Grundwasserstände und die Grundwasserverfügbarkeit bestimmt. Im Modell können die verschiedenen Aquifere (Saprolith-Aquifer, Kluftaquifer) dreidimensional nachgebildet werden. Die Kopplung der beiden Modelle wird durch die Grundwasserneubildung vorgenommen, die von UHP-HRU berechnet und durch Datenkopplung an FE-FLOW weitergegeben wird (**Abb. III.1.2-1**: Schematische Darstellung der Komponenten des SDSS „Wasserverfügbarkeit und Wasserverbrauch“).

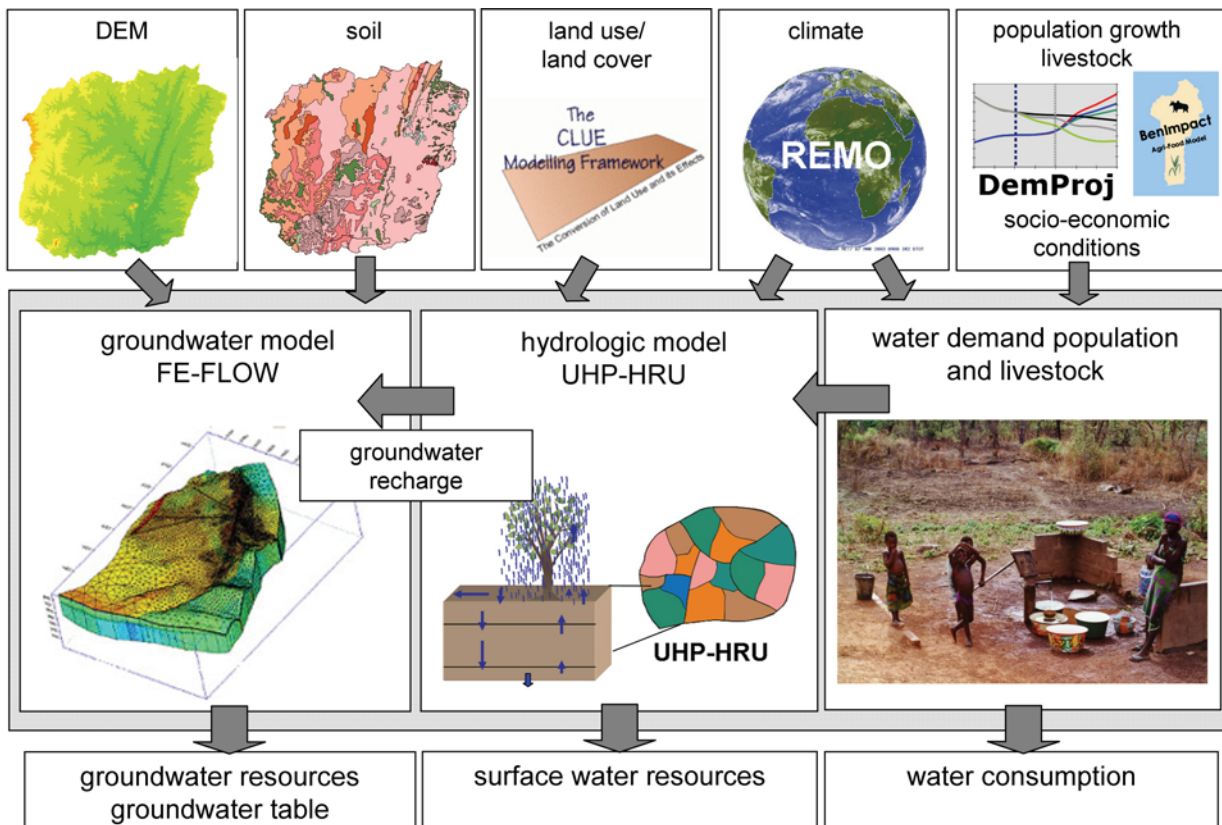
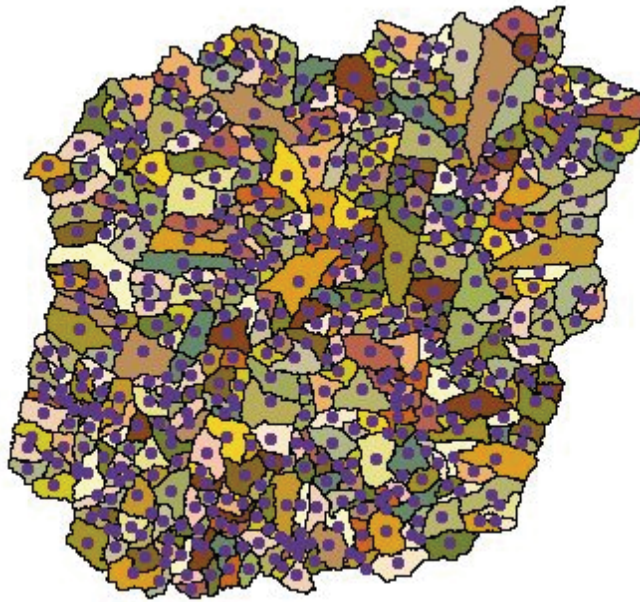


Abb. III.1.2-1: Schematische Darstellung der Komponenten des SDSS „Wasserverfügbarkeit und Wasserverbrauch“

Ferner ist die Wasserbilanz, wie sie ausgehend von hydrochemischen Untersuchungen f  
Hierbei wird pro HRU der Flächenschwerpunkt (vgl. Abb. III.1.2-2) ermittelt und die von UHP-HRU  
ermittelte Grundwasserneubildung für die Implementierung in FE-FLOW interpoliert.

Bei Ausweitung des PKs auf das gesamte Ouémé-Einzugsgebiet wird für die Grundwassermodellierung  
die Modellsoftware PMWIN verwendet, da diese als Freeware auch für beninische Nutzer erhältlich und  
die Bedienung leichter und übersichtlicher ist. Die Modellparameter und Simulationsergebnisse aus FE-  
FLOW können in das PMWIN-Modell überführt werden.

Die tatsächlich verfügbare Wassermenge ergibt sich unter Hinzunahme der Ergebnisse aus der Wasser-  
verbrauchsanalyse, die in die Modelle integriert wird.



**Abb. III.1.2-2:** Flächenschwerpunkte der HRUs zur Interpolation der Grundwasserneubildung als Input für FE-FLOW

### *Ermittlung des Wasserverbrauchs*

Der Wasserverbrauch im HVO beschränkt sich derzeit auf häuslichen und landwirtschaftlichen Wasserverbrauch, da in dieser Region keine Industrie vorhanden ist. Der häusliche Wasserverbrauch wurde im Jahr 2001 in einer Wasserverbrauchsanalyse für verschiedene Dörfer und die Stadt Djougou untersucht (Schopp 2004, Hadjer et al. 2005). Des Weiteren wurden Wasserverbrauchsstudien in verschiedenen Städten des Ouémé-Einzugsgebiet durchgeführt (siehe Zwischenbericht 2005), die als Grundlage für die Abschätzung des häuslichen Wasserkonsums dienen. Zur Berechnung der Szenarien werden die Ergebnisse der Bevölkerungsprojektionen (PK Be-G.1) und ermittelte Trends der Entwicklung der Wasserinfrastruktur verwendet. Eine genaue Erläuterung der Berechnungsmethode befindet sich im Abschnitt ‚Wasserverbrauch‘ und in der Beschreibung des PK Be-H.2. Die Aufteilung des Gesamtwasserverbrauchs in Entnahmekquellen (Oberflächenwasser, Grundwasser) ist durch den Regionalsurvey im HVO (Hadjer et al. 2004) und den Untersuchungen von PK Be-H.2 und den Zensus-Daten (INSAE, 2003) möglich. Das entnommene Wasser kann je nach Entnahmekquelle räumlich und zeitlich differenziert in die Wasserverfügbarkeitsmodellierung integriert werden.

Der Regionalsurvey von Hadjer et al (2004) ergab, dass im HVO keine Bewässerung praktiziert wird. Jedoch zeigten die Untersuchungen im Rahmen des PK Be-H.2, dass in der Nähe großer Städte im Ouémé-Einzugsgebiet (Cotonou, Parakou) Bewässerung von Gemüseanbauflächen durchgeführt wird. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in der Beschreibung des PK Be-H.2 näher erläutert. Der Wasserverbrauch des in Regenfeldbau durchgeführten Ackerbaus beschränkt sich auf die Evapotranspiration der Nutzpflanzen, die in UHP-HRU berechnet wird. Zur Ermittlung des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs muss auch der Wasserverbrauch der Nutztiere, der von Gruber im Rahmen der BenIMPACT-Modellierung (**PK Be-E.5**) berechnet wird, integriert werden. Bei der Berechnung des Wasserverbrauchs der Nutztiere werden neben der Änderung der Viehzahl auch die Temperaturänderungen (Klimaszena-

rien) miteinbezogen. Dieser Verbrauch wird auf Department-Ebene berechnet und der Verteilung der HRUs bzw. der diskretisierten Elemente entsprechend räumlich angepasst.

## **Stand der Arbeiten**

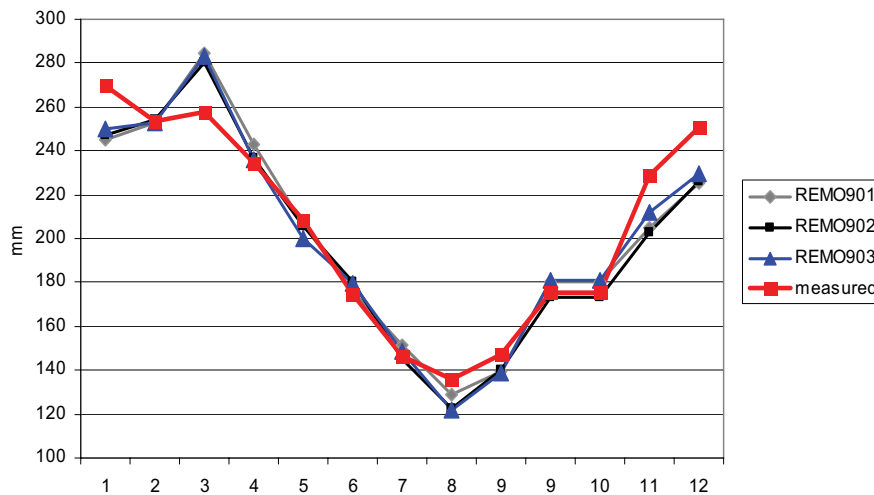
### ***1. Modellierung der Wasserverfügbarkeit***

Das Modell wurde unter Verwendung von IMPETUS-Daten der ersten und zweiten Phase (Landnutzungsklassifikation, Bodenkarte) parametrisiert und für sieben Teileinzugsgebiete des Ouémé validiert (vgl. Zwischenbericht 2005 und Giertz et al. 2006). Die Ergebnisse sind für alle Teileinzugsgebiete gut bis zufrieden stellend mit Modelleffizienzwerten von 0,70 bis 0,84.

Die ersten Szenarienberechnungen für einzelne Zeitscheiben (vgl. Zwischenbericht 2005 und Giertz et al. 2006) haben gezeigt, dass das Modell für die Berechnung von Szenarien geeignet ist. Jedoch ist die Interpretierbarkeit einzelner Zeitscheiben aufgrund der großen interannuellen Variabilität sehr schwierig. Durch die Verfügbarkeit der Ergebnisse der Ensemble-Läufe der SRES-Klimaszenarien A1b und B1 des Modells REMO konnten kontinuierliche Szenarien für 2000 bis 2050 gerechnet werden. Für jedes Szenario wurden drei Läufe mit REMO simuliert, die auch für die hydrologische Modellierung verwendet wurden. Diese wurden mit dem verfügbaren Landnutzungsszenario für das Entwicklungsszenario B3 ‚business as usual‘ kombiniert (bis 2025). Das Mittel der simulierten Wasserflüsse bei Verwendung der drei REMO-Läufe wurde als Ergebnis des jeweiligen Szenarios angenommen.

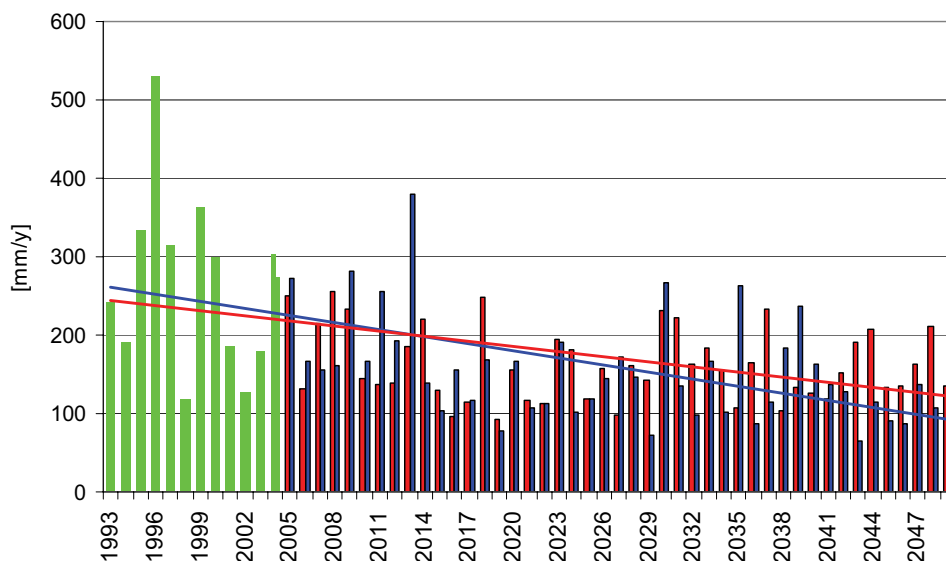
Zur Verwendung der REMO-Simulationen als Input für die hydrologische Modellierung wurde ein Postprocessing (MOS-Korrektur, vgl. Paeth et al. 2004) durchgeführt, das aus den Niederschlägen der REMO-Gitterboxen ‚virtuelle Stationsdaten‘ für alle verfügbaren Niederschlagsstationen in Benin berechnet. Diese konnten dann direkt als Input für das hydrologische Modell verwendet werden. Damit konnte gewährleistet werden, dass sowohl die Niederschlagsmenge als auch die Niederschlagsverteilung der Simulationen mit den Messungen der vergangenen Zeiträume für die Stationen übereinstimmt.

Die von REMO simulierten Klimaparameter wurden auf ihre Anwendbarkeit zur Berechnung der Evapotranspiration getestet. **Abb. III.1.2-3** zeigt den Vergleich der potenziellen Evapotranspiration der Station Parakou unter Verwendung der Klimamessungen und der drei REMO-Läufe für den Zeitraum 1979 bis 1993. Es wird deutlich, dass durch Verwendung der REMO-Daten realistische Werte der potenziellen Evapotranspiration berechnet werden.



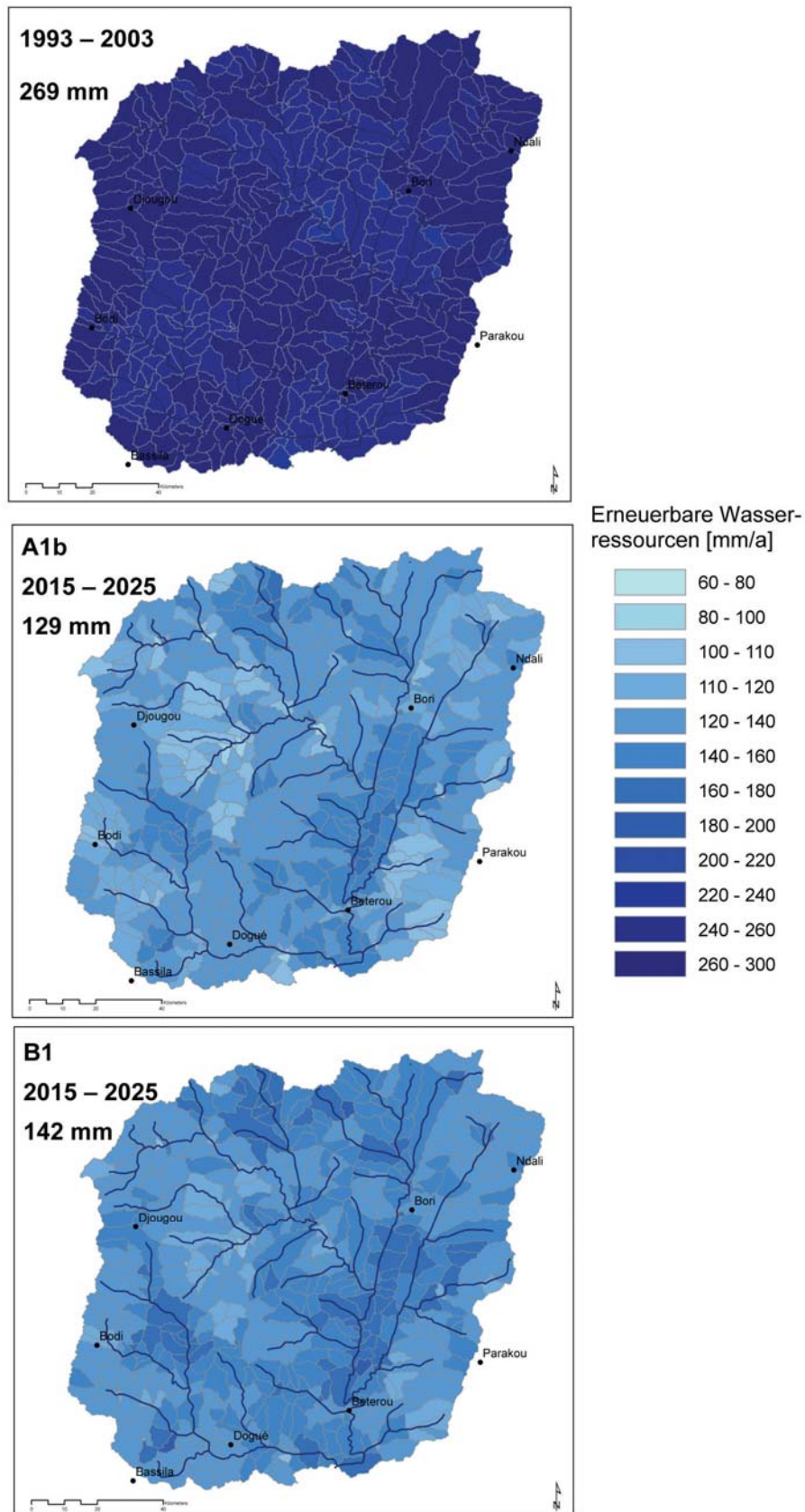
**Abb. III.1.2-3:** Berechnete potenzielle Evapotranspiration unter Verwendung von gemessenen Klimadaten und REMO-Modellläufen, Station Parakou 1979 - 1993

Die mit UHP-HRU für den Messzeitraum und die Szenarien simulierten erneuerbaren Wasserressourcen (Oberflächenwasser + Grundwasserneubildung) sind in **Abb. III.1.2-4** dargestellt. Das Szenario A1b, welches von einer höheren CO<sub>2</sub>-Emission ausgeht, zeigt eine stärkere Abnahme der Wasserressourcen als Szenario B1, welches ein stärker ökologisch ausgerichtetes Szenario darstellt. Vergleicht man die verfügbare Wassermenge für die Dekaden von 1993-2003 und 2015-2025 (**Abb. III.1.2-5**) wird deutlich, dass für beide Szenarien ein starker Rückgang der Wasserverfügbarkeit simuliert wird. Der Haupteinflussfaktor für die Gesamtwasserbilanz sind die Klimaszenarien, die das Signal der Landnutzungsszenarien überdecken. Aufgrund der hohen interannuellen Variabilität ist für die folgenden Dekaden eine leichte Zunahme der mittleren Wasserverfügbarkeit zu verzeichnen.



**Abb. III.1.2-4:** Simulierte erneuerbare Wasserressourcen für den Zeitraum 1993-2050. 1993-2003 Messdaten, 2003-2050 SRES-Szenarien A1b und B1 in Kombination mit Entwicklungsszenario B3 'business as usual' (bis 2025)





**Abb. III.1.2-5:** Vergleich der erneuerbaren Wasserressourcen des HVOs für den die Dekade von 1993-2003 und die SRES-Szenarien A1b und B1 in Kombination mit Entwicklungsszenario B3 ‚buisness as usual‘

## 2. Wasserverbrauch

### *Wasserverbrauch Landwirtschaft*

Die Berechnungen von PK Be-E.5 haben gezeigt, dass der Wasserverbrauch der Nutztiere einen erheblichen Anteil des Gesamtwasserverbrauchs in Nord- und Zentralbenin ausmacht. In Zentralbenin, wo auch das obere Ouémé-Einzugsgebiet liegt, haben die Nutztiere einen Wasserverbrauch, der mit dem häuslichen Wasserverbrauch der Bevölkerung vergleichbar ist. Im Südlichen Ouémé ist der Wasserverbrauch durch Nutztiere niedriger als der häusliche Wasserverbrauch, da hier die Bevölkerungsdichte deutlich höher ist als in Nord- und Zentralbenin und kaum Rinderhaltung praktiziert wird.

Der Wasserverbrauch durch Bewässerung wird in PK Be-H.2 näher erläutert.

### *Wasserverbrauch auf Haushaltsebene*

Die Untersuchungen des häuslichen Wasserverbrauchs haben gezeigt, dass der Wasserverbrauch im Wesentlichen vom Zugang zur Wasserinfrastruktur abhängt (vgl. Schopp, 2004, Hadjer et al., 2005 und Zwischenbericht 2005)

Personen, denen in ruralen Gebieten nur Wasserstellen wie Pumpen, Brunnen oder Marigots zur Verfügung stehen, haben einen relativ geringen Wasserverbrauch (im Mittel 18 l pro Person und Tag). Dabei ergaben die Untersuchungen, dass die Varianz zwischen den untersuchten Dörfern gering ist. Bei Zunahme der Haushaltsgröße nimmt der Wasserverbrauch pro Person leicht ab. Das Haushaltseinkommen hat jedoch keinen Einfluss auf den Wasserverbrauch.

Der häusliche Wasserverbrauch urbaner Gebiete hängt stark vom Zugang zu Leitungswasser ab. Die Wasserversorgung der städtischen Bevölkerung ohne direkten Zugang zu Leitungswasser („Peripherie“) wird - wie der der Dorfbewohner - über Pumpen, Brunnen oder Marigots gedeckt. Obwohl diese Personen die Möglichkeit haben, Leitungswasser von Nachbarn zuzukaufen, findet dies aufgrund der meist begrenzten monetären Mittel nur selten statt. Der Gesamtwasserverbrauch pro Person liegt somit auch nur leicht über dem des Dorfes (19,1 l pro Person und Tag,). Auch hier wurde nur eine sehr geringe Variation des Wasserverbrauchs der unterschiedlichen Haushalte festgestellt. Städtische Haushalte mit direktem Zugang zu Leitungswasser haben einen deutlich höheren Wasserverbrauch. Die Untersuchung zeigte, dass der häusliche Wasserverbrauch der Städte stark variiert (zwischen ca. 52 und 80 Liter pro Tag und Kopf (vgl. Zwischenbericht 2005)). Der häusliche Wasserverbrauch in der Stadt kann also nicht durch einen Mittelwert der acht untersuchten Städte auf alle anderen Städte Benins übertragen werden. Daher wurde eine Klassifikation der SONEB übernommen, die die Städte je nach Anzahl der Abonnenten und dem städtischen Gesamtwasserverbrauch in vier Klassen unterteilt (**vgl. Tab. III.1-6**). Da im Rahmen der empirischen Untersuchung mindestens eine Stadt pro Klasse untersucht wurde, konnte für jede Klasse ein Wasserverbrauchswert ermittelt werden.

**Tab. III.1-6:** Klassifikation der Städte mit Leitungswasserzugang (SONEB) und ermittelter Wasserverbrauch der Klasse

Klassen	Anzahl Städte	%	Abonnenten		Produktion		Städte	Wasserverbrauch [l/Kopf/d]
			Anzahl	%	m <sup>3</sup>	%		
<b>1</b> > 5000 Abonnenten oder > 1 Mio. m <sup>3</sup>	4	7	55.691	74	17	81	Cotonou, Porto- Novo, Abomey, Bohicon, Parakou	79,6
<b>2</b> 1000-5000 Abonnenten oder 250.000- 1 Mio.m <sup>3</sup>	6	10	8193	11	1,8	8	Abomey/Calavi, Quidah, Pobe, Comé/Gran Popo, Lokossa Natintingou	73,8
<b>3</b> 300-1000 Abonnenten oder 50.000–250.000 m <sup>3</sup>	12	20	7215	10	1,4	7	Allada, Kétou, Sakété, Azové, Dogbo, Klouékanmé, , Dassa, Savalou, Kandi Malanville, Cové, Djougou	68
<b>4</b> < 300 Abonnenten oder <50.000 m <sup>3</sup>	37	63	4.639	5	0,8	4	übrige Städte	56,7
<b>Gesamt</b>	59	100	75.738	100	21	100		

Zur Berechnung des Gesamtwasserverbrauchs wurden folgende Daten aus dem Zensus 2002 verwendet: Bevölkerungszahl der Siedlung, Klassifikation der Siedlung als urban oder rural, Anzahl der Haushalte mit Zugang zu Leitungswasser, Haushaltsgröße. Durch die Einbeziehung dieser Informationen konnte der Gesamtwasserverbrauch auf Grundlage des ermittelten Wasserverbrauchs pro Kopf für Dorfbevölkerung, Stadtbevölkerung ohne Zugang zu Leitungswasser (Peripherie) und Stadtbevölkerung mit Zugang zu Leitungswasser der vier definierten Stadtklassen (vgl. **Tab. III.1-6**) ermittelt werden.

### **Szenarienberechnung**

Da der Pro-Kopf-Wasserverbrauch v.a. vom Zugang zu Leitungswasser abhängt, stellt neben den Bevölkerungsprojektionen die Änderung des Zugangs zu Leitungswasser die wichtigste Einflussgröße des häuslichen Wasserverbrauchs dar. Ermittlungen der SONEB zeigen, dass die Abonnentenzahl der Leitungswassernutzer in den letzten Jahren linear zugenommen hat (vgl. **Abb. III.1.2-6**).



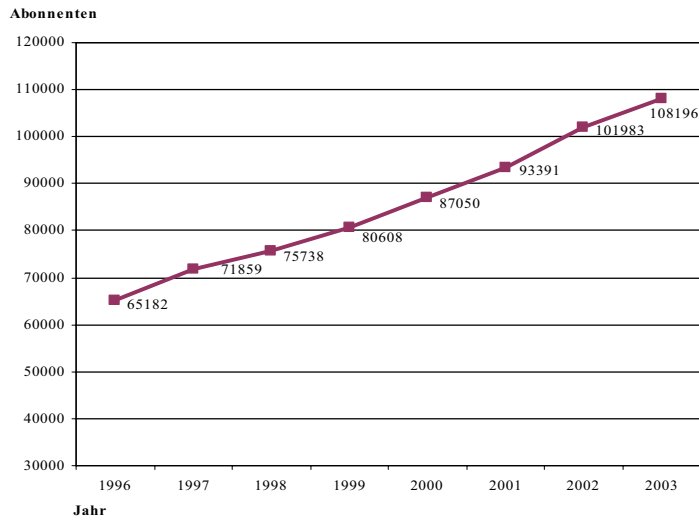


Abb. III.1.2-6: Anzahl der Leitungswasser-Abonnenten in Benin (SONEB)

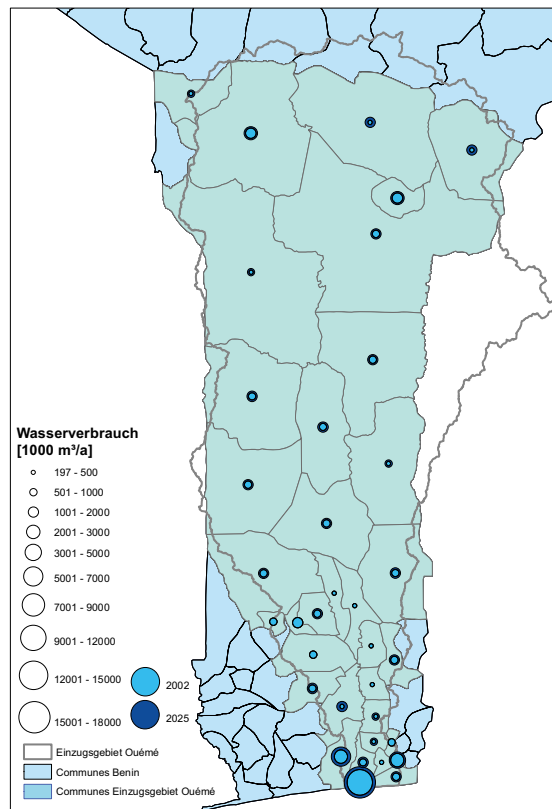


Abb. Be-H1.7: Häuslicher Wasserverbrauch für 2002 und das Szenario ‚business as usual‘

Für das Szenario ‚business as usual‘ (B3) wurden auf der Grundlage der im Zensus angegebenen Änderung des Leitungswasserzugangs von 1992 bis 2002 eine jährliche Zuwachsrates des Zugangs zu Lei-

tungswasser ermittelt. Je nach Klassifikation der Zensus-Siedlung (urban oder rural) und den ermittelten Leitungswasseranschlüssen wurde der Verbrauch basierend auf den vorgestellten Werten für Dorf, Peripherie und den vier Stadtklassen (vgl. **Tab. III.1-6**) berechnet zeigt das Ergebnis aggregiert auf Commune-Ebene für die Hauptcommunes des Ouémé-Einzugsgebietes.

#### **4. SDSS-Entwicklung**

Das SDSS des PKs dient v.a. Experten der nationalen Wasserbehörde in Benin zur Ermittlung der Oberflächen- und Grundwasserressourcen des Ouémé-Einzugsgebiet und des Wasserverbrauchs. Da die verwendeten Modellansätze auch für die Forschungseinrichtungen von Interesse sind, stellen auch verschiedene Arbeitsgruppen der Universität Abomey-Calavi SDSS-Nutzer dar. Die Einbindung der Universität ist auch für die nachhaltige Implementierung des SDSS in Benin von Bedeutung, da es an der Universität einer breiteren Nutzergruppe und auch potenziellen Mitarbeitern der Wasserbehörde zur Verfügung gestellt wird.

Bei vielen Nutzern (sowohl einige Mitarbeiter der DGE als auch Universität) handelt es sich meist um gut ausgebildete Experten, die auch Modifikationen der Inputdaten oder Modellparametern vornehmen wollen. Auch eine Anwendung des Tools für andere Räume (z.B. Einzugsgebiete in Nordbenin oder außerhalb Benins) ist für die Nutzer (v.a. Universität) von Bedeutung. Für die meisten Nutzer der nationalen Wasserbehörde liegt jedoch das Hauptinteresse in der realistischen Abschätzung der Abflussmenge der Haupteinzugsgebiete Benins und der derzeitig und zukünftig verfügbaren Wasserressourcen und des Wasserverbrauchs in Benin. Dies ist auch für den GIRE<sup>2</sup>-Prozess, in den die DGE eingebunden ist, von großer Bedeutung. Im Rahmen des GIRE sollen Einzugsgebietskommissionen aufgebaut werden, die für das Management der Einzugsgebiete zuständig sind. Diese Kommissionen stellen somit auch wichtige SDSS-Nutzer dar. Für diese Nutzergruppen (die meisten Nutzer der DGE und Einzugsgebietskommissionen) sind v.a. eine einfache Bedienbarkeit und gute graphische Ausgabemöglichkeiten von Bedeutung.

Daher werden zwei Tools entwickelt, die auf die unterschiedlichen Bedürfnisse der Nutzergruppen abgestimmt sind und auch in Kombination verwendet werden können.

##### **4.1 Benutzerfreundliches ArcGIS-Interface UHP-HRU**

Dieses Tool ist v.a. für universitäre Nutzung und für Experten der nationalen Wasserbehörde geeignet, die das Modell UHP-HRU verwenden wollen, Modifikationen der Parametrisierung vornehmen oder das Modell für andere Einzugsgebiete verwenden wollen. Für das Modell UHP-HRU wurde ein benutzerfreundliches ArcGIS-Interface in ArcObjects programmiert, was Nutzern mit geringen GIS-Kenntnissen ermöglicht, die Diskretisierung und Parametrisierung des Modells zu verändern.

So können z.B. bei Verbesserung der Datenlage in Benin (z.B. verbesserte Bodenkarte, weitere Klimastationen) neue Daten eingebunden werden. Die ist v.a. für die langfristige Nutzung des Tools von Bedeutung. Das Interface beinhaltet nicht die anderen Module des PKs (Grundwasser, Wasserverbrauch), jedoch können die Veränderungen für das Ouémé-Einzugsgebiet in das SDSS *BenHydro* integriert werden.

---

<sup>2</sup> GIRE = Gestion intégrée des ressources en eau (Integratives Management der Wasserressourcen)

Abb. III.1.2-7 zeigt die Startseite des UHP-HRU-Wizards und die *Processing-Steps* der Stream-Definition und Watershed-Delination, die mit einem interaktiven Benutzerinterface gestaltet sind.

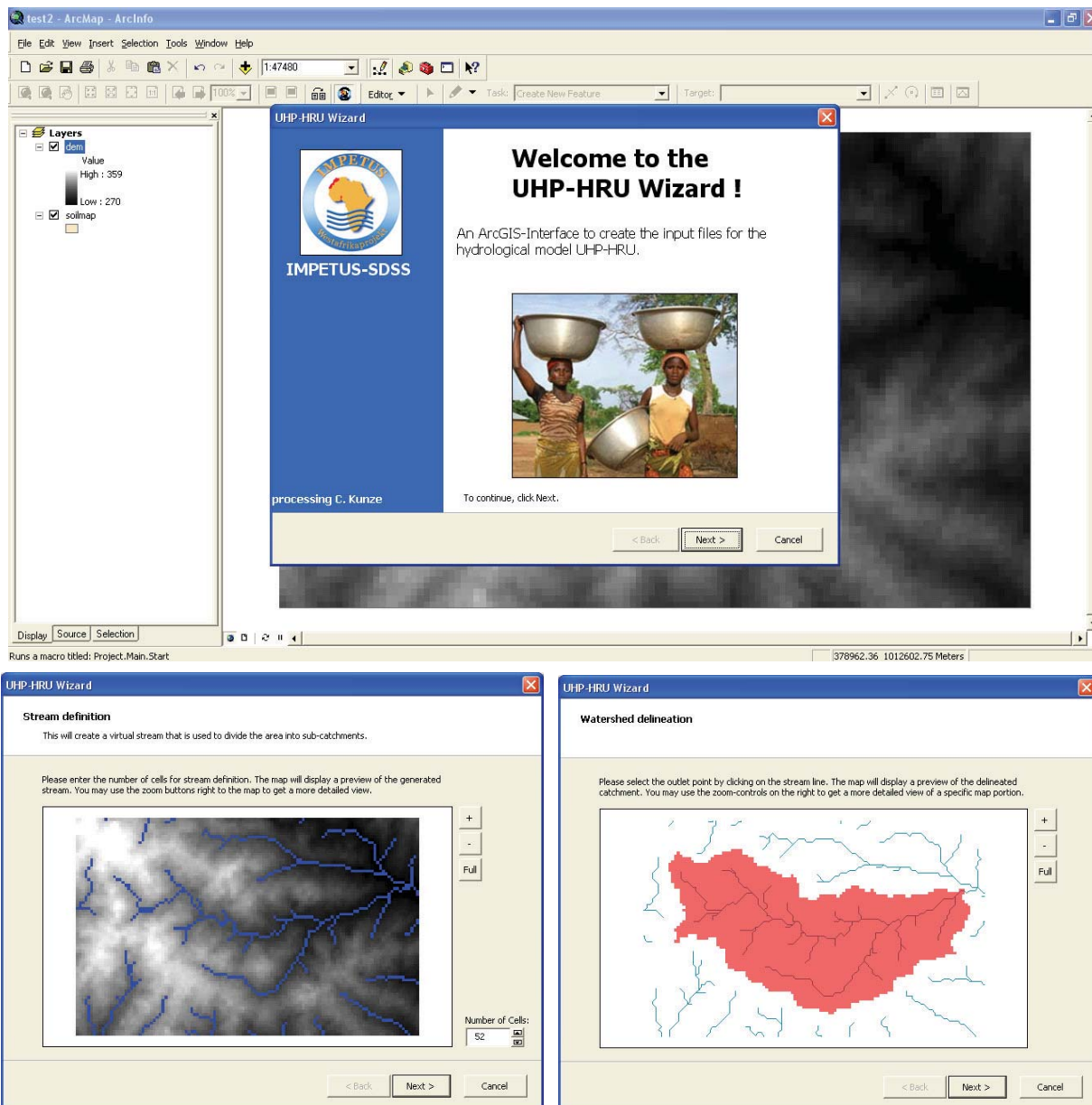


Abb. III.1.2-7: ArcGIS-Benutzer-Interface für UHP-HRU

Die meisten Module des *Preprocessing* sind bereits fertig gestellt, so dass nur noch das *Postprocessing* und die Visualisierung der Ergebnisse programmiert werden muss. Die Fertigstellung des gesamten Tools ist für Sommer 2007 vorgesehen.

#### **4.2 Das SDSS BenHydro**

Das SDSS BenHydro ist vor allem für Nutzer der DGE und den Einzugsgebietskommissionen konzipiert. Es dient zur Abschätzung der derzeitig und zukünftig verfügbaren Wasserressourcen (Oberflächenwasser und Grundwasser) und des Wasserverbrauchs in Benin. Im Gegensatz zu dem unter 4.1 vorgestellten Tool werden auch das Grundwassermodul und das Wasserverbrauchsmodul des Problemkomplexes implementiert. Der Benutzer hat die Möglichkeit, über ein Benutzerinterface die gewünschten Komponenten, das Einzugsgebiet, den Simulationszeitraum und die Szenarien auszuwählen. Außerdem können weitere Einstellungen vorgenommen werden (z.B. Wahl der Datengrundlage für die Wasserverbrauchsberechnung, einzelne Parameter der hydrologischen Modelle etc.). Es besteht jedoch keine Möglichkeit, über das Benutzerinterface die Modellparametrisierung der hydrologischen Modelle grundlegend zu ändern. Jedoch kann dies von erfahrenden Benutzern der Modelle durch das UHP-HRU-Interface oder direkt in den Input-Dateien des Modells vorgenommen werden.

In einem weiteren Schritt hat der Benutzer die Möglichkeit, die gewünschten Ausgabegraphiken und Karten auszuwählen. Außerdem werden die Ergebnisdateien als Excel bzw. Ascii-Files zur Verfügung gestellt.

Eine erste Version des SDSS soll im Herbst 2007 verfügbar sein, so dass Spezial-Schulungen für BenHydro in Benin ab Ende 2007 durchgeführt werden können. Einführende Schulungen für das Modell UHP-HRU wurden bereits im Januar 2007 mit Mitarbeitern der DGE durchgeführt.

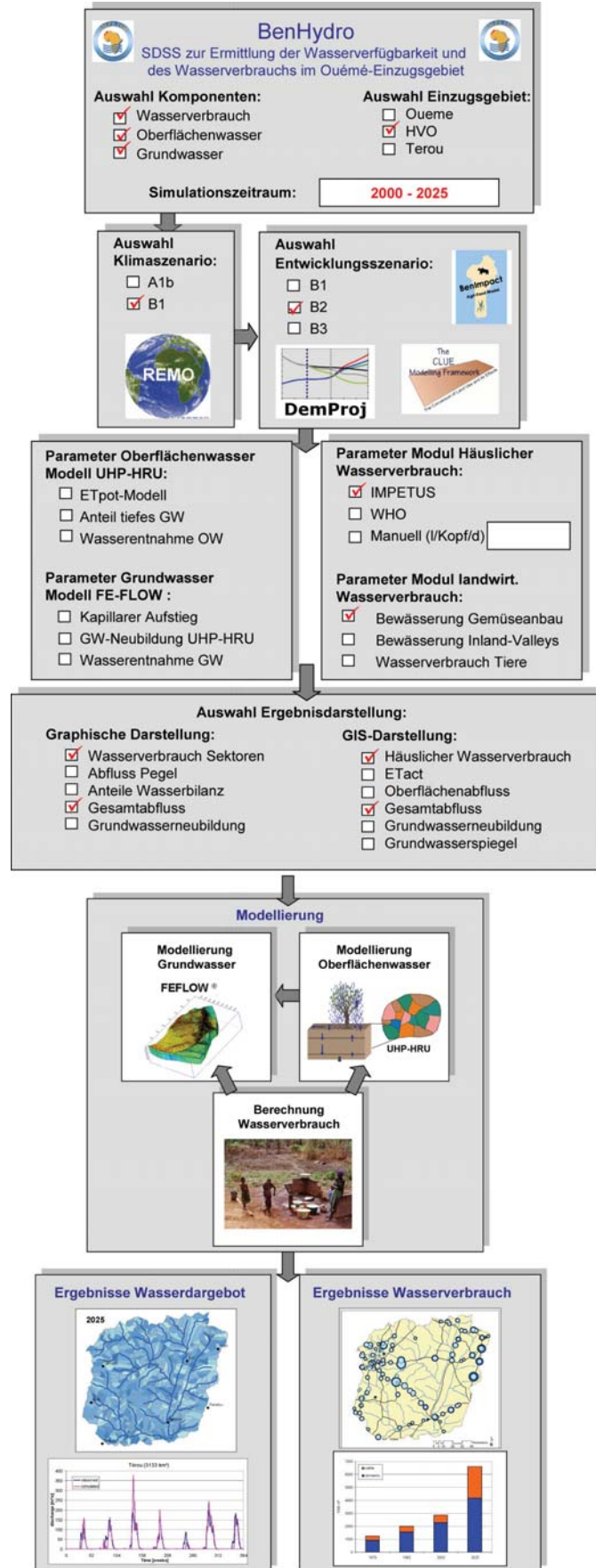


Abb. III.1.2-8: Konzeption des SDSS BenHydro

**Literatur**

- Behle, C. & M.Schopp (2003): Water Supply Situation in Benin, West Africa. In : Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development, Book of Abstracts, Deutscher Tropentag 2003, Georg-August-Universität, Göttingen
- Behle, C. & M.Schopp (2002): Analysis of water demand and water availability in the catchment of the "Haute Ouémé", Benin/West-Africa. In: Challenges to organic farming and sustainable land use in the tropics and subtropics, Book of Abstracts, Deutscher Tropentag 2002, University of Kassel-Witzenhausen. <http://www.tropentag.de/2002/proceedings/node230.html>.
- Giertz, S., Diekkrüger, B., Jaeger, A. & M. Schopp (2006): An interdisciplinary scenario analysis to assess the water availability and water consumption in the Upper Ouémé catchment in Benin. Adv. Geosci., 9, 3-13, 2006, [www.adv-geosci.net/9/3/2006/](http://www.adv-geosci.net/9/3/2006/)
- Hadjer, K., Klein, T. & U. Singer (2004): Unveröffentlichter Datensatz des Regionalsurveys zur Existenzsicherung im Oberen Ouémé-Einzugsgebiet
- Hadjer, K., Klein, Th. & M. Schopp (2005): Water consumption embedded in its social context, north-western Benin. In: *Physics and Chemistry of the Earth*. Special Issue, Vol. 30, Issues 6-7, S. 357-364.
- INSAE (2003): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de Février 2002. La population des communes de Tchaourou, N'dali, Parakou, Bassila, Djougou, Cotonou. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin.
- Paeth, H.: Statistical postprocessing of simulated precipitation data for hydrological and climatological analyses in West Africa. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, submitted, 2006
- Schopp, M. (2004): Wasserversorgung in Benin unter Berücksichtigung sozioökonomischer und soziodemographischer Strukturen - Analyse der Wassernachfrage an ausgewählten Standortendes Haute Ouémé. Elektronische Dissertation der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn.
- WASY (2004): FEFLOW 5.1, Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System. Institute of Water Resources Planning and System Research Ltd, Berlin, Germany.



## **PK Be-H.2 Wassernachfrage der Sektoren (Haushalt, Industrie und Landwirtschaft) unter Berücksichtigung möglicher Wasserkonflikte**



### **Problemstellung**

Wasser spielt auf allen Ebenen der Sektoren Haushalt, Industrie und Landwirtschaft eine wesentliche Rolle. Dieser Problemkomplex geht von einer nicht kontinuierlichen Wasserverfügbarkeit aufgrund temporärer und räumlicher Divergenzen aus. Besonders in ländlichen Gebieten ist eine kontinuierliche Wasserversorgung der Bevölkerung nicht gewährleistet. Internationale Vorgaben zum Pro-Kopf-Verbrauch, wie z.B. der WHO können vielfach nicht eingehalten werden. Verschärft wird die Situation durch die Umstrukturierung im Wassersektor im Zuge der Dezentralisierung und der damit einhergehenden Verunsicherung der Bevölkerung bei der Beantragung von neuen Pumpen und Brunnen. Ein anhaltendes Bevölkerungswachstum, eine ausgeprägte Migration und nationale Bestrebungen den landwirtschaftlichen Sektor mit Hilfe von Bewässerungsprojekten zu fördern, kollidiert mit den verfügbaren Wassermengen und deren Aufteilung zwischen Haushalt, Industrie und Landwirtschaft.

### **Mitarbeiter**

**Marion Schopp, Julia Kloos**

### **Zielsetzung**

Die Zielsetzung des vorliegenden Problemkomplexes ist eine übergreifende Abschätzung des Wasserverbrauchs auf nationaler Ebene in Benin, aufgeschlüsselt nach den Sektoren Haushalt, Industrie und Landwirtschaft unter Zuhilfenahme interdisziplinär erhobener Daten verschiedener Arbeitsbereiche. Aus-

gehend von dieser Datengrundlage werden zukünftige Entwicklungen und staatliche Planungsvorhaben (Gesetze, Rahmenbedingungen etc.) in der Szenarienberechnung berücksichtigt, um so einen Beitrag zur Wasserbilanz in Hinblick auf eine gesamtwirtschaftliche Wassernachfragefunktion liefern zu können. Die Erkenntnisse aus der Modellierung und der Szenarienberechnungen werden in ein sDSS integriert.

**Modellierung**



Abb. III.1.2-9: Schematische Darstellung der Komponenten des DSS „Wasserverbrauch der Sektoren“

Die Bearbeitung des Problemkomplexes setzt eine fundierte Datengrundlage voraus, welche mit Hilfe von Expertenwissen sowohl für den Wasserverbrauch der einzelnen Sektoren als auch für die Quantifizierung der prozentualen Wassernutzung in ein nationales Expertensektormodell (NES) integriert wird (siehe Abb. III.1.2-9). Dabei werden Gesetze, Rahmenbedingungen und dem institutionellen Wandel besondere Bedeutung beigemessen.



Der vorhandene Problemkomplex definiert den Modellbegriff als ein regelbasiertes Modell (Expertensystem), unter Zuhilfenahme von Expertenwissen, indem Erkenntnisse durch Korrelationen und Signifikanzen ausgedrückt werden. Diese bilden auch die Grundlage für die Erstellung eines sDSS, welches in dem vorhandenen Problemkomplex in drei Module unterteilt wird, um die Sektoren Haushalt, Industrie und Landwirtschaft gleichermaßen zu berücksichtigen.

Da in den vorhergehenden Zwischenberichten bereits die Methodik dargelegt wurde und die Szenarienberechnungen (B1) im PK Be-H.1 beschrieben werden, konzentriert sich dieser Bericht auf die Erkenntnisse des landwirtschaftlichen Sektors und stellt die ersten Überlegungen für die Erstellung eines sDSS dar.

## Stand der Arbeiten

### *1. Der landwirtschaftliche Sektor im Fokus*

Um den landwirtschaftlichen Sektor in Bezug auf die Wassernachfrage untersuchen zu können, ist eine Dreiteilung in urbanen und periurbanen bewässerten Gemüseanbau (in der Nähe von großen Städten), der Nutzung von Basfonds und große Bewässerungsanlagen, wie sie für Reis, Ölpalmen oder Zuckerrohr in Benin angelegt werden, notwendig. Da die Basfonds im Rahmen des PK Be-E.7 bearbeitet werden, finden sie in diesem Zwischenbericht bezüglich der Erkenntnisse keine Berücksichtigung.

Die Untersuchungsstandorte wurden mit Hilfe von Experten ausgewählt, wobei in den großen Bewässerungsanlagen eine Vollerhebung stattgefunden hat, während für den urbanen und periurbanen Gemüseanbau als auch für die Nutzung von Basfonds ein Mikro-Ansatz gewählt wurde.

#### a) Urbaner und periurbaner bewässerter Gemüseanbau

Der bewässerte Gemüseanbau ist in Benin in der Nähe der großen Städte wie z.B. Cotonou, Parakou oder Porto Novo anzutreffen, indem auf meist kleinen Parzellen Gombo, Tomaten, Kohl, Cri Cri, Salate, Gurken u.a. Produkte angepflanzt werden.

Bei der Kultivierung gibt es jedoch signifikante Unterschiede in Bezug auf die genutzten Wasserquellen als auch Techniken, die im Folgenden beschrieben werden.

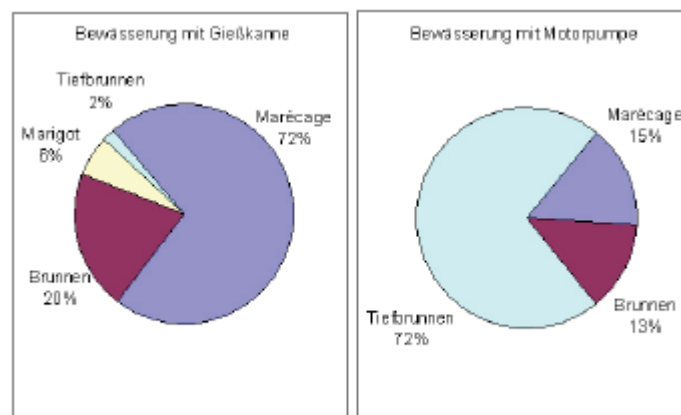
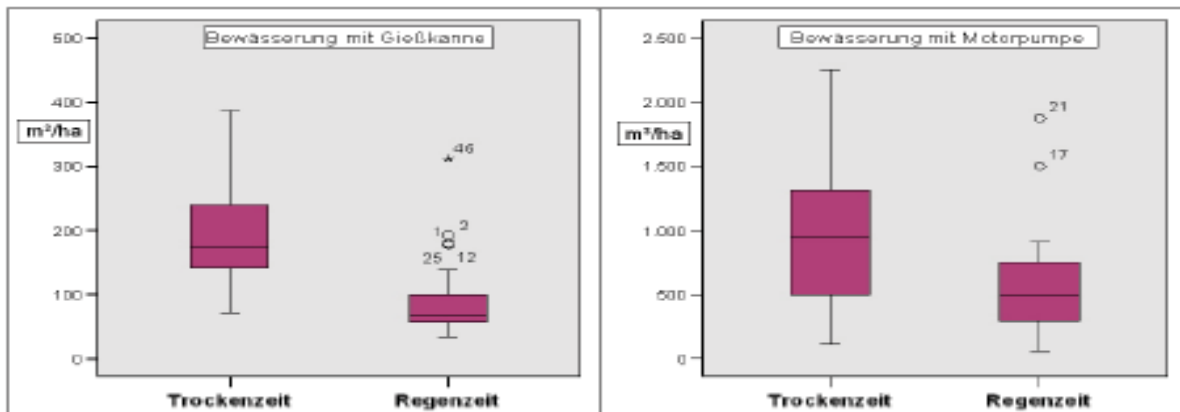


Abb. III.1.2-10: Wasserquellen in Abhängigkeit der verwendeten Bewässerungstechnik

In Hinblick auf die Bewässerungstechnik konnte in den vier untersuchten Städten (Cotonou, Porto Novo, Ouidah und Grand Popo) festgestellt werden, dass mit fast 60% überwiegend die Gießkanne („irrigation avec arrosoir“) zum Einsatz kam und natürliche Wasserquellen wie Marécage oder Brunnen genutzt wurden. Der Rest bewässerte bereits mit Hilfe von Motorpumpen. Bei mehr als 70% korrelierte der Einsatz von Motorpumpen mit Tiefbrunnen, so dass eine ganzjährige Wasserversorgung sichergestellt werden konnte. (Siehe **Abb. III.1.2-10**)

In der Regel sind die Produzenten wenig organisiert und vermarkten ihre Produkte an Zwischenhändler (Einzel- oder Großhändler). Zu den Einzelhändlern zählen überwiegend Frauen, die das Gemüse auf lokalen Märkten oder entlang der Straßen verkaufen.

Werden beide Bewässerungsmethoden in Hinblick auf ihren Wasserverbrauch analysiert, so lässt sich bei der Verwendung der Motorpumpe feststellen, dass etwa das 6-fache an Wasser benötigt wird. Ebenso zeigen sich deutliche Unterschiede in der Spannweite, wie sie anhand von Boxplots in der **Abb. III.1.2-11** dargestellt sind.



**Abb. III.1.2-11:** Boxplots des Wasserverbrauchs im bewässerten Gemüseanbau

Die Spannweiten der Trockenzeit sind sowohl bei der Bewässerung mit Gießkanne als auch bei der Bewässerung mit Hilfe der Motorpumpen geringer. Dies kann zum einen mit unterschiedlichen zeitlichen und monetären Kapazitäten, zum anderen mit der Verfügbarkeit der Wasserressourcen erklärt werden.

Besonders bei der Bewässerung mit Gießkannen gaben 71,2% der Befragten an, dass das vorhandene Wasser für die Bedürfnisse der Bewässerung nicht ausreicht. Die ist vor allem auf die Wahl der Wasserquellen zurückzuführen. Bei der Bewässerung mit Motorpumpe, wo überwiegend der Tiefbrunnen zur Wasserversorgung genutzt wird, stellt die Wasserverfügbarkeit keinen limitierenden Faktor dar.

Offizielle Schätzungen gehen davon aus, dass eine Fläche von ca. 1730 ha für den urbanen und periurbanen Gemüseanbau angenommen werden muss. Wird der Wasserverbrauch der untersuchten Standorte dem zugrunde gelegt, würden ca. 167.397.395 m<sup>3</sup> jährlich an Wasser benötigt.

b) Große Bewässerungsanlagen



Für die großen Bewässerungs-anlagen in Malanville (siehe Foto), Koussin-Lélé, Dévé, Savé und Pobé wird ausschließlich Oberflächenwasser verwendet. Es konnte bei den Untersuchungen jedoch festgestellt werden, dass aufgrund technischer Schwierigkeiten (Defekt der Motorpumpen, keine Ersatzteile), Kapitalmangel, Managementfehler als auch pflanzenbaulicher Fehler die Bewässerung nicht immer optimal verlief. Wasser als limitierender Faktor konnte dagegen in allen Fällen ausgeschlossen werden. Die folgende Graphik verdeutlicht die für die Bewässerung benötigten Wassermengen in Relation zum Niederschlag für das Jahr 2005, am Beispiel von Malanville.

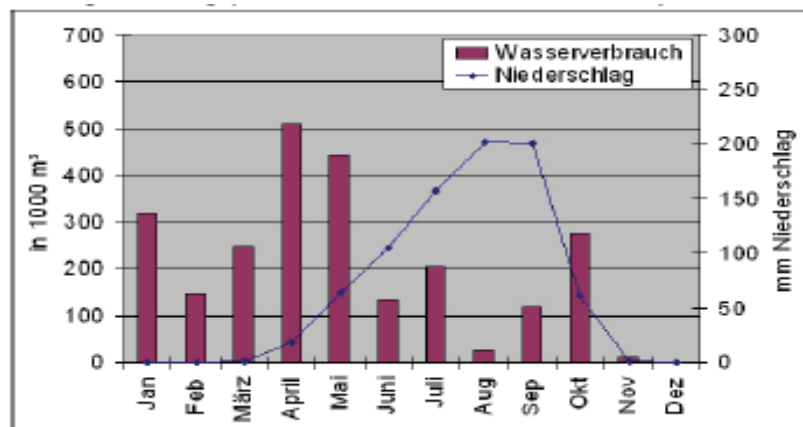


Abb. III.1.2-12: Wasserverbrauch in Malanville (im Jahr 2005) in Relation zum Niederschlag

Im August 2005, in dem 30% des Jahresniederschlages fielen, wurde kaum bewässert. Unter Hinzuziehung des Anbaukalenders (Abb. III.1.2-13) wird jedoch deutlich, dass nur unzureichend bewässert wurde, welches mit fehlenden Betriebsstoffen oder technischen Defekten begründet werden kann.

Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
V	V	V	E	B	A	V	V	V	E	B	B/A

Quelle: MAEP 2003: 37

Abb. III.1.2-13: Anbaukalender für Reis in Malanville

Vergleicht man den Wasserverbrauch in Malanville mit den zur Verfügung stehenden Wassermengen des Nigers, so macht die Wasserentnahme weniger als 1% aus (Abb. III.1.2-14).

Wasserverbrauch für das Jahr 2005 in der Bewässerungsanlage Malanville ( $m^3$ )	Wasserentnahme 2005 in % der Wassermenge des Niger	Wassermenge des Niger ( $m^3$ /Jahr)	Fließgeschwindigkeit ( $m^3$ /sec)
2.436.747	0,08	31.725.000.000	1006

Quelle: eigene Erhebung, FAO 2005a:3

**Abb. III.1.2-14:** Tatsächliche Wasserentnahme 2005 in Malanville in Relation zur Wassermenge des Niger

Somit basieren die vorherrschenden Schwierigkeiten vorrangig auf anthropogene Schwierigkeiten bzw. limitierenden monetären Mitteln, die einem optimalen Anbau entgegenstehen.

Der landwirtschaftliche Sektor steht im Mittelpunkt staatlicher Bestrebungen, die sich in Form von geplanten Bewässerungsprojekten ausdrücken. Insgesamt befinden sich 5 Projekte bzw. Programme in der Planung, wovon sich ein Programm „PAPPI“ bereits in der Durchführungsphase befindet.

Insgesamt sollen etwa 9.300 ha bewässert werden, nach der „Vison nationale de l’Eau en l’an 2025 au Bénin“ sogar 35.000 ha. Doch diese Zahl scheint nach Meinung von Experten illusorisch zu sein, da neben der Realisierung der Bewässerungsflächen die „alten“ Probleme weiter vorherrschen, welche sich in einer mangelhaften Wertschöpfungskette angefangen von Schwierigkeiten mit Boden, über Dünger, Saatgut, Pflanzenschutzmittel, Technik, Ernte, Konservierung, Lagerung, Weiterverarbeitung und die nicht zuletzt durch Probleme in der Vermarktung ausdrücken. Aufgrund der schlechten maschinellen Verarbeitung (Entschälen, Sieben, Reinigen) gilt der beninische Reis eher als minderwertige Qualität. Hinzu kommen Konkurrenzsituationen mit dem auf dem Weltmarkt importierten qualitativ hochwertigen asiatischen Reis, der im Allgemeinen von der Bevölkerung bevorzugt wird.

## 2. Grundgedanken zum sDSS

Gemäß eigenen empirischer Studien (Primärdatenerhebungen) und Vergleichstudien hängt der Wasserverbrauch in Benin überwiegend von den folgenden Determinanten ab:

Wasserzugang (Dorf, Peripherie, Stadt), dem Bevölkerungswachstum, Reichtum und Armut (welche sich durch die Zuwachsraten bei Leitungswasseranschlüssen ausdrücken), der Haushaltsgröße, Saisonalität (Verfügbarkeit) als auch staatlichen Planungsvorhaben.

Der Zensus 2002 bildet dabei die Grundlage für die Berechnungen der Szenarien, wobei die Zuwachsraten für Leitungswasseranschlüsse der letzten 10 Jahre (Zensus 1992) zugrunde gelegt wurden. Damit zeigt sich ein sehr differenziertes Bild, welches pro ID (Dorf, Quartier), Commune oder Departement wiedergegeben werden kann. Insgesamt kann jedoch nach Meinung von Experten davon ausgegangen werden, dass sich ein linearer Trend für die Anschlüsse ans öffentliche Leitungsnetz weiterhin fortsetzen wird, welches die **Abb. III.1.2-15** (Zeitraum 1993-2003) verdeutlicht.

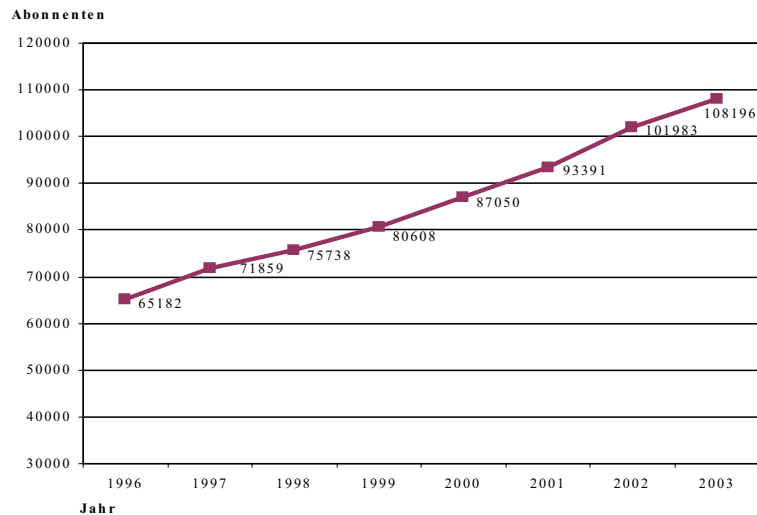


Abb. III.1.2-15: Zunahme der Abonnentenzahlen für Gesamtbenin (1993-2003)

Das zu entwickelnde sDSS ist sowohl ein Informationssystem als auch ein Entscheidungsunterstützungssystem, da dem Anwender verschiedene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen. So können z.B. die Werte der Untersuchungen räumlich und zeitlich dargestellt, jedoch durch internationale Vorgaben seitens der WHO oder der UN im Sinne von Mindestmengen verändert werden. Ebenso wäre denkbar, dass einzelne zugrunde liegende Parameter wie Saisonalität oder Haushaltsgröße durch den Anwender verändert werden könnten.

Die Grundidee zum sDSS basiert auf einer Kopplung der Zensusdaten (von 2002 und 1992) mit eigenen SPSS oder Exceldateien. Die Erkenntnisse aus den empirischen Untersuchungen (Primärdatenerhebungen) können aufgrund ihrer Repräsentativität auf die übrigen ID's aus dem Zensus übertragen werden. Dabei lehnt sich die Klassifizierung der ID's in Bezug auf den Zugang (Dorf, Peripherie, Stadt) an die gleichen Parameter an, wie sie auch innerhalb der Primärdatenerhebung getroffen wurden. Für die städtischen Haushalte wurde eigens ein Wasserindex gebildet, der in Abhängigkeit zu bestehenden Leitungswasseranschlüssen in Relation zum Wasserverbrauch eine Klassifizierung ermöglicht und damit die Werte den Klassen entsprechend zugeordnet werden können. Aus jeder Klasse wurde ein Untersuchungsstandort ausgewählt, womit insgesamt 8 Städte in die Untersuchung mit mehr als 1200 Haushalte eingingen. Da auf Dorf- bzw. Peripherieebene Konfidenzintervalle mit niedrigen Spannweiten ermittelt wurden und ähnliche Untersuchungen zu gleichen Ergebnissen kamen, bilden diese Werte ebenfalls die Berechnungsgrundlage.

Aus den Ergebnissen der Zensusdatenbank (mit mehr als 3600 ID's) lassen sich so die Erkenntnisse übertragen und durch weitere Attribute aus den Ergebnissen der Fragebögen, eigenen Untersuchungen oder Expertenwissen komplettieren.

Kat ID	Name	WV	EW	WQ (rz)	WQ (tz)	WQ (%)	HH-mitgl.	Famil. Status	Soz. Status	...
1	Parak	79	178495							
2	Djoug	87	44662							
3	Tchau	52	12737							

Abb. III.1.2-16: Beispiel einer Verknüpfung der Zensusdaten mit Primärdaten

Das Thema „Wasserverbrauch“ stößt auf sehr großes Interesse in Benin, welches durch die zahlreichen Teilnehmer beim letzten Workshop im März 2006 deutlich wurde. Dementsprechend gibt es in Benin zahlreiche Anwendergruppen, für die ein sDSS interessant sein könnte. Allen voran die staatliche Wasserbehörde (SONEB), die DGEau, die Universität (UAC/FSA), Partenariat de l'eau, CREPA, Helvetas, Danida, Weltbank, ebenso für Vertreter der Departements oder der Gemeinden.

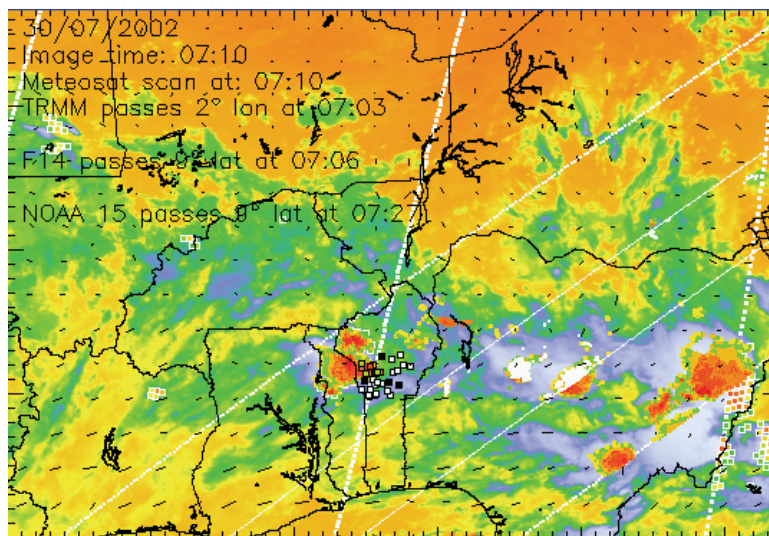
Es wird erwartet, dass die erste Version (Modul1) bis Juni 2007 vorliegt und in Benin getestet werden kann.

### **Literatur:**

Kloos 2006: Analyse der Wassernachfrage im landwirtschaftlichen Sektor in Benin und Perspektiven der Bewässerung

WHO 2003: General Comment on the right to water, Chapter 2, [http://www.int/water\\_sanitation\\_health/Documents/righttowater/righttowaterchap2.pdf](http://www.int/water_sanitation_health/Documents/righttowater/righttowaterchap2.pdf), Zugriff: 04.06.2003.

## PK Be-H.3 Satellitenbasiertes Niederschlags-Monitoring System für Anwendung in der Landwirtschaft und der Abflussvorhersage



**Abb. III.1.2-17:** Meteosat-7 Infrarotbild mit Wolkenstrukturen mit darauf projizierten Niederschlagsmessungen von CATCH/IMPETUS Bodenstationen und passiven Mikrowellensensoren von TRMM, DMSP, und NOAA Satelliten

### Problemstellung

Die geringe Dichte, späte Verfügbarkeit, und oft niedrige Qualität der Niederschlagsmessungen in Westafrika stellt ein erhebliches Problem für die flächendeckende Abschätzung von Niederschlag dar. So ist eine Echtzeitdiagnose oder eine Erstellung von täglichen flächendeckenden Niederschlagskarten wegen der statistischen Eigenschaften konvektiver Niederschläge allein durch Stationsmessungen nicht möglich. Existierende satellitenbasierte Niederschlagsprodukte sind durch die Ausrichtung auf die globale oder kontinentale Skala und Klimatologie zu grob aufgelöst, haben auf räumlich und zeitlich kleiner Skala eine niedrige Qualität, und werden deshalb für quantitative Anwendungen von nationalen Institutionen kaum verwendet. Ursache hierfür ist die regionale und zeitliche Abhängigkeit von systematischen Fehlern, die in global adaptierten Algorithmen außer acht gelassen werden müssen. Es wird daher ein Monitoring-System benötigt, welches Stakeholdern in Benin ein Echtzeit-Monitoring ermöglicht und die Menge sowie die Variabilität des Niederschlags für planerische Maßnahmen und auch wissenschaftliche Zwecke brauchbar wiedergibt.

### Mitarbeiter

**Malte Diederich, Christina Mohr**

### Zielsetzung

Die Arbeiten des Jahres 2006 konzentrierten sich hauptsächlich auf die Erstellung längerer Zeitreihen von Niederschlagsprodukten, um das Monitoring-Schema zu validieren, kalibrieren, und deren Verwendung in Benin vorzubereiten.



Außerdem wurden zusätzliche Module für das Monitoring-Schema erstellt, die eine automatische Qualitätskontrolle und Bewertung der Bodenstationen vor deren Einbindung in das kombinierte Satelliten/Stations-Niederschlagsprodukt vollziehen.

Die Vorbereitung für die Installation des Systems in Benin hat schon dieses Jahr begonnen, da diese wegen des großen Interesses der Direction Météorologique Nationale (DMN) schon in den Oktober 2007 vorgezogen werden soll. Während eines Aufenthaltes in Cotonou im Januar 2006 (und später Januar 2007) wurden die technischen Aspekte der Implementierung des Systems auf Basis des METEOSAT-8 Empfängers mit den Betreuern an der ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar) und DMN geklärt.

Eine Validierung und nachträgliche Anpassung der Extremereignisse und räumlichen/zeitlichen Variabilität der Niederschlagskomponente des REMO-Wettergenerators (Regionale Klimamodell Läufe und statistisches Downscaling von Prof. Heiko Paeth) wurde anhand der Monitoring-Niederschlagsdaten und Niederschlagsklimatologie vollzogen. Die „virtuellen Stationsmessungen“ des Wettergenerators wurden mit derselben Methodik wie die Niederschlagsklimatologie zu flächendeckenden Niederschlagsfeldern (Monats- und Dekadensummen) verarbeitet, um Projektpartnern in sich konsistente Niederschlagsdatensätze von wirklichen Messungen und Klimamodelldaten bereitzustellen.

### **Modellierung**

Die Modellierung bezieht sich nicht auf Szenarien da es sich um ein Monitoring-Tool handelt, sondern umfasst ein System von Modulen, das mehrere Datenquellen koppelt, um verschiedene Niederschlagsprodukte zu erzeugen. Diese wurden auf die nötigen Anforderungen zugeschnitten, um sie später direkt in Anwendungen der Landwirtschaft und Hydrologie einbinden zu können.

Das Basismodul verarbeitet die am Meteosat-Empfänger ankommenden Infrarotbilder mit dem von IMPETUS entwickelten Algorithmus zu Niederschlagsschätzungen. Diese können direkt per Internet für Nutzer von der DMN zur Verfügung gestellt werden. Ein Morphing-Modul zur Kopplung der geostationären Infrarotbilder mit Niederschlagsschätzungen von satellitenbasierten passiven Mikrowellensensoren ist ebenfalls fertig gestellt und kann hinzugeschaltet werden wenn diese Daten per Internet zur Verfügung stehen. Außerdem werden die Niederschlags- und Rohdaten in reduzierter Form (Ausschnitt um Benin) archiviert, um sie dann mit später eintreffenden Bodenmessungen zu verschneiden. Hier wird zuerst eine automatisierte Konsistenzanalyse durchgeführt, um fehlerhafte Bodenmessungen zu erkennen, und dann ein hochwertiges kombiniertes Niederschlagsprodukt zu generieren. Die Bodenmessungen werden zusätzlich in die monatliche Niederschlagsklimatologie eingebunden, die einen homogenen Datensatz von 1921 bis zur Gegenwart darstellt. Für die verschiedenen Anforderungen bei den Nutzern (kleinster quadratischer Fehler oder genaue Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung, bestimmte Datenformate/Datenumfang, zeitliche/räumliche Auflösung) werden dann angepasste Produkte erstellt.



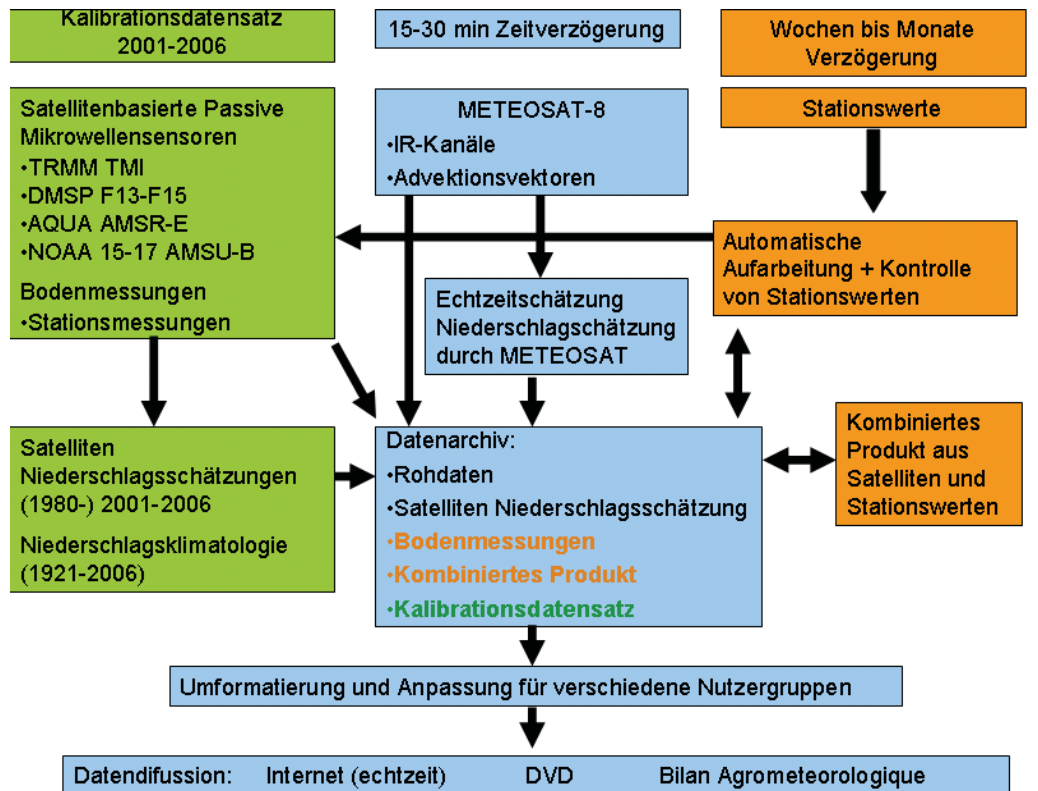


Abb. III.1.2-18: Struktur des Monitoringsystems

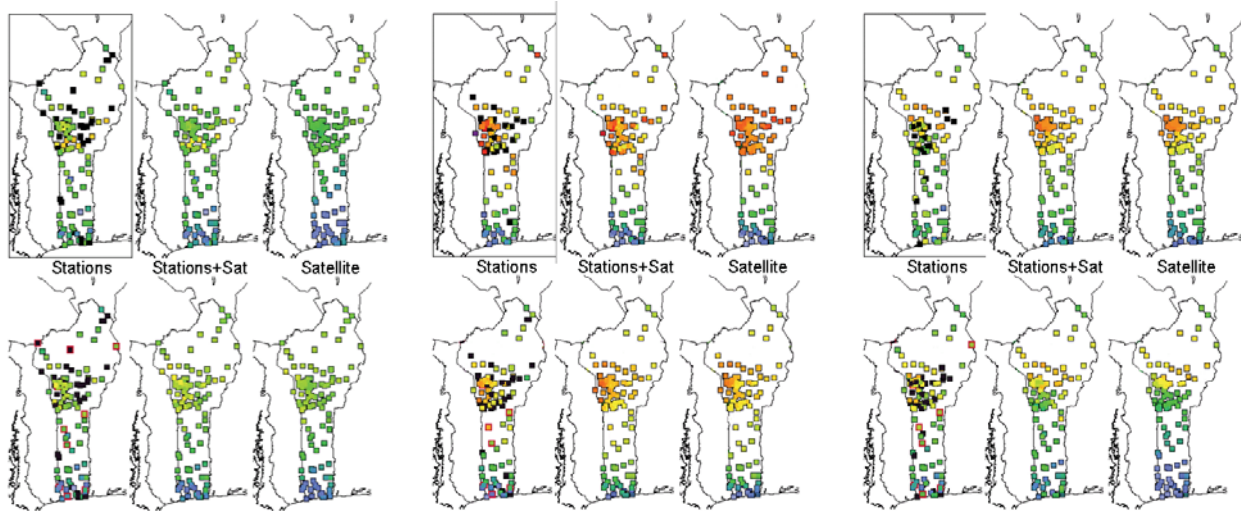
### Stand der bisherigen Arbeiten

Die Module zur Berechnung von Niederschlagsfeldern sind in quasi-operationeller Form soweit fertig gestellt, dass Zeitreihen der 3 Niederschlagsprodukte (reine Satellitenschätzung, kombinierte Stations-/Satellitenschätzung, Niederschlagsklimatologie) hergestellt werden können sobald die nötigen Daten angeschafft wurden. Zur Vorbereitung einer ausgiebigen Validierung (bzgl. kleinster quadratischer Abweichung, systematischem Fehler, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, Wiedergabe von interannueller Variabilität) und Korrektur von systematischen Abweichungen wurden die Regenzeiten 2002 bis 2005 berechnet. Die Daten (Meteosat 7/8 Infrarotbilder, Niederschlagsschätzungen aus passiven Mikrowellensensoren) wurden auch für die Trockenzeiten beschafft und werden derzeit verarbeitet.

Die vorher manuell realisierte Filterung von fehlerhaften Bodenmessungen wurde in einem Algorithmus automatisiert, der paradoxe Bodenmessungen anhand von Vergleichen mit Satellitendaten sowie benachbarten Stationen erkennt.

Zur Vorbereitungen der Installation des Systems bei der DMN/ASECNA in Cotonou wurde die Einbindung des Systems in die Aktivitäten der DMN und die technischen Details dazu mit den Verantwortlichen besprochen.

### Erstellung und Validierung von Niederschlagsfeldern



**Abb. III.1.2 -19a:** Niederschlagssummen (oben) und Anzahl der Regentage (unten) von Bodenmessungen (links), Satellitenprodukt an Stationsorten (rechts) und kombiniertem Produkt (Mitte) für Juni-September 2002

**Abb. III.1.2 -19b:** Niederschlagssummen (oben) und Anzahl der Regentage (unten) von Bodenmessungen (links), Satellitenprodukt an Stationsorten (rechts) und kombiniertem Produkt (Mitte) für Juni-September 2003

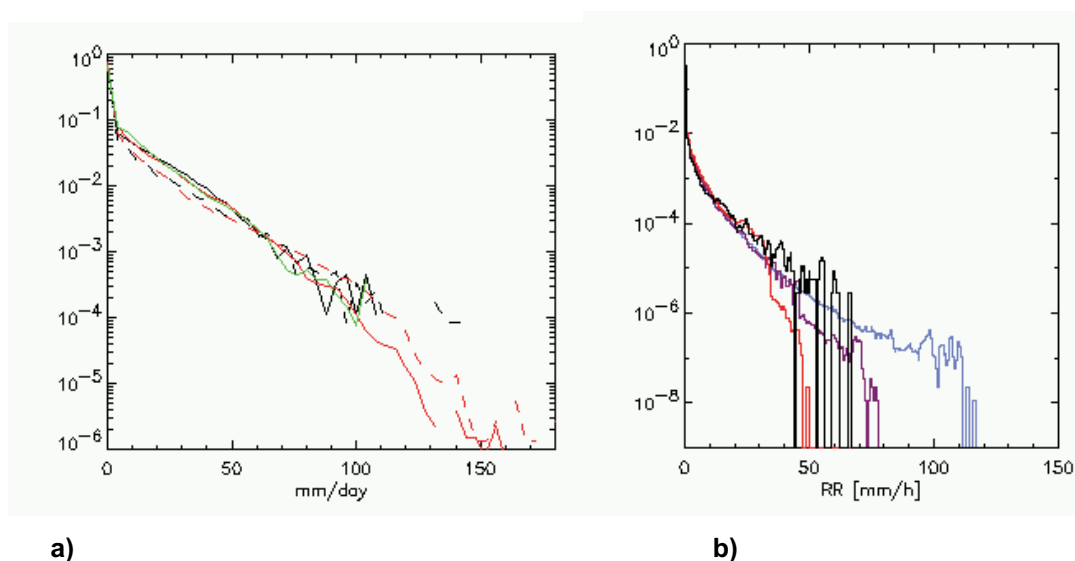
**Abb. III.1.2 -19c:** Niederschlagssummen (oben) und Anzahl der Regentage (unten) von Bodenmessungen (links), Satellitenprodukt an Stationsorten (rechts) und kombiniertem Produkt (Mitte) für Juni-September 2004

Die fertig gestellten Morphing- und Probability-Matching-Kopplungsalgorithmen wurden auf METEOSAT Infrarotbilder und Niederschlagsschätzungen von passiven Mikrowellensensoren angewendet, um Niederschlagsfelder in 6 km und 30 Minuten Auflösung zu generieren. Die hier gezeigten Vergleiche mit Bodenstationen beziehen sich auf die Monate Juni bis September der Jahre 2002 bis 2004. Bis zum Ende des Jahres 2006 sind jedoch alle nötigen Daten durchgängig von 2001 bis Oktober 2006 von einer SHK beschafft und ungefähr 70% davon zu Niederschlagsfeldern verarbeitet worden.

Einige der Vergleiche mit Bodenstationen sind in den **Abbildungen III.1.2-19 bis 23** gezeigt. Die Satellitenschätzungen zeigen eine gute Wiedergabe der interannuellen Variabilität der Niederschlagssumme sowie der Anzahl der Regentage (**Abb. III.1.2 -19a-b**). Die räumliche Verteilung ist ebenfalls gut wiedergegeben, es ist jedoch eine leichte systematische Unterschätzung des Niederschlags in Küstennähe zu sehen. Diese ist die Folge eines bekannten Problems der Mikrowellenalgorithmen beim Übergang vom Land- auf den See-Algorithmus. Da dieses ein von Jahr zu Jahr konstanter Fehler ist, kann er nachträglich durch Kalibrierung anhand der Bodenmessungen kompensiert werden. In derselben Abbildung sind Abweichungen von einzelnen Stationen zu sehen, welche durch die schlechtere Wiedergabe oder räumliche Verschiebung von Extremereignissen in der Satellitenschätzung entstehen.

In **Abb. III.1.2-20a** und **b** sind die Wahrscheinlichkeitsdichten von täglichen und 30-minütigen Niederschlagsmessungen durch Bodenstationen und Satelliten zu sehen. In der Wahrscheinlichkeitsdichte der

täglichen Akkumulationen ist zu erkennen, dass auch die Veränderung der relativen Häufigkeit der Tagesniederschläge zwischen 10 und 50 mm von Nord nach Südbenin von den Satellitendaten wiedergegeben wird. Für die Regenraten in 30 Minuten Auflösung (zeitliche Auflösung des Monitoringtools) ist zu erkennen, dass die relative Häufigkeit der Regenraten über 35 mm/h im Satellitenprodukt nicht richtig wiedergegeben wird. Dies liegt an den unterschiedlichen Maximalschwellwerten und räumlichen Auflösungen der in die Kalibrierung eingehenden passiven Mikrowellensensoren. Für Anwendungen, die eine richtige Wiedergabe der Wahrscheinlichkeitsdichten benötigen, ist es jedoch möglich, mit einer durch Probability-Matching (zwischen Bodenmessungen und Satellitenschätzungen in gleicher Auflösung) erstellten zeitlich konstanten Look-Up Tabelle die Wahrscheinlichkeitsdichten aller Regenraten anzupassen. Die Überprüfung der Wahrscheinlichkeitsdichte der Regenraten war bis jetzt nur im HVO möglich, da die Daten zeitlich höher aufgelöster Synop-Stationen erst bis Mitte 2007 fertig verarbeitet sein werden.



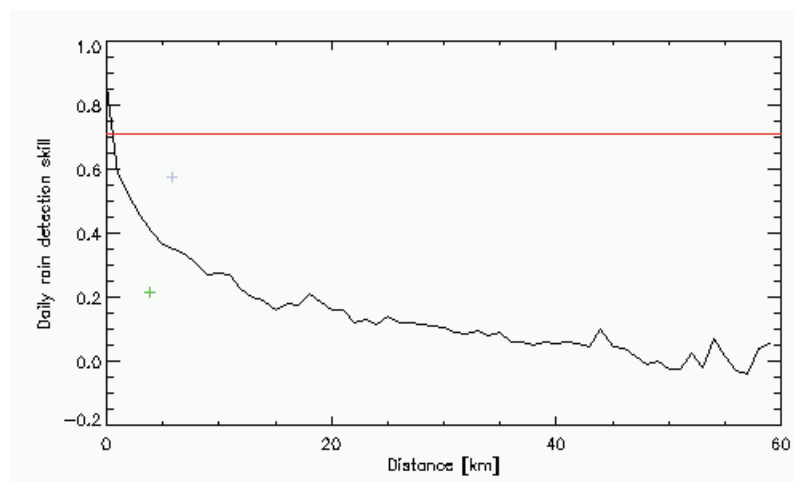
**Abb. III.1.2-20a:** Wahrscheinlichkeitsdichten von täglichen Akkumulationen in Benin. Die durchgezogenen Linien zeigen Schätzungen nördlich von  $8.5^\circ$  lat, die gestrichelten südlich von  $8.5^\circ$  lat. Schwarze Linien zeigen BDMET-Bodenmessungen, grüne CATCH/IMPETUS Bodenmessungen und die roten Satellitenschätzungen. 90% des Gesamtniederschlags wird von Tagessummen unter 65 mm gebildet.

**Abb. III.1.2-21b:** Wahrscheinlichkeitsdichten von Regenraten in 30-minuten Auflösung im HVO-Gebiet. Die schwarze Linie zeigt Bodenmessungen, die rote Satellitenschätzungen und die blaue das kombinierte Stations/Satellitenprodukt. Die violette Linie zeigt die Satellitenschätzungen, die mit Probability-Matching und zeitlich konstanter Look-Up Tabelle transformiert wurden. 90% des Gesamtniederschlags wird von Regenraten unter 35 mm/h gebildet (30-minütige und 6 km x 6 km Auflösung).

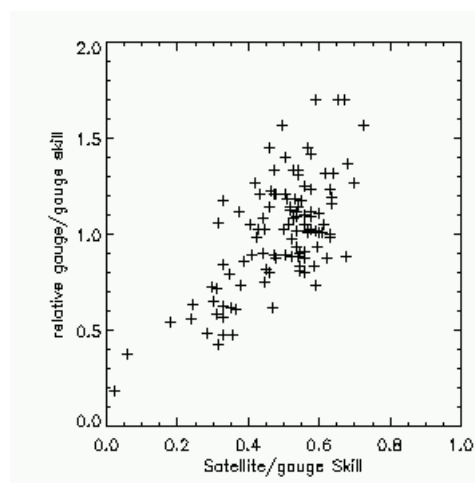
### *Automatisierung der Qualitätskontrolle von Bodenmessungen*

Da viele der Bodenmessungen von sehr niedriger Qualität sind, ist es nötig, sie vor Verwendung zu überprüfen, was manuell aber sehr problematisch und langwierig sein kann. Darum musste für die Verarbeitung der langen Zeitreihen ein objektives quasi-automatisiertes Verfahren entwickelt werden, welches sich auch problemlos in das Monitoring-Schema integrieren lässt.

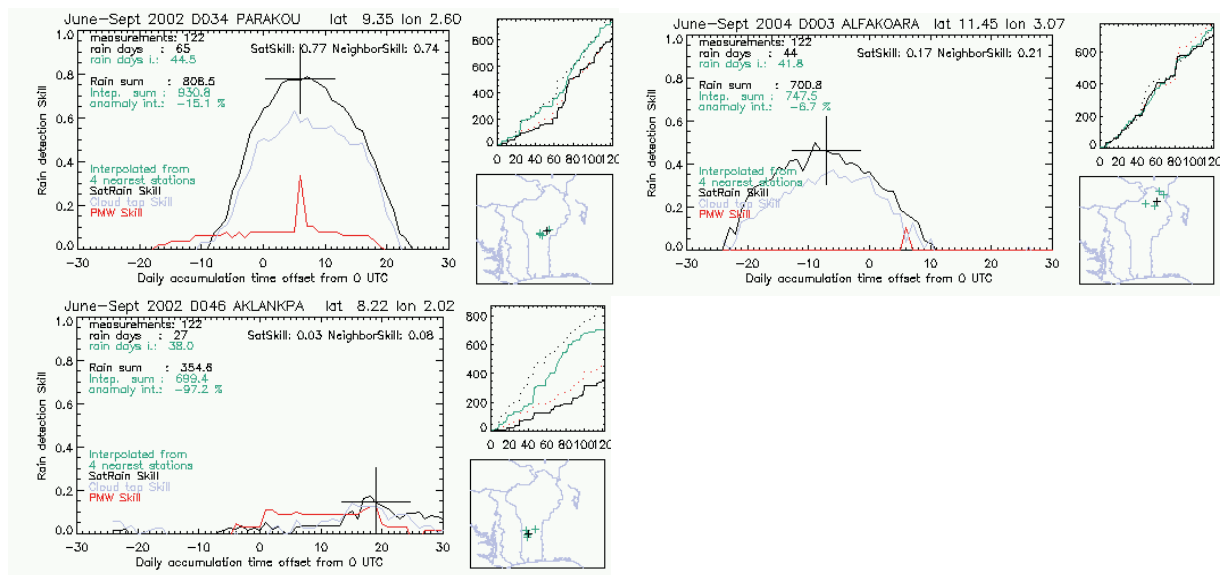
Wegen der hohen räumlichen Variabilität und statistischen Eigenschaften der täglichen Niederschlagsmengen hat sich der Heidke-Skill-Score (HSS), berechnet über die Tageswerte von 2 bis 4 Monaten mit 3 mm als ja/nein Schwellwert für Regenerkennung, als verlässlichstes Qualitätskriterium erwiesen. Der HSS wurde von Satellit gegen Station sowie von Station gegen die beiden nächstgelegenen Stationen berechnet. Das letzte musste gegen den mittleren HSS als Funktion der Distanz normiert werden, da dieser sich wegen der räumlichen Variabilität des Niederschlags mit steigender Distanz zwischen 2 Stationen schnell verringert (**Abb. III.1.2-21**). Die Übereinstimmung der beiden Skill-Scores in **Abb. III.1.2-22** gibt ein Maß für die Güte der Qualitätsbewertung.



**Abb. III.1.2-21:** Schwarze Linie Mittlerer Heidke-Skill-Score (HSS) zwischen 2 Stationsmessungen als Funktion der Distanz für einen 3 mm Schwellwert. Rote Linie: HSS zwischen einer qualitativ guten Station und Satellitenschätzungen. Grünes und blaues Kreuz: HSS dieser Station gegen die 2 nächsten Stationen (grüne Station ist qualitativ schlecht).



**Abb. III.1.2-22:** HSSs der einzelnen Stationen, einmal berechnet gegen die Satellitenschätzung, und gegen die beste der 2 nächsten Stationen, geteilt durch den mittleren HSS als Funktion der Distanz.



**Abb. III.1.2-23:** Beispiele der automatisch erstellten Qualitätsbilanzen die zur erleichterten manuellen Filterung dient. Für jede Station zeigen die 3 Fenster: Links: Vergleichsmaße der Station gegen Satellit und andere Stationen, die schwarze Linie ist der HSS der Station gegen Satellit bei verschiedenen angenommenen Akkumulationsphasen (6 UTC ist Soll-Zeit). Rechts oben: Schwarze Linie: Akkumulierter Niederschlag der Station in mm, gepunktete Linie: Akkumulierter Niederschlag der Satellitenschätzung, grüne Linie: Akkumulierter Niederschlag der Nachbarstationen. Rechts unten: Lage der Station (schwarzes Kreuz) und der Nachbarstationen (grüne Kreuze)

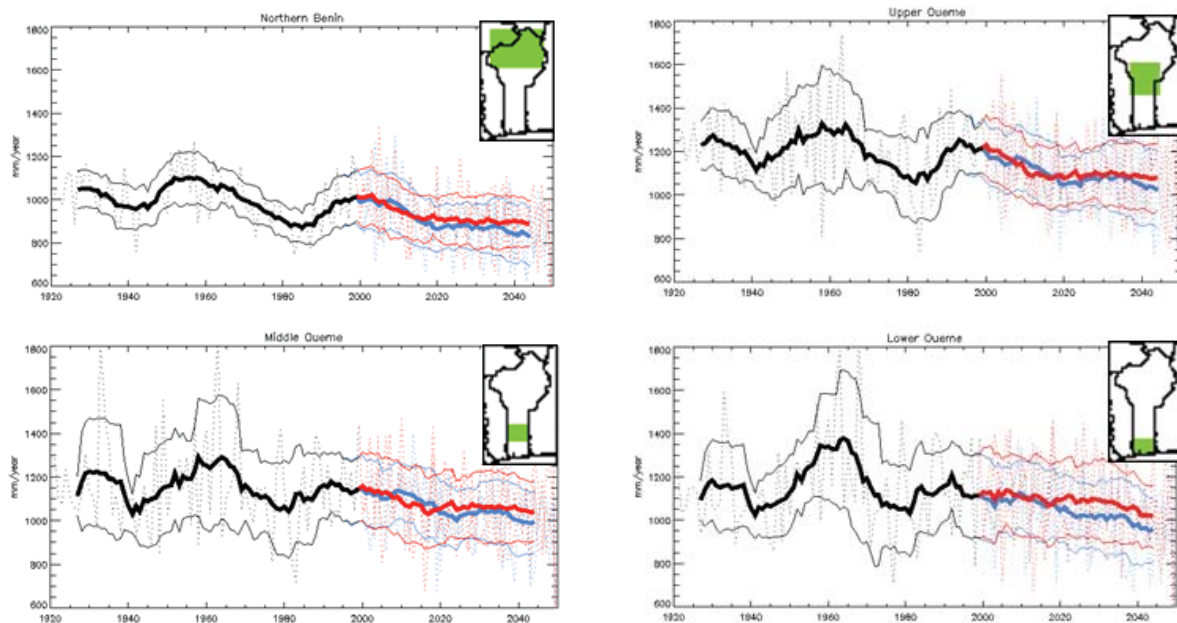
Aus diesen Qualitätsmaßen (sowie weiteren, wie z.B. quantitativen Abweichungen) werden automatisch grafische Qualitätsbilanzen erstellt, die einen einfachen Überblick über die Messungen geben. In **Abb. III.1.2-23** sind als Beispiele eine qualitativ gute Station (Parakou), eine qualitativ gute mit falscher täglicher Akkumulationszeit (Alfakoara, Akkumulationen von 16 bis 16 UTC des Vortags anstelle 6 UTC), und eine qualitativ nicht brauchbare Station (Aklankpa) zu sehen.

Neben dieser generellen Qualitätskontrolle der Station findet noch eine Identifizierung paradoxer Messungen auf Tagesbasis statt (z.B. angeblicher Regen wenn keine Wolke da war oder angeblich kein Regen wenn die Wahrscheinlichkeit dafür sehr hoch liegt). Diese geht in digitaler Form in das Merging-Schema zum Generieren von Niederschlagsfeldern ein.

### ***MOS-Korrektur des Wettergenerators und Generierung von Niederschlagsklimatologien aus virtuellen Stationen***

Wegen den Erfahrungen mit Validierung, Kalibrierung, und Erstellung von Niederschlagsklimatologien, sowie der Notwendigkeit von konsistenten Modell- und Messdaten wurde die Niederschlagskomponente des REMO-basierten Wettergenerators mit Daten und Methoden des Niederschlags-Monitoring angepasst. Hierbei wurden die Probability-Matching Komponenten des Wettergenerators mit dem Fit einer Pareto-Verteilung ergänzt, um Extremwerte besser wiederzugeben. Außerdem wurde das statistische Downscaling durch einen Zufallsgenerator so modifiziert, dass die räumliche Variabilität der gemessenen Niederschlagsfelder widerspiegelt wird.

Die virtuellen Stationen wurden dann mit den Algorithmen der IMPETUS-Niederschlagsklimatologie in flächendeckende Niederschlagsfelder umgewandelt, um einen konsistenten Übergang von Messungen zu Modelldaten für Projektpartner zu gewährleisten. Als Beispiel hierfür ist **Abb. III.1.2-24** gegeben.



**Abb. III.1.2-24:** Zeitreihe von Niederschlagsdaten ausgehend von Messungen und REMO-Wettergenerator Daten, interpoliert durch Algorithmen der IMPETUS-Niederschlagsklimatologie, flächengemittelt über die grün markierten Regionen. Dicke Linien: Gleitendes Mittel über 11 Jahressummen; Dünne Linien: Gleitendes Mittel  $\pm$  der Varianz der 11 Jahressummen; Gestrichelte Linien: Einzelne Jahressummen; Schwarz: Ausgehend von Bodenmessungen; Blau: Ausgehend von Klimaszenario A1b + starke Landnutzungsänderung gemäß der FAO; Rot: Ausgehend von Klimaszenario B1 + schwächere Landnutzungsänderung der FAO

### **Zusammenarbeit mit externen Organisationen**

Das Niederschlagsmonitoring wurde dem Leiter des nationalen Wetterdienstes, Francis Dide, während seines Besuchs in Köln im Spätsommer vorgestellt. Die Installation wurde für Oktober 2007 vereinbart und die wichtigsten technischen Aspekte mit den Betreuern des Meteosat-8-Empfängers (Wilfred Adjovi, Gabriel Zannou von der ASECNA) geklärt. Weiterhin wurde mit dem Centre Climatologique der DMN (Epiphane Ahlonssou) die Zusammenarbeit in der Betreuung des Monitoringsystems vereinbart, und die Einbindung in den Bilan Agrométéorologique besprochen (Tohio Denis und Flore Rokko).

Die verfügbaren Daten wurden mehreren Stakeholdern und Forschungsinstituten vorgestellt, um den Datenempfang/Verarbeitung oder Mitwirkung am Monitoringsystem zu planen:

- Direction Générale de l'Eau (Arnaud Zannou, Aurelien Tossa).
- Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage, et de la Pêche MAEP (Gilbert Ahouassou)
- Ministère de la Défense Nationale MDN (Prof. Houndagba)
- Institut National pour la Recherche Agricole au Bénin INRAB (Dr. Attanda Iqué)



- Faculté des Sciences Agricoles FSA (Prof. Sinsin, Prof. Aho)
- Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications CIPMA (Prof. Hounkonnou)
- Faculté des Sciences et Techniques FAST (Prof. Houngninou)

Die Zusammenarbeit mit EUMETSAT und dem DWD im Rahmen eines Research Fellowship (Aynur Bozoglu, Thomas Heinemann, Bruno Rudolf) zur Erstellung und Validierung des Advanced Multisensor Precipitation Estimate (AMPE) am Meteorologischen Institut der Universität Bonn wurde fortgesetzt.

Das IMPETUS Niederschlagsprodukt für Westafrika wurde der International Precipitation Working Group (IPWG) vorgestellt. Dabei wurde die Fortsetzung der Zusammenarbeit in der Validierung auf dem westafrikanischen Gebiet mit Michel Dubois (Precip-AMMA) und AGRHYMET geplant.

Die Zusammenarbeit mit IRD und AMMA bezüglich der MRR und XPORT Radarmessungen von 2006 hat durch Daten- und Methodenaustausch begonnen (Marielle Gosset, Eric-Pascal Zahiri). Es wurde vereinbart, dass IMPETUS mit den beschriebenen Methoden zur Kreuzvalidierung die zeitlich hoch aufgelösten Synop-Regenaufzeichnungen (6 Stationen, 1954 bis 2006) aufarbeiten wird, um deren Qualität zu steigern und die Einbindung in die Aktivitäten zu ermöglichen.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, Christoph Schillings) überprüft, ob sie IMPETUS einen homogenen Datensatz von Meteosat Infrarotbildern in einem Fenster um Benin liefern kann, der von 1980 bis 2006 reicht. Damit könnte mit den bestehenden Methoden eine tägliche, qualitativ hochwertige Niederschlagsklimatologie erstellt werden, die von sehr großem Wert für alle internen und externen Projektpartner ist.





### III.1.3 Landnutzung

#### PK Be-L.1 Landnutzung und Landbedeckungsänderungen im Ouémé-Einzugsgebiet: Erfassung, Ursachen, Prognosen, Maßnahmen



Landwirtschaftliche Felder in der Nähe von Wari-Maró

#### **Problemstellung**

Innerhalb des hydrologischen Kreislaufes ist die Landnutzung / Landbedeckung bekanntlich ein wichtiger Schlüsselparameter. Damit repräsentiert die Landnutzung und deren raumzeitlichen Veränderung einen wichtigen Inputfaktor für unterschiedliche Modelle anderer Problemkomplexe.

Die im Untersuchungsgebiet beobachteten großflächigen Veränderungen der Landnutzung wurden mit Hilfe fernerkundlicher Methoden erfasst und quantifiziert. Auf der Grundlage dieser Datengrundlage wurden umfassende Modellierung zukünftiger Szenarien der Landnutzungsänderung in unterschiedlichen räumlichen Skalen durchgeführt.

#### **Mitarbeiter**

**Hans-Peter Thamm**, Michael Judex, Vincent Orekan, Claudia Hiepe, Zhixin Deng

#### **Zielsetzung**

Innerhalb des PK Be-L.1 soll für unterschiedliche Szenarien die Landnutzung räumlich explizit modelliert werden. Dabei werden unterschiedliche räumliche Auflösungen und Fragestellungen einbezogen. Die Ergebnisse werden als Input von anderen Problemkomplexen (PK Be-E.2; PK Be-

E.4; PK Be-H.1; PK Be-L.3) verwendet und bilden die Grundlage für ein DSS zur Landnutzungs-evaluation und -planung.

### Modellierung

Zur Berechnung von Landnutzungsszenarien wird eine Modellkette aufgebaut, basierend auf der Analyse von Landnutzungsveränderungen und der dafür verantwortlichen „*driving forces*“. Um den unterschiedlichen maßstabsabhängigen Prozessgefügen gerecht zu werden, werden unterschiedliche Modelle verwendet:

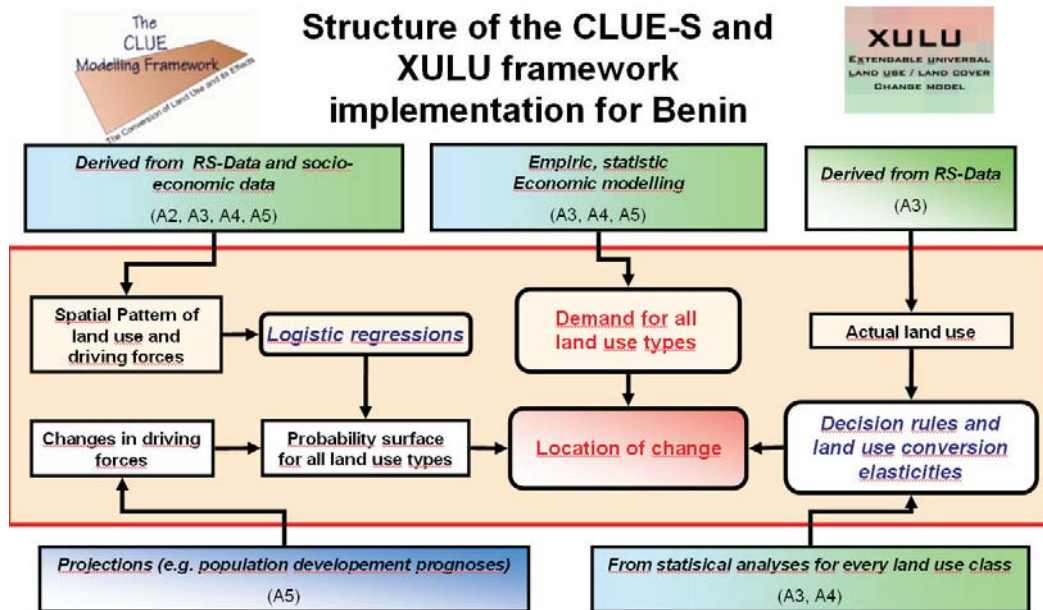


Abb. III.1.3-1: Struktur des Landnutzungsänderungsmodell (verändert nach Verburg, 2002)

Für die kleinmaßstäbliche Modellierung des oberen Ouémé-Einzugsgebietes und des gesamten Einzugsgebietes wird XULU (eine dynamische Modellierungsplattform, eine eigene Entwicklung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik Bonn) verwendet, bei der Modellierung im lokalen Maßstab kommt CLUE-S zum Einsatz. Die Modelle verfahren nach einem statistisch-dynamischen Ansatz. Auf lokaler Ebene wird mit Agenten-basierten Ansätzen gearbeitet. Da die Ausprägung der Landbedeckung / Landnutzung integral ist, werden vielfältige Parameter von den unterschiedlichen Fachdisziplinen benötigt. Von besonderem Interesse sind demoskopische Daten, Angaben zur Landbewirtschaftung sowie Informationen bezüglich zu erwartenden Klimaänderungen.

### Stand der bisherigen Arbeiten

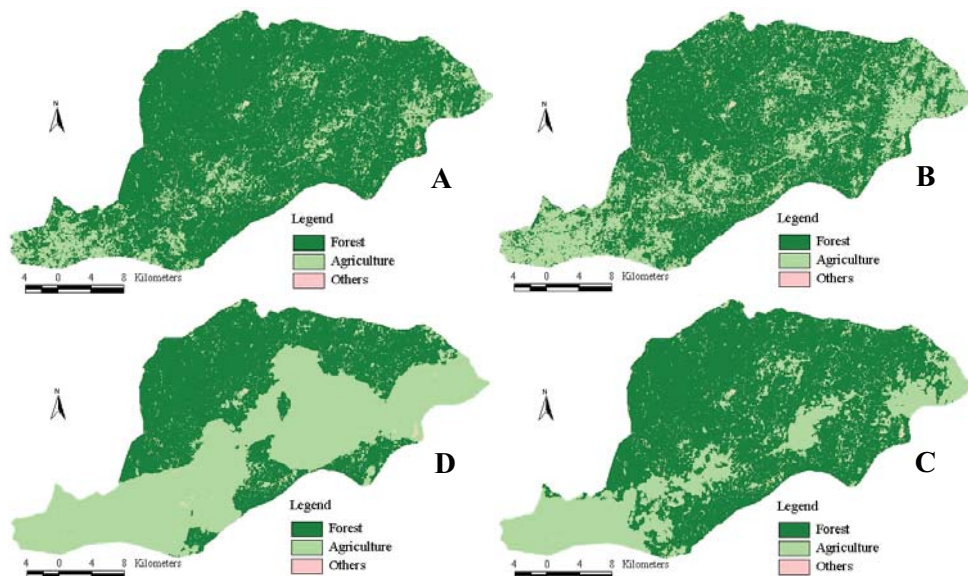
Die Arbeiten im **PK Be-L 1** standen im Zeichen der Szenarienerstellung und Umsetzung in räumlich explizite Landnutzungsmodelle. Besonderes Augenmerk wurde auf die Kalibrierung und Validierung beider Modelle gelegt. Teile der hierfür notwendigen Arbeiten auf lokaler Ebene wurden in Form einer Promotion abgeschlossen.

Des Weiteren wurden bestehende Kontakte in verschiedenen Kooperationsbereichen ausgebaut und neue Kontakte im Hinblick auf die 3. Projektphase geknüpft. Hierbei wurde in besonderem Maße

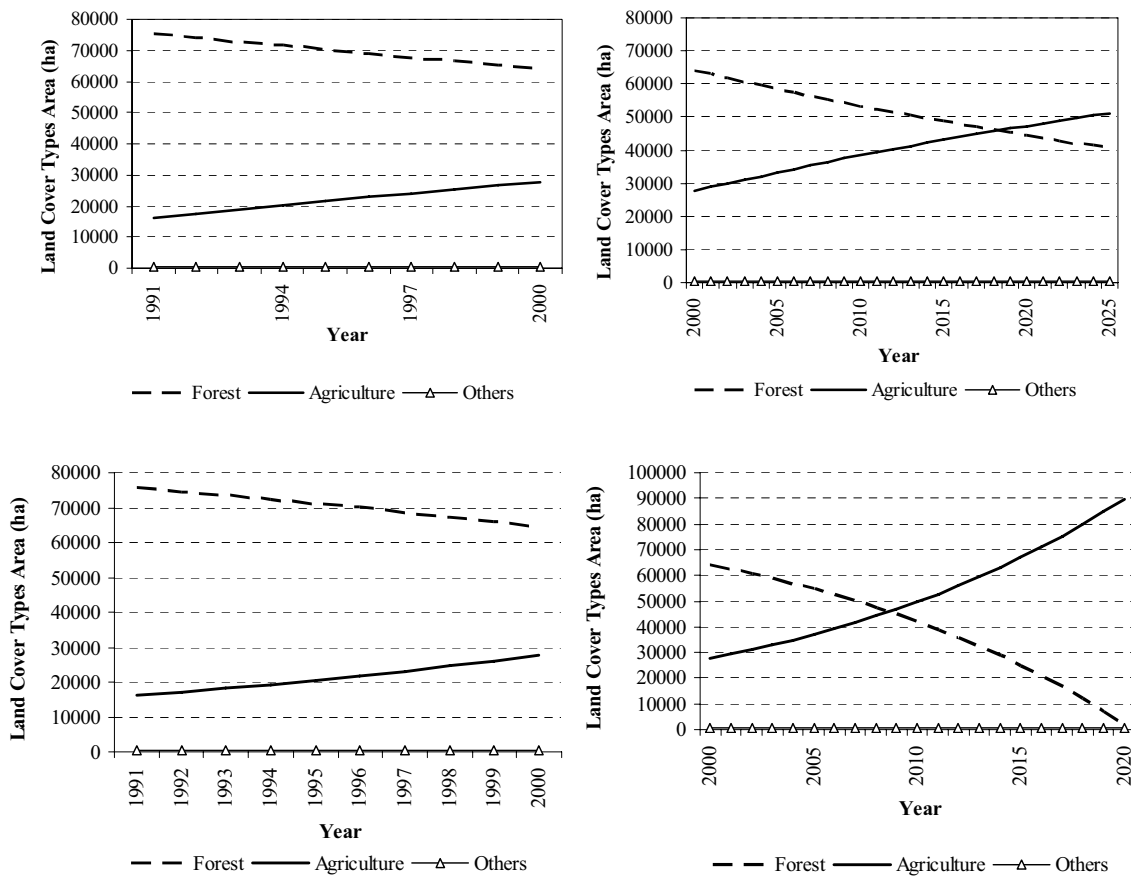
die Anforderungen an die DSS („decision support systeme“) evaluiert und die notwendigen technischen Grundlagen und Schnittstellen definiert.

### *Modellierung der Landnutzung/Landbedeckung (lokal)*

Für die Modellierung der Landnutzung auf lokalem Maßstab wurde ein Untersuchungsgebiet zwischen Ouberou und Bassila im südlichen HVO ausgewählt, das den Bereich der 1997 neu angelegten Piste abdeckt. Zum Verbesserung des Prozessverständnisses sowie zum Erhalt einer belastbaren Datengrundlage wurden eigene sozio-ökonomische Erhebungen durchgeführt. Mit dieser Datengrundlage wurden in dem Testgebiet die möglichen Auswirkungen einer fortschreitenden Agrarkolonisation mit der CLUE-S Ansatz berechnet. Simuliert wurde mit drei relevanten Landnutzungs-klassen. Ein erster Modelllauf von 1991 bis 2025 zeigt für die Kalibrierungsperiode 1991 – 2000 eine gute Übereinstimmung (90%) zwischen dem Modellergebnis und der realen Situation wie sie aus Satellitenbildern abgeleitet wurde. Mit einem statistischen Modell wurden die Antriebskräfte der Landnutzung quantifiziert, wobei nur fünf von sieben Faktoren statistisch signifikant sind ( $p < 0.01$ ). Es wurden zwei Szenarien modelliert: ein „business as usual“ (A) und ein „environmental damage“ (B) Szenario. Für das A-Szenario wird von einem linearen Zuwachs der landwirtschaftlichen Fläche ausgegangen, wie es bis 1997 in dieser Region beobachtet wurde. Das B-Szenario nimmt einen exponentiellen Zuwachs an, entsprechend dem starken Wachstum der Bevölkerung in den betreffenden Dörfern. Bei einer Fortschreibung der Zunahme der landwirtschaftlichen Flächen von 6% p.a. werden schon 2020 alle Wälder des Untersuchungsgebietes verschwunden sein (**Abb. III.1.3-2**).

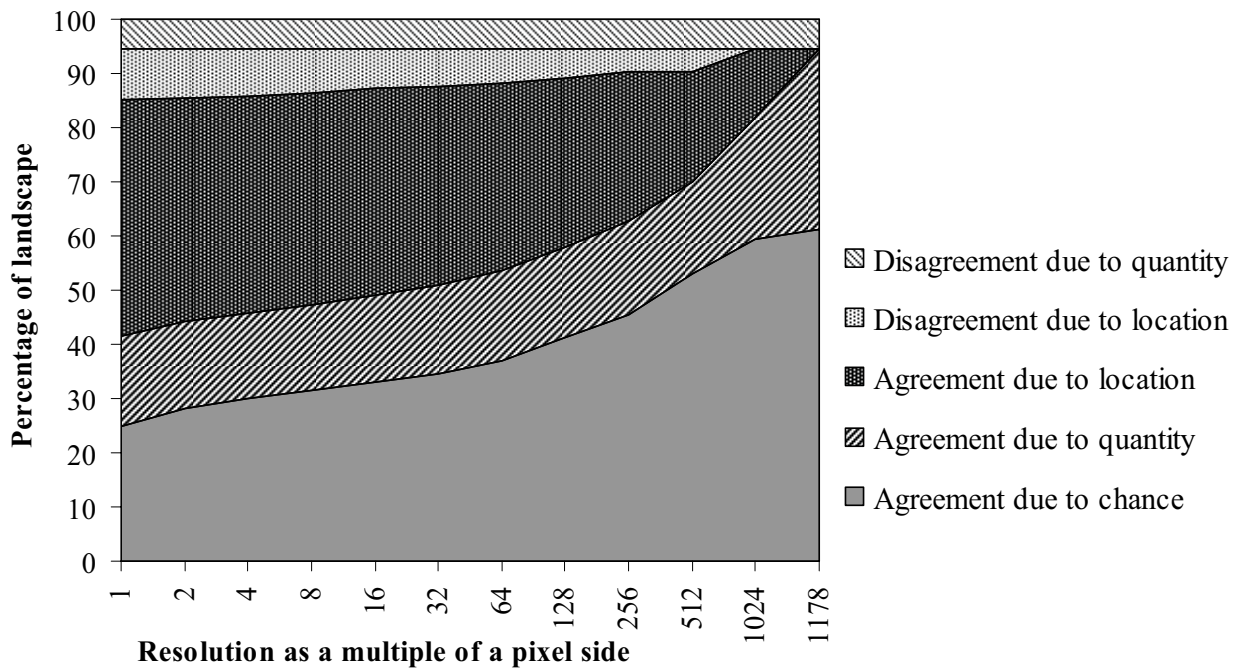


**Abb. III.1.3-2:** Land-use real (1991, 2000) and simulated with CLUE-S (2000 and 2025) for the IMPETUS scenario A in the study area; A: Land-use real in 1991(left on top); B: Land-use real in 2000 (right on top); C: Simulated land-use in 2000 (bottom right); D: Simulated land-use in 2025 (bottom left)



**Abb. III.1.3-3:** Development of different land-cover types from 1991 to 2000 (left) and demands for the two different IMPETUS scenarios. Upper right business as usual scenario lower from 2000 to 2025, lower right scenario for higher population growth and less protection of the resources in the catchment (IMPETUS scenario B3)

Mittels eines multiskaligen accuracy assessment wurde für unterschiedliche räumliche Auflösungen die Genauigkeit des Modells für das Validierungsjahr 2003 ermittelt. Obwohl schon eine gute Genauigkeit (83%) für das Simulationsergebnis für die Basisauflösung (32m x 32m) erreicht wird, kann der verbleibende Fehler durch räumliche Misallokation erst bei einer 1024fachen Auflösung vermieden werden. (**Abb. III.1.3-4**)



**Abb. III.1.3-4:** Components of agreement and disagreement between the reference map of 2003 and the predicted map of 2003

### *Modellierung der Landnutzung/Landbedeckung (regional)*

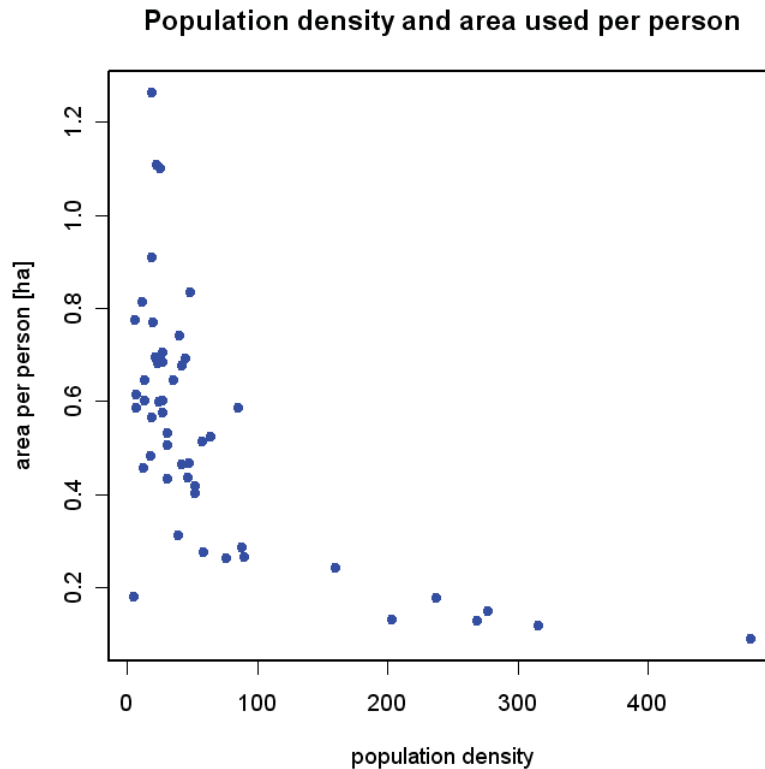
Auf der regionalen Skala kam zum ersten Mal das „XULU-framework“ (Schmitz, 2006; Thamm et al. 2007) zum Einsatz, mit dem verschiedene Landnutzungsszenarien für 2025 für das HVO berechnet wurden. XULU ist eine Java-Modellierungsplattform, die in Rahmen von IMPETUS in Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik der Universität Bonn entwickelt wurde. Mit Xulu lassen sich unterschiedliche Landnutzungsmodelle realisieren, auch die Kombination unterschiedlicher Modelltypen ist möglich. Als erste Implementierung wurde ein Landnutzungsmodell nach dem CLUE-S typ sowie zellulare Automaten realisiert. Durch vereinfachte Datenhaltung und integrierte Visualisierung kann die Modellparametrisierung und die Modellrechnung um ein Vielfaches gesteigert werden.

Aufbauend auf der Modellparametrisierung wurden mehrere Szenarien der Landnutzungsänderung berechnet. Diese beinhalteten nicht nur die Umsetzung im Modell, sondern auch die Szenarienberechnung selber. Das Landnutzungsmodell benötigt als Vorgabe die angenommene Flächenentwicklung der Landnutzungsklassen des Untersuchungsgebietes.

Für das obere Ouémé Einzugsgebiet (HVO) wurden fünf verschiedene Szenarien zukünftiger Entwicklung definiert. Die Szenarien B1, B2, B3 orientieren sich an den IMPETUS Szenarien, wobei v.a. die Bevölkerungsentwicklung relevant ist. Das Szenario B4 ist eine reine Trendfortschreibung der beobachteten Bevölkerungsentwicklung im HVO und das Szenario B5 ist ein Beispiel für ein mögliches Interventionsszenario zur Analyse möglicher Folgen des Straßenbaus auf die Landnutzung (siehe **Tab. III.1-7**).



Die bedeutendste Landnutzungsänderung im oberen Ouémé Einzugsgebiet ist die Flächenausdehnung landwirtschaftlicher Ackerflächen. Daher wurde für diese Landnutzungs-kategorie die Flächenentwicklung für jedes Szenario als erstes berechnet. Es wurden folgende Annahmen gemacht: Die landwirtschaftliche Fläche orientiert sich hauptsächlich an der Einwohnerzahl, da sich in absehbarer Zukunft die kleinbäuerliche Produktionsweise mit wenig Mechanisierung nicht grundlegend ändern wird. Da jedoch mit zunehmender Bevölkerungsdichte die pro Kopf bewirtschaftete Fläche in den Arrondissements abnimmt (**Abb. III.1.3-5**), wird dies auch für das HVO angenommen.



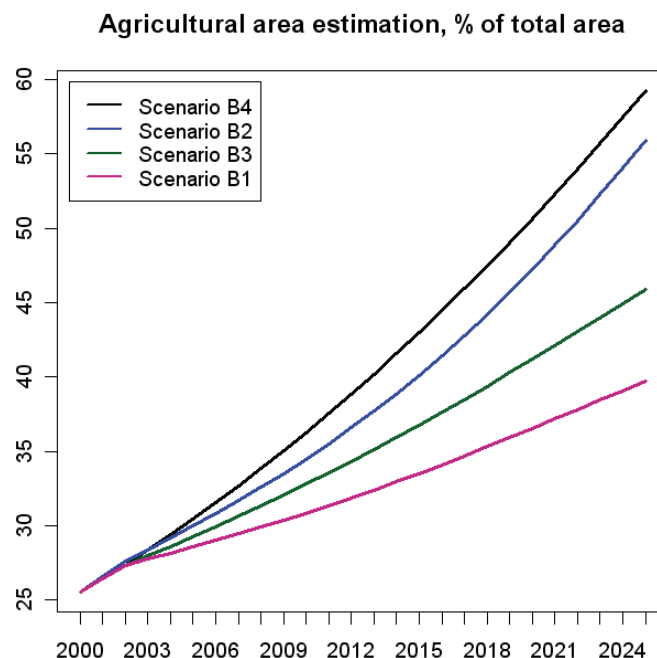
**Abb. III.1.3-5:** Bevölkerungsdichte und landwirtschaftliche Fläche pro Kopf für 50 Arrondissements in Zentral-Benin, Quellen: Bevölkerungsdichte aus Zensus 2002, Landwirtschaftliche Fläche im Rahmen von IMPETUS aus Satellitendaten abgeleitet

Die Bevölkerungsdichte im HVO wird bis 2025 von 19 auf 54 E/km<sup>2</sup> zu, was dann zu einer Abnahme der Fläche pro Kopf von 0.7 ha auf 0.5 ha führt. Diese „Flächenzahl“ wird in allen Szenarien ausser B2 einbezogen. Für das ökonomisch optimistische Szenario B1 wird eine verlangsamte Flächenausdehnung angenommen, da durch einen zunehmenden Einsatz von Düngemitteln bei gleicher Produktion bis zu 15 % an Fläche eingespart werden kann. Die Bevölkerungsprojektionen können nur auf Departement-Eben verlässliche Daten liefern, weshalb eine Disaggregation auf Dorfebene vorgenommen wurde, um die zukünftige Bevölkerung für das HVO zu schätzen. Dabei stellt sich jedoch das Problem, dass die Bevölkerung im HVO sehr viel schneller wächst als in den zwei betreffenden Departements. Deshalb wurde ein weiteres Szenario (B4) erstellt, das die Bevölkerung basierend auf den Zensusdaten bis 2025 extrapoliert. Der „Knick“ in den Flächenberechnungen in **Abb. III.1.3-6** im Jahr 2002 für die Szenarien B1-B3 ist eine Folge der Disaggregation. Eine Zusammenstellung der Szenarienannahmen gibt **Tab. III.1-7**. Basierend auf den Annahmen ergeben sich für die Szenarien ein Zuwachs landwirtschaftlicher Flächen zwischen 60 % und 140 %

bezogen auf das Jahr 2000. Insgesamt werden im HVO im Jahr 2025 zwischen knapp 40 % und 60 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt (**Abb. III.1.3-6**).

**Tab. III.1-7:** Übersicht der Szenarienannahmen für landwirtschaftliche Landnutzung

	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>
<b>Bevölkerung</b>	IMPETUS-B1	IMPETUS-B2	IMPETUS-B3	Extrapolation	Extrapolation
<b>Landw. Produktion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verstärkter Düngereinsatz</li> <li>▪ Verringerung der Flächenzahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keine Änderung der Flächenzahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verringerung der Flächenzahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verringerung der Flächenzahl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verringerung der Flächenzahl</li> </ul>
<b>Waldschutz</b>	Fôret classée obligatorisch geschützt	FC Ouémé Supérieure wird für agrar. Nutzung freigegeben	Abhängig von Nutzungsdruck	Abhängig von Nutzungsdruck	Abhängig von Nutzungsdruck
<b>Interventionen</b>	Keine	Keine	Keine	Keine	Zusätzliche Strasse

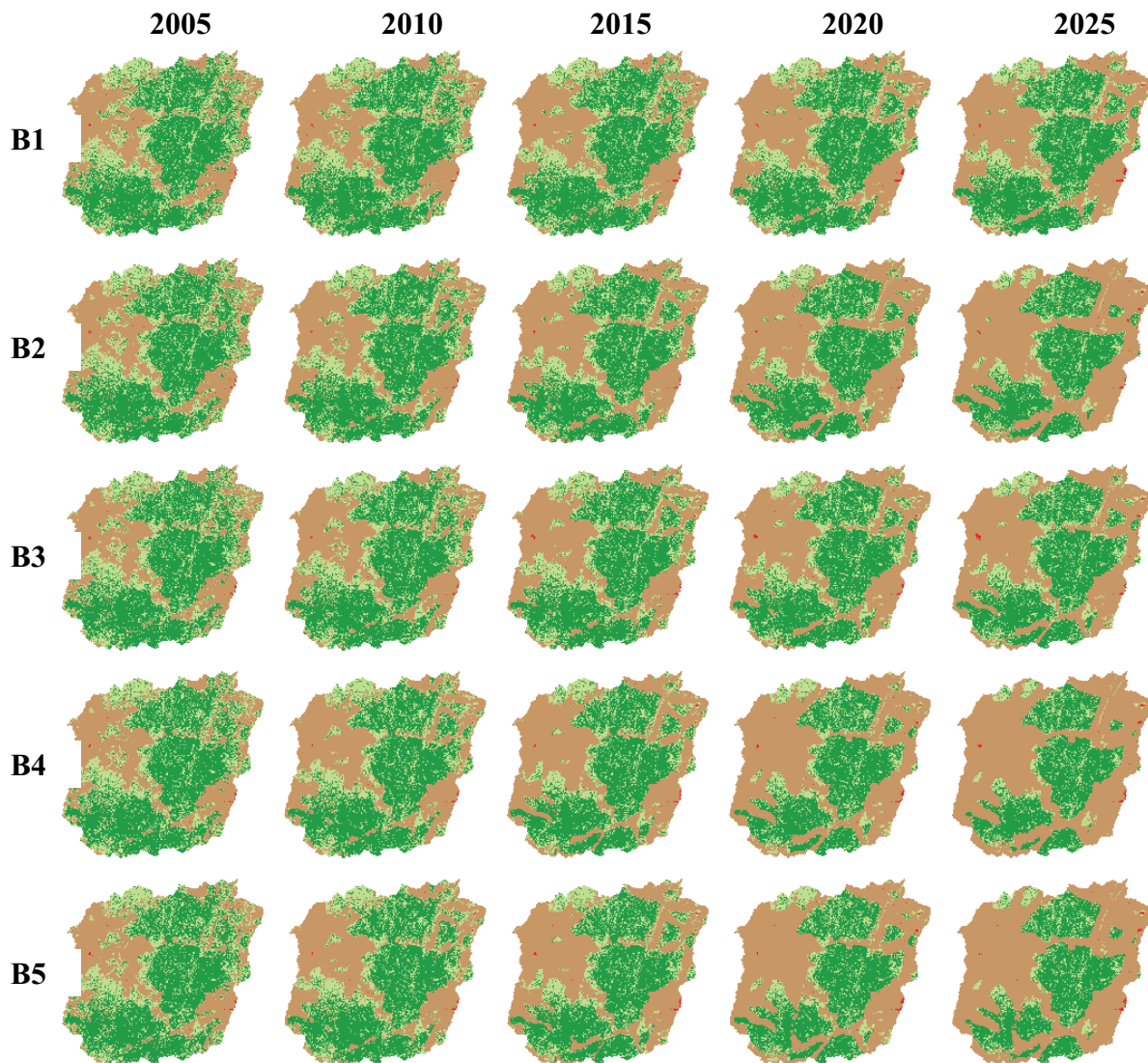


**Abb. III.1.3-6:** Zuwachs landwirtschaftlicher Flächen im HVO für unterschiedliche Szenarien



Basierend auf den Satellitenbildanalysen wurde der Flächenverlust der Wälder und dichter Savannen (savane boisée) bestimmt und je Szenario unterschiedlich gewichtet. Die Siedlungsentwicklung wird je nach Szenario zwischen 3 % und 4 % angenommen.

In **Abb. III.1.3-7** sind für alle fünf Jahre die räumlich expliziten Ergebnisse dargestellt. Deutlich ist die massive Zunahme an landwirtschaftlichen Flächen in der Umgebung größerer Siedlungen, oder allgemein in Regionen mit höherer Bevölkerungsdichte. Zu einer verstärkten Agrarflächenausdehnung entlang von Pisten kommt es dagegen erst, wenn die Flächen in Regionen höherer Bevölkerungsdichte alle in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt sind.



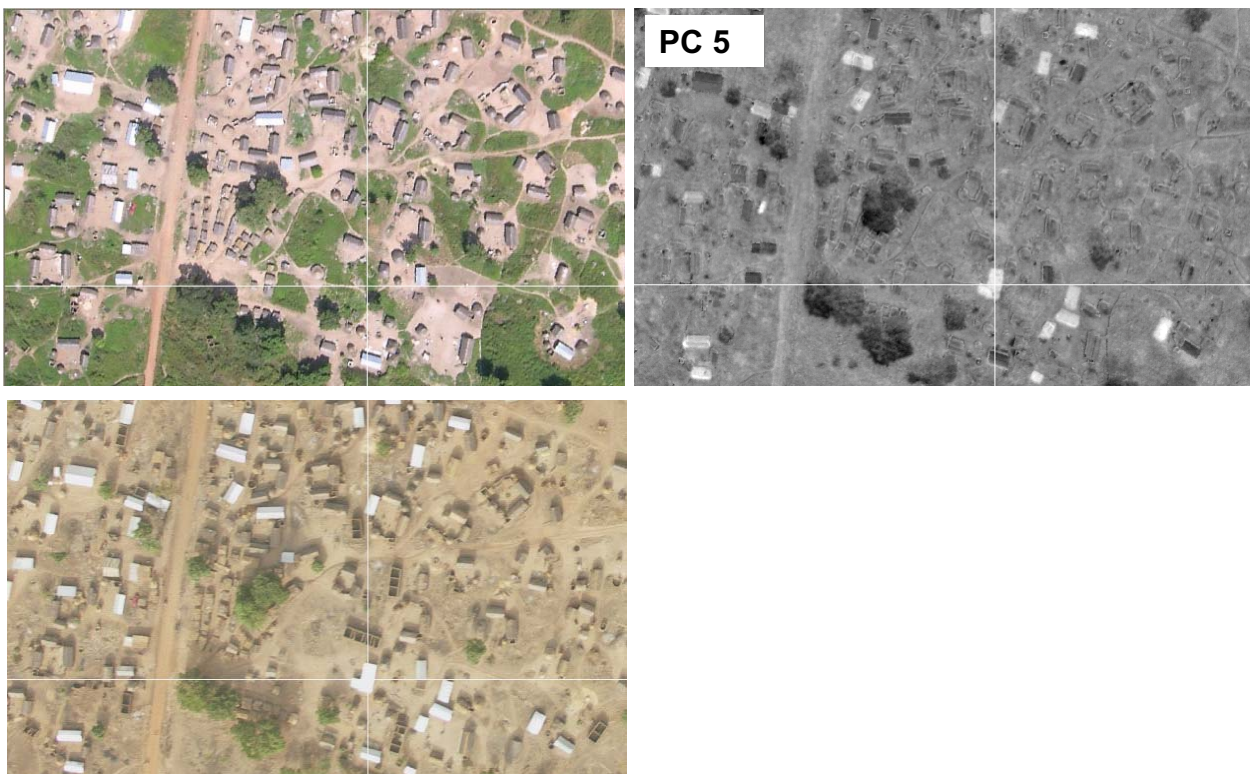
**Abb. III.1.3-7:** Modellergebnisse für fünf Landnutzungsszenarien im HVO (rot: Siedlung, braun: Landwirtschaft, dunkelgrün: Wälder, hellgrün: Savannen)

### *Hochauflösende Erfassung der Landnutzung*

Für das Prozessverständnis der Landnutzungsdynamik werden Informationen in einer sehr hohen räumlichen Auflösung benötigt, da im Untersuchungsgebiet auch schmale Wege, die nur für Mopeds oder Fahrräder geeignet sind, Vektoren für den Landnutzungswandel darstellen. Diese Wege

sind auf hochauflösenden Fernerkundungsdaten wie LANDSAT und ASTER in der Regel nicht zu erkennen. Mit einer eigens verbesserten Drohne wurden extrem hochaufgelöste Luftbilder aufgenommen, um diese Wege zu kartieren. Mit diesen Informationen kann nun die Rolle der räumlichen Auflösung auf die Modelliererergebnisse untersucht werden. Publikationen zu diesen, auf dem Feld der Landnutzungsmodellierung sehr wichtigen Fragstellungen, sind in Arbeit.

Des Weiteren wurde die Drohne eingesetzt zur Untersuchung der Siedlungsdynamik in Neusiedlerdörfern. Hierbei wurden auch effiziente Verfahren zur Veränderungsdetektion („change detection“) der Drohnenbilder entwickelt (vergleiche **Abb. III.1.3-8**).



**Abb. III.1.3-8:** Automatisierte Erkennung von neuen Blechdachflächen aus Drohnenbildern. Oben links Aufnahme des Neusiedlerdorfs Kpawa vom Okt 2004, unten links selber Bildausschnitt vom April 2006, rechts oben Analyse von neuen Dachflächen (hell) mit Hilfe einer angepassten Hauptkomponentenanalyse

Auch für die Validierung der Landnutzungsveränderungsmodellierung wurde die Drohne erfolgreich eingesetzt. Aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und der räumlich extrem hochauflösten flächenhaften Information, die anders nicht oder nur mit erheblich größerem finanziellen Aufwand erhoben werden kann, stellt die Drohne ein sehr nützliches Werkzeug dar, das im Rahmen von IMPETUS beständig weiterentwickelt und verbessert wird.

Die Anwendung der Drohne wurde auf dem ISPRS Commission VI, WG VI/4 Meeting in Eschede mit dem „Best Paper Award“ in der Kategorie „Innovative Techniques for Developing Countries“ ausgezeichnet.

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Im Jahr 2006 konnte die Zusammenarbeit mit mehreren Institutionen in Benin ausgebaut werden.

- **Zusammenarbeit mit anderen Gruppen.** In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geoökologie in Karlsruhe (BIOTA) wurden ausführliche Feldarbeiten im Pendjari Nationalpark durchgeführt. Dabei wurde das Drohnensystem erfolgreich eingesetzt, um eine belastbare Datengrundlage für die hydrologische Modellierung der Maare und eine Vegetationsaufnahmen angrenzender Gebiete durchzuführen.
- **Kooperation mit der GTZ im Rahmen einer Umsetzung der Klimakonvention.** Hierbei werden in zwei kleineren Einzugsgebieten mit einem partizipativen Ansatz Maßnahmen als Anpassung an den zu erwartenden Klimawandel erarbeitet und durchgeführt. Die Arbeitsgruppe Fernerkundung hat dabei die Aufgabe die sich daraus ergebenden Änderungen der Landnutzung / Landbedeckung zu erfassen und zu interpretieren.
- **Intensiven Kontakte mit Wissenschaftlern und Stakeholdern in Benin** wurden gepflegt um die IMPETUS Methoden, Forschungsergebnisse und weiteren Arbeiten zu kommunizieren und abzustimmen. Es ist interessant festzustellen, wie IMPETUS immer stärker von Entscheidungsträgern und relevanten Wissenschaftlern als kompetenter Partner wahrgenommen wird und es oft zu fruchtbarer Zusammenarbeit kommt. So zeigten sich Verantwortliche des **Ministeriums für Straßenbau und Infrastrukturplanung** hoch interessiert an den Modellergebnissen bezüglich der Vegetationsentwicklung und der Abschätzung des Einflusses von Infrastrukturerweiterung auf die Landnutzung und Landbedeckung. Sie sind potentielle interessierte Nutzer der DSS für die Vegetationsmodellierung. Beim INRAB wurde eine Präsentation der Arbeiten der für sie relevanten PKs durchgeführt, bei dem neben dem Direktor sämtliche Leiter der einzelnen Abteilungen anwesend waren. Aufgrund des sehr positiv verlaufenden Treffens wurden IMPETUS volle Unterstützung von INRAB zugesagt, was besonders im Hinblick auf die gute Datenbasis bezüglich landwirtschaftlicher Produktionsdaten von großem Vorteil ist. Andererseits ist das INRAB an der Nutzung der innerhalb der PKs entwickelten DSS sehr interessiert.
- Da die Weiterentwicklung der DSS in der Regel großes Fachwissen erfordert und in der Regel nicht direkt von den Behörden geleistet werden kann, ist die Verankerung der Modelle und DSS der PKs im wissenschaftlichen Umfeld eine wichtige Aufgabe. Diesbezüglich wurden umfangreiche Kontakte mit der Universität Abomey-Calavi, hier besonders den Instituten für Geographie sowie für Botanik, geknüpft bzw. vertieft. Es besteht ein starkes Interesse daran, die vorhandene Expertise in IMPETUS einfließen zu lassen und vom inhaltlichen und methodischen Austausch zu profitieren. Auch mit dem Zentrum für angewandte Mathematik und Modellierung, CIPMA, das von seiner Ausrichtung die notwendige Kompetenz in Fragen der Modellierung und der Datenhaltung besitzt, wurden erfolgreich Kontakte hergestellt. Federführend ist hierbei Prof. Dr. Norbert Hounkonou.

### Literatur

- Judex, M. & H.-P. Thamm (2006): Modelling of Land Use Changes in a West-African Environment, ISPRS Midterm Symposium, "Remote Sensing: From Pixels to Processes" Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006.
- Thamm, H.-P. & M. Judex (2006): Application of a "low cost drone" for process monitoring and gathering ground truth in a high spatial and temporal resolution, 26th EARSeL Symposium, Warsaw, 29.05.-01.06.2006

- Thamm, H.-P. & M. Judex (2006): The "low cost drone" – an interesting tool for process monitoring in a high spatial and temporal resolution, ISPRS Midterm Symposium, "Remote Sensing: From Pixels to Processes" Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006.
- Thamm, H.-P.; Recha, P.; Judex, M. & O. Schütz(2006): Ein effizientes System für die Darstellung von Forschungsergebnissen – Der Interaktive Digitale IMPETUS Atlas, AGIT 2006 – Symposium und Fachmesse für angewandte Geoinformatik, 04.07.-06.07.2006, Salzburg
- Thamm, H.-P.; Waidosch, A. & K. Nikov (2006): Evaluation of Land Conservation Measures with an Ultra Light Remote Controlled Air Vehicle, Second Workshop of the EARSeL SIG on Remote Sensing of Land Use & Land Cover, Bonn 28.09.-30.09.
- Judex, M.; Thamm, H.-P. & G. Menz (2006): Improving Land-Cover Classification with a knowledge based Approach and Ancillary Data, , Second Workshop of the EARSeL SIG on Remote Sensing of Land Use & Land Cover, Bonn 28.09.-30.09.
- Thamm, H.-P.; Judex, M.; Orekan, V.; Giertz, S., Diederich, M.; Sogalla, M.; Hiepe, C.; Singer, U.; Doevenspeck, M. & G. Menz (2006): Present and Future Vegetation Dynamics in the Ouémé Catchment and its Influence on the Hydrological Cycle, International conference on Integrated river basin management in contrasting climate zones, 14.12.-15.12., Stuttgart



## PK Be-L.3 Einfluss der Landnutzungsänderung in den drei Untersuchungsregionen auf das zukünftige Niederschlagsverhalten



Landwirtschaftliche Flächen in Benin.

### **Problemstellung**

Der Klimawandel und die durch den Menschen veränderte Landnutzung beeinflussen die Niederschlagsvariabilität im Untersuchungsgebiet. Es ist daher für eine realistische Approximation zukünftiger Bedingungen notwendig, die im Wesentlichen bekannten Einflussfaktoren möglichst genau abzuschätzen. Im **PK Be-L.3** werden die Auswirkungen der von den globalen Klimamodellen vorgegeben Klimaänderung auf den Niederschlag in verschiedenen Regionen Benins ermittelt. Dabei ist der atmosphärische Antrieb ein wesentlicher Faktor für diesen Problemkomplex.

Der zweite maßgebliche Faktor ist die Auswirkung von Landnutzungsänderungen (z.B. andere Nutzpflanzen, Wiederaufforstung, Siedlungsmanagement etc.). Die Vegetationsdynamik sowie die Bodenfeuchte können für das Ergebnis der lokalen Simulationen und somit für die Niederschlagsprozesse in manchen Fällen von mindestens ähnlich großer Bedeutung sein, wie der großskalige Einfluss der SSTs (Meeresoberflächentemperaturen). Beide Faktoren und ihre Auswirkungen auf den Niederschlag sollen in Form von einfachen Diagrammen und tabellenbasierten PC-Programmen sichtbar und sowohl für Anwendungen in IMPETUS, als auch für den Anwender vor Ort nutzbar gemacht werden. In diesem Kontext ist die jahrzehntelange starke Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen in Benin zu nennen, die den Umfang und das Gefüge der vegetativen Biomasse verändert hat; D. h. es fand de facto eine Verminderung des Waldbestandes, eine Verkürzung der Bracheperioden und eine Verringerung des Ökovolumens statt. Die Folgen dieser Veränderungen für

den Wasserhaushalt und das lokale Klima sind bislang nur unzureichend erforscht und bilden einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit in diesem PK.

### Mitarbeiter

**Andreas Krüger**, Kai Born, Tim Brücher, Michael Christoph, Zhixin Deng, Malte Diederich, Andreas Fink, Marc Janssens, Michael Judex, Valens Mulindabigwi, Heiko Paeth, Hans-Peter Thamm

### Zielsetzung

Für die Region des oberen Ouémé-Einzugsgebietes stehen Niederschlagssimulationen für Episoden von ein bis drei Tagen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde zur Verfügung. Der Niederschlag der Regenzeit eines beliebigen Jahres wird mit Hilfe dieser Einzelepisoden des Jahres 2002 rekombiniert (Regenzeit-Generator). Mit Unterstützung von Szenarien der Landnutzungsänderung aus Teilprojekt A3, welche als untere Randbedingung in die Episodensimulationen eingehen, kann auf diese Weise statistisch-dynamisch die Niederschlags- und Verdunstungsänderung zum Beispiel für das Jahr 2025 abgeschätzt werden.

Hierfür werden Szenariensimulationen der meteorologischen Modellkette als Antrieb für den Regenzeit-Generator genutzt, indem zunächst die Tage mit Niederschlägen identifiziert und typisiert werden. Am geeignetsten zur Typisierung ist der Modelloutput des LM geeignet. Anschließend erfolgt eine Rekombination der vorhandenen Einzelepisoden (trockene sowie feuchte) entsprechend der in den Szenarienrechnungen analysierten Ereignisverteilung. Dabei ergeben sich für die verschiedenen Konsortialläufe (REMO) auch unterschiedliche Zusammensetzungen der Einzelepisoden. Beabsichtigt ist zunächst die Rekombination der Szenarienjahre mit einer Raumskala von 9 km bei einer stündlichen Auflösung. Die Raumskala wird später auf 3 km verfeinert.

In Zusammenhang mit der statistisch-dynamischen Methode sind Interventionsszenarien geplant (in Zusammenarbeit mit A3), in welchen verschiedene Einflüsse berücksichtigt werden (z.B. Wiederaufforstung oder gezielte Siedlungspolitik). Die Rückkopplungseffekte auf den regionalen Niederschlag bzw. die Verdunstung, welche aufgrund solcher Maßnahmen eine Änderung erfahren, können für die zukünftige Wasserverfügbarkeit eine maßgebliche Rolle spielen und haben natürlich auch einen Einfluss auf die Ergebnisse des statistisch-dynamischen Ansatzes.

Die Berechnungen sollen im weiteren Verlauf auf die Gebiete Mittel-Ouémé und Nieder-Ouémé ausgeweitet werden. Hierzu müssen die vorherigen Schritte zur Gänze wiederholt werden: d. h. zunächst ist zu prüfen, inwieweit die Typisierung der Niederschlagsereignisse auf die Gebiete weiter südlich übertragen werden kann. Falls sich die in der ersten Phase von IMPETUS speziell für das obere Ouémé-Einzugsgebiet entwickelte und derzeit verwendete Typisierung als unzureichend erweist, müssen weitere Kriterien definiert werden, die zur Auswahl geeigneter Episoden gewählt werden können. Diese Kriterien können unter Umständen für die beiden hinzukommenden Regionen unterschiedlich sein. Im Anschluss daran erfolgt analog zum bisherigen Vorgehen die Simulation der ausgewählten Episoden für die Regionen Mittel-Ouémé und Nieder-Ouémé für das Jahr 2002. Erneut sind die Kataster für die Skala von 9 km und 3 km neu zu erarbeiten, die eine Landnutzung nach Vorgabe von der Fernerkundungsgruppe haben sollen. Die genaue Gebietsauswahl für

die beiden Bereiche Mittel-Ouémé und Nieder-Ouémé wird in Absprache mit den Teilprojekten A2, A3 und A4 vorgenommen. Im letzten Schritt werden die Episodensimulationen erneut entsprechend der Szenarien der meteorologischen Modellkette rekombiniert. Zur Validierung der Simulationen müssen sowohl Vergleiche der Simulationen auf der 9 km und der 3 km Skala mit den Beobachtungen an den Messstationen in Benin erfolgen. Hierzu werden sowohl stündliche Werte, Tagesmittelwerte und die Episodenzeiträume verwendet. Die Validierung der Evapotranspiration erfolgt darüber hinaus in Absprache mit Teilprojekt A2. Die Modelldaten von FOOT3DK dienen ferner dem **PK Be-G.4** als Input zur räumlich verbesserten Erfassung der Malaria Ausbreitung.

Von der agrarökologischen Seite wird die kausale Verbindung zwischen Ökovolumen (**PK Be-L.4**) und lokalem Klima mit Hilfe empirischer Methoden näher untersucht. Die mit Hilfe dieser Betrachtungen gefundenen Zusammenhänge sollen in Bezug zu den meteorologisch modellierten Parametern gesetzt und mit diesen abgeglichen werden. Infolge dieser Erhebungen werden die besten anbaustrategischen Maßnahmen aus der „*Conservation Agriculture*“ (FAO) gesucht, die zur Verbesserung des lokalen Klimas führen können. Inwiefern diese Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt werden können soll in enger Zusammenarbeit mit den künftigen Anwendern vor Ort entschieden werden. Dieser Ansatz soll in ein „*Decision Support System*“ münden.

### Modellierung

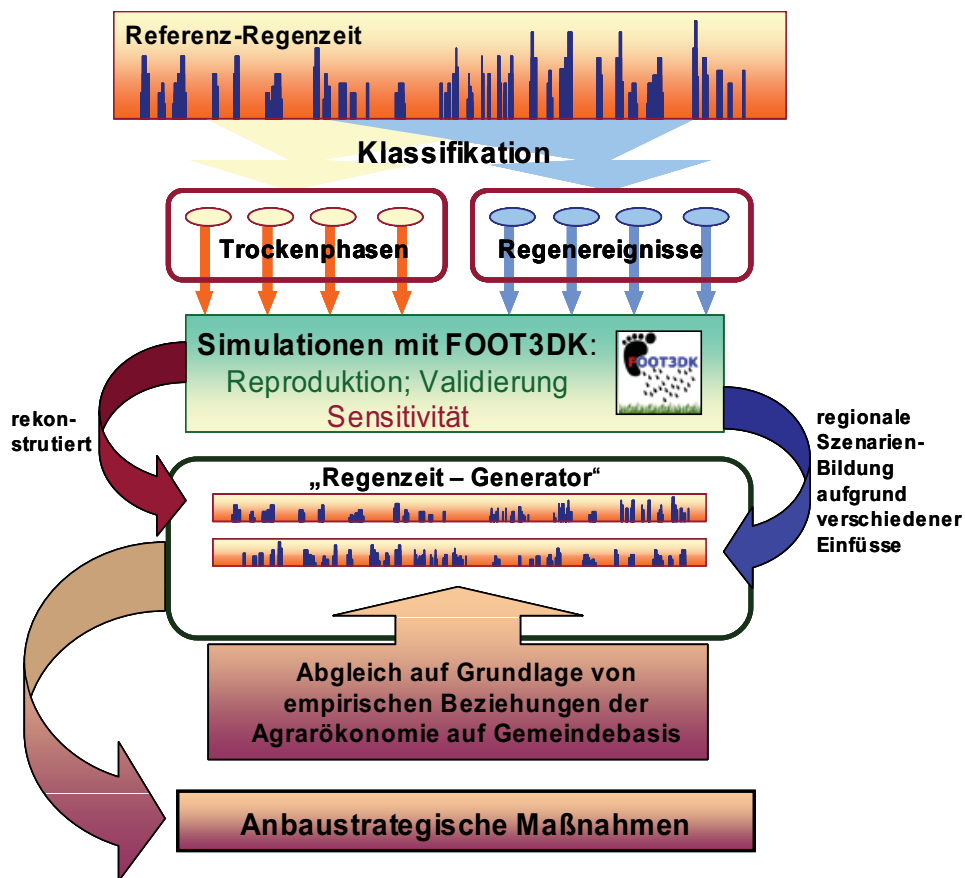


Abb. III.1.3-9: PK-Modellierungsansatz

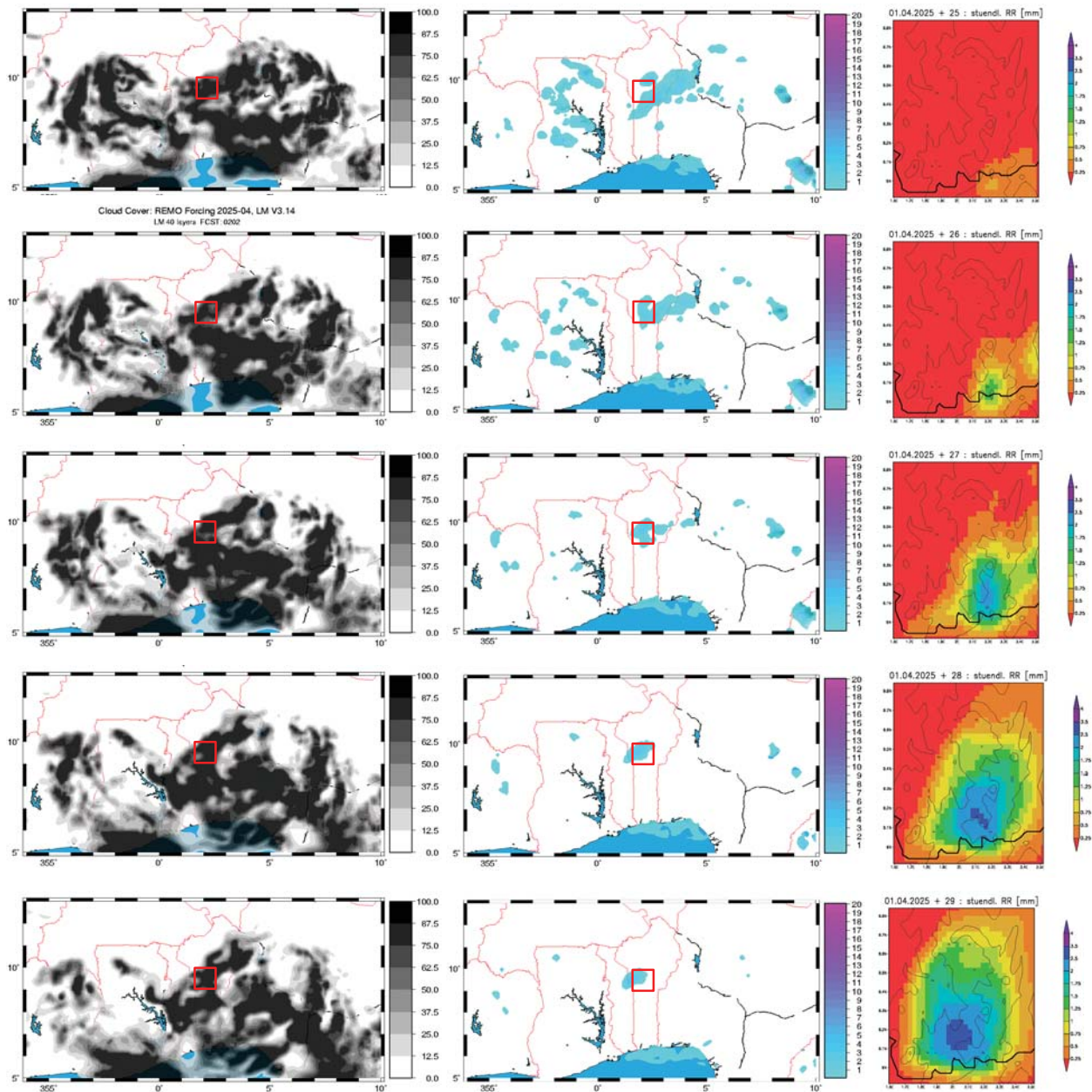


Aus den erstellten Episodensimulationen werden mit Hilfe der statistisch-dynamischen Regionalisierung unter Berücksichtigung der klimatologischen Entwicklungen von Niederschlag und Verdunstung sowie eines dynamischen Konvergenzverfahrens auf Basis der Biomassenerhebung zukünftige Regenzeiten generiert. Verschiedene Interventionsszenarien (berechnet mit Hilfe des statistisch-dynamischen „*Downscalings*“) können entsprechend der agrarökologischen Vorgaben (insbesondere von z. B. empfohlenen Anbaustrategien) im Modellierungsverfahren durch zusätzliche Simulationen von Episoden implementiert werden. Diese werden analog zum oben genannten Vorgehen wiederum rekombiniert.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Im Rahmen des **PK Be-L 3** wurden in den letzten Wochen besonders die Vorarbeiten zu den Simulationen des auf Grundlage der Landnutzungsgruppe neu generierten HVO-Katasers für das Jahr 2025 vorangetrieben. Darüber hinaus wurden die Biomassenerhebungen im Bereich des Ouémé-Transsektes nahezu abgeschlossen und tabelliert. Weiterhin wurden Kontakte im Hinblick auf das Capacity-Building in der 3. Projektphase gepflegt bzw. neu geknüpft.

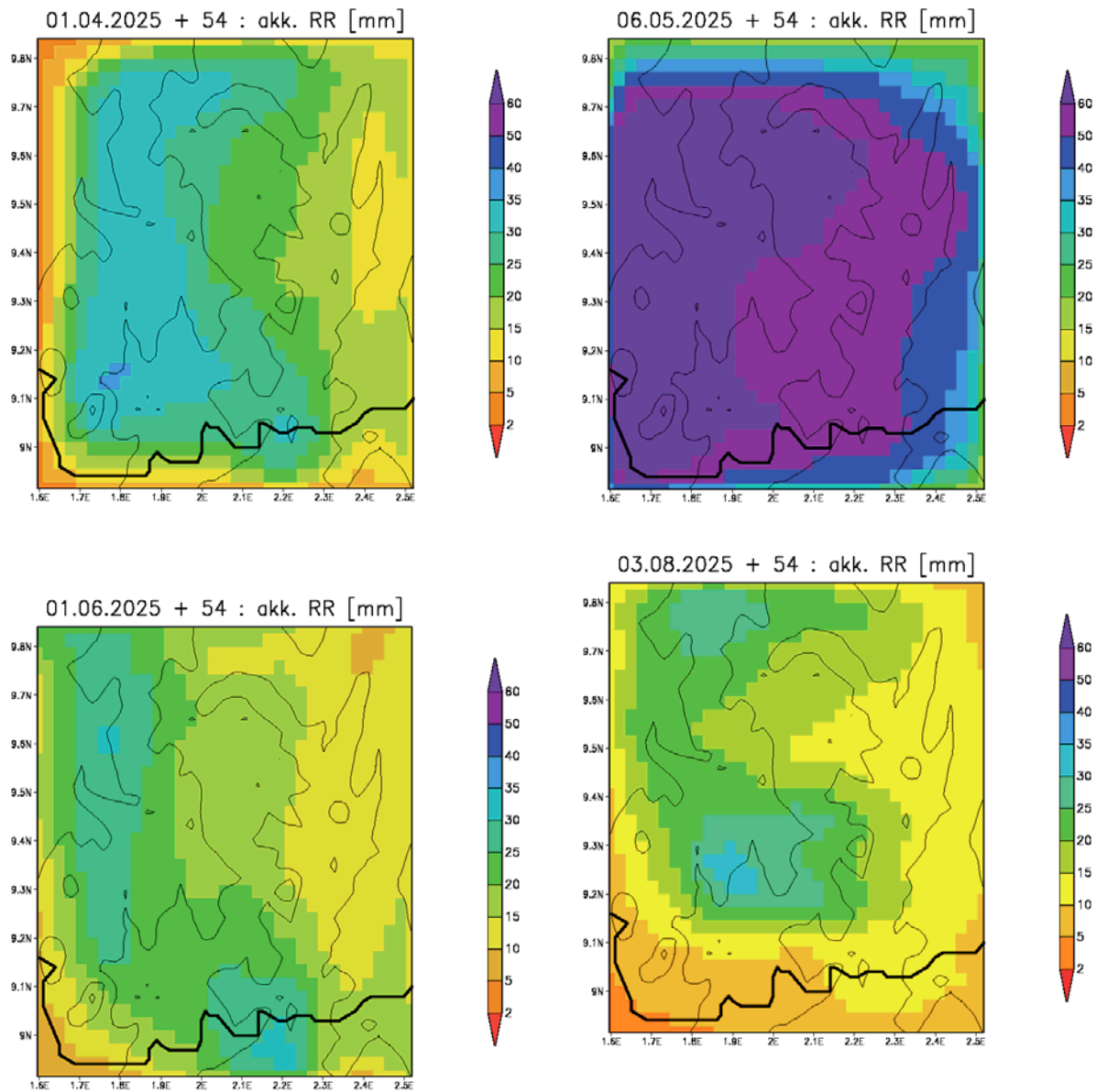
### Modellierung des Niederschlags auf Grundlage der Modellkette



**Abb. III.1.3-10:** Modellerte stündliche Bewölkung (linke Spalte) und stündlicher Niederschlag (mittlere Spalte) des LM sowie stündlicher Niederschlag mit FOOT3DK (rechte Spalte) für den 2.4.2025 (01 UTC bis 05 UTC).

Die Simulationen für das Jahr 2002 auf 9km und 3km Skala sind abgeschlossen. Die Klimatologien für den Niederschlag auf der 9km-Skala zeigen zufriedenstellende Ergebnisse. Dagegen müssen die Ergebnisse der 3km-Skala noch einmal geprüft werden, da der Niederschlag für einige Episoden eine unbefriedigende Überschätzung aufweist, die entweder durch eine MOS-Korrektur oder durch austauschen der betreffenden Episoden zu beheben ist.

Das dynamische Downscaling für das Modelljahr 2025 wird nunmehr direkt für die 3km-Skala durchgeführt, da das LM (Lokal Modell), welches mit Hilfe der 2025-REMO (Regional Modell) Zeitscheibe angetrieben wird, für eine  $0,1^\circ$ -Auflösung (ca. 10 km) betrieben wurde. Somit kann die geplante Simulation auf der 9km-Skala entfallen. Die Episoden, die mit FOOT3DK simuliert werden sollen wurden zum einen anhand der großräumigen Strukturen von Wolkenmustern, die OCS bzw. MCS oder Wirbelstrukturen entsprechen, bestimmt und zum anderen aus den stündlichen akkumulierten Niederschlagswerten des LM.



**Abb. III.1.3-11:** Akkumulierter Niederschlag in mm für vier 54-stündige Episoden des Modelljahres 2025 zufällig ausgewählt aus allen Episoden der gesamten Regenzeit.

Eine exemplarische Studie für die Modellkette wird für den zweiten April in **Abb. III.1.3-10** gezeigt. Hier können besonders gut die stündliche Verlagerung der Wolkenstrukturen, der organisierten Wolkencluster und den damit korrespondierenden Niederschlagsfeldern im LM identifiziert

werden. Eine Stunde zeitversetzt wird von FOOT im Bereich des HVO ebenfalls korrespondierend zu der Simulation von LM ein vergleichbares Niederschlagscluster simuliert.

Weitere akkumulierte Niederschlagswerte für 54-Stundenepisoden für das Jahr 2025 werden in **Abb. III.1.3-11** gezeigt. Diese zeigen zufriedenstellende Muster des Niederschlags, die auch einen von der Größenordnung sinnvollen Wertebereich für die Passage von Niederschlagsgebieten im Bereich HVO wiedergeben. Insbesondere kann in zwei, der gezeigten Episoden (01.06.25 und 03.08.25) auch die erwartete kleinräumige Struktur von Niederschlagsclustern differenziert gezeigt werden.

In den nächsten Wochen wird mit der Zuordnung der simulierten Episoden zu den Niederschlagsstrukturen entsprechend der REMO-Konsortialläufe begonnen. Darüber hinaus ist die Erstellung des Katasters für den Mittel-Ouémé geplant. Die erste Rohversion des daraus resultierenden SDSS (Niederschlagsvariabilität durch Landnutzungsänderung - iLUPO „Impetus-Land Use Change and Precipitation for the Ouémé) ist für den Sommer 2007 vorgesehen. Für die erste Capacity Building Maßnahme ist die inhaltliche Implementierung des ISDSS an der Uni Cotonou und dem DMN (Direction de la Météorologie Nationale) vorgesehen und soll im Herbst 2007 erfolgen.

### ***Agrarökologisches Konzept zur Entwicklung von räumlichen Szenarien in der Zeit***

Mit den vorliegenden Daten der Erhebung von Biomassenparametern in den Gemeinden Djougou (Serou), Bassila (Dogue), Ndali, Bembereke#, Save, Savalou#, Bohicon, Abomey#, Pobe & Ketou# (wobei es sich bei den mit # gekennzeichneten Gemeinden um interpolierte Werte handelt) kann auf Grundlage der Beziehung zwischen Ökovolumen und Niederschlag in der Zeit

$$V_{\text{öko}(ij)} \sim m + aP_{a(ij)} + bD_{ij} + cE_i + dL_i + eY_j$$

mit

$m$  = Offset

$V_{\text{öko}(ij)}$  = mittleres Ökovolumen für eine Gemeinde  $i$  und ein Jahr  $j$

$P_{a(ij)}$  = aktueller jährlicher Niederschlag für eine Gemeinde  $i$  und ein Jahr  $j$

$D_{ij}$  = Anzahl von Tagen mit Niederschlag für eine Gemeinde  $i$  und ein Jahr  $j$

$E_i$  = Höhe über NN der Gemeinde  $i$

$L_i$  = Breitengrad der Gemeinde  $i$

$Y_j$  = Jahr  $j$

eine Abschätzung der künftigen Niederschlagsentwicklung in Verbindung mit den simulierten Niederschlägen der Modellkette entwickelt werden. Zunächst wird hierzu die Entwicklung des Niederschlags der letzten Jahre in Bezug auf den Ökovolumenbestand betrachtet. Es kann nun ein maximaler potentieller Niederschlag  $P_p$  (unter der Annahme eines maximalen Ökovolumens  $V_{\text{öko}}$ ) bestimmt sowie ein minimaler Niederschlag  $P_0$  berechnet werden, der auf der Annahme eines nicht vorhandenen Ökovolumens bestimmt wird. Es ergibt sich der Ökoniederschlag  $P_{\text{öko}} = P_p - P_0$ . Diese Beziehung kann seinerseits auch für eine Projektion eines Ökoniederschlags auf Grundlage von Modelloutput verwendet werden. In dieser sogenannten dynamischen Berechnung

wird ein modelliertes Ökovolumen für z.B. das Jahr 2025 oder ein beliebiges anderes Jahr  $Y_j$  verwendet, dass zur Berechnung des Ökoniederschlags verwendet wird. Es ergibt sich der Ökoniederschlag als dynamischer Output in der Zeit  $\Delta P_{\text{öko}(ij)}(i) = P_p - P(ij)$ , wobei  $\Delta P_{\text{öko}}$  dem Verlust an Ökoniederschlag am Zeithorizont  $Y_j$  in der Gemeinde  $i$  entspricht.

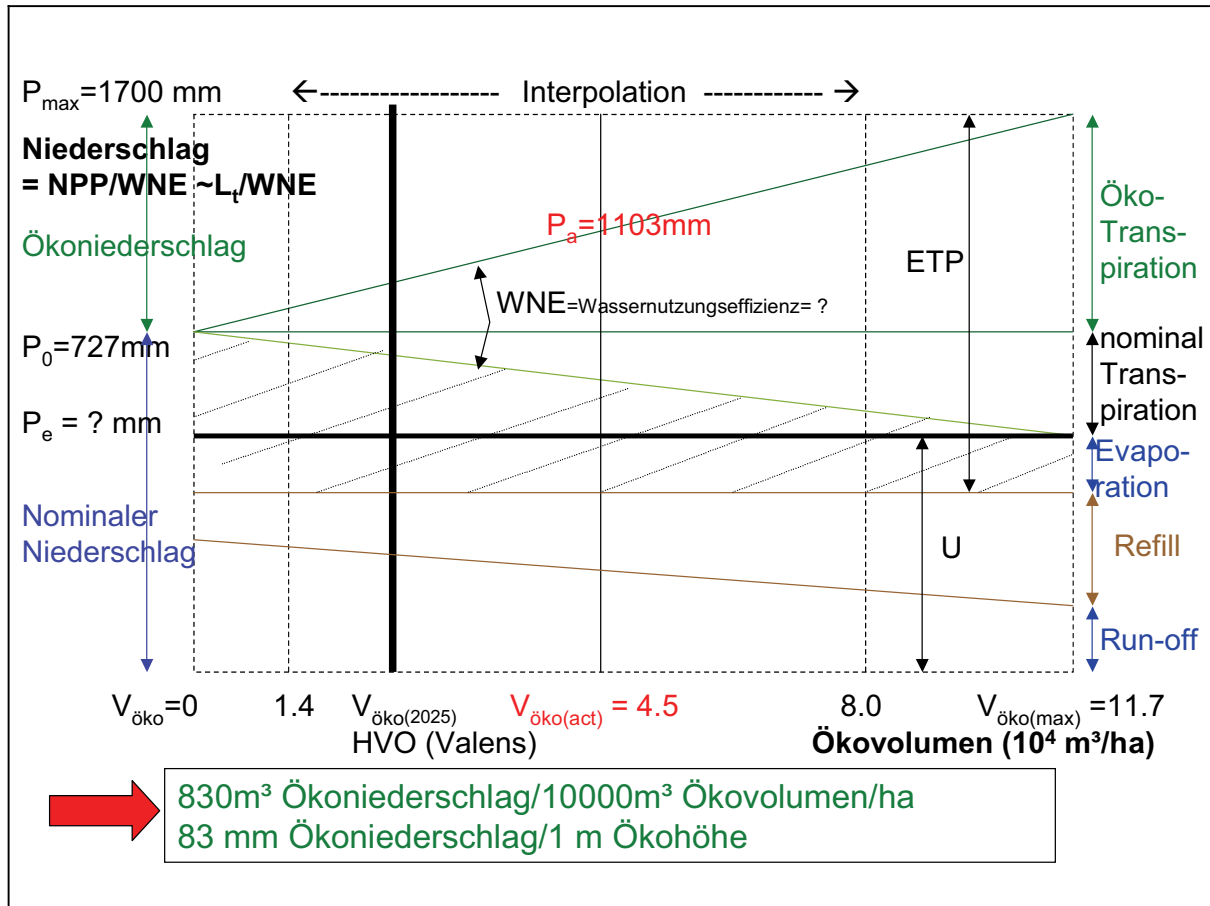


Abb. III.1.3-12: Beispiel zur Bestimmung des Ökoniederschlags für ein beliebiges Gebiet im Bereich des oberen Ouémé.

In Abb. III.1.3-12 ist die grafische Ermittlung des Ökoniederschlags in Abhängigkeit zum Ökovolumen aufgetragen. Bei einem maximalen potentiellen Niederschlag von 1700 mm/Jahr und einem maximalen Ökovolumen von  $11,7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ha}$  ergibt sich bei einem aktuellen jährlichen Niederschlag  $P_a$  von 1103 mm und einem Ökovolumen von  $4,5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ha}$  im Bereich HVO folgende Projektion für das Jahr 2025: Der durch den senkrechten schwarzen Balken markierte Schnittpunkt mit der Abszisse gibt den Wert des für dieses Jahr ermittelten Ökovolumens an (ca.  $2,2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Auf Grundlage dieses Wertes und unter der groben Annahme einer linearen Entwicklung für den Rückgang des Ökoniederschlags ergibt sich ein Wert von ca. 830 mm Ökoniederschlag für das Jahr 2025. Somit entfallen 83 mm des Niederschlags auf einen m Ökohöhe. Diese Projektion soll für alle Gemeinden, für die die Biomassenparameter erhoben wurden, vorgenommen werden. Auf Datengrundlage von einem Datensatz der MEAP und einem Rasterdatensatz der Landnutzungsgruppe (Teilprojekt A3) sollen hierzu in den folgenden Wochen der Ökoniederschlag für 60 Gemeinden auf die letzten 20 Jahre ermittelt werden. Weiterhin ist eine Berücksichtigung der Anbauintensität und Fruchtfolge für die Berechnung des Ökoniederschlags geplant. Bei der Bestimmung des maximalen

Ökovolumens für jede Gemeinde ergibt sich bisher und in Zukunft die Schwierigkeit, dass kaum noch natürliche Bestände vorhanden sind. Nach entsprechenden Lösungsstrategien wird hier noch gesucht. Dennoch ist eine zeitliche Analyse der Entwicklung des Ökovolumens für die Gemeinden, deren Parameter bereits erhoben wurden gegen Ende des Jahres 2007 geplant.

Die Kooperationspartner der agrarökologischen Seite sind INRAB, MEAP und die UAC. Es gibt auch diverse Ansprechpartner auf Gemeindeebene, mit denen der Kontakt im Rahmen der Erhebung der Biomassenparameter gepflegt und vertieft wurde. Im Bereich Anbaumaßnahmen und Anbaupflege werden Capacity-Building Maßnahmen im Mai und November 2007 angeboten. Eine erste schlanke Version des SDSS "Farming-Systems" soll im nächsten Jahr zur Verfügung stehen.



## PK Be-L.4 Ökovolumendynamik und Anpassung des Anbausystems an die Klimaänderung im Ouémé-Einzugsgebiet



Foto: Valens Mulindabigwi



Foto: Zhixin Deng

### Problemstellung

Die Expansion und Intensivierung des agrarischen Anbausystems haben dem Menschen eine stärkere Ausnutzung der Naturressourcen ermöglicht und dadurch zu einer enormen Zunahme der Lebensmittelproduktion in den letzten 20 Jahren geführt. Gleichzeitig sind damit jedoch eine Beschädigung der Ökosystemkapazität für eine nachhaltige Nahrungsmittelproduktion, die Versorgung mit Frischwasser, die Konservierung der Wälder, die Regulierung des Klimas und der Verlust von Bodenqualität einhergegangen.

Das nachhaltige Management von den „Trade-offs“ zwischen der Lebensmittelproduktion und dem Erhalt der Ökosystemkapazität stellt eine große Herausforderung dar. Auf ökologische Kenntnisse basierende Anbaustrategien können die nachhaltige Agrarproduktion erhöhen und gleichzeitig die unerwünschten Nebeneinflüsse reduzieren.

Das Ökovolumen eines Vegetationsbestandes ist ein räumlicher Begriff, wobei die Bestandsfläche mit der Höhe multipliziert wird. Es ist ein wichtiger Faktor im Wasserkreislauf, demzufolge ist es ein wichtiger Indikator für die Ökosystemkapazität bei der laufenden Anpassung des beninischen Anbausystems an die Klimaänderung.

### Mitarbeiter

Zhixin Deng, Julia Röhrig, Arnim Kuhn, Heiko Paeth, Marc Janssens

### Zielsetzung

Aufbauend auf die Analysen der Anbausysteme und deren Anpassungen an die Klimaänderung werden *die zukünftigen Anbaustrategien als Handlungsoptionen anhand Expertenwissens und*



**ökologischer Kenntnis (Agroklimax - Konzept)** entwickelt und bewertet. In diesem Zusammenhang lässt sich fragen:

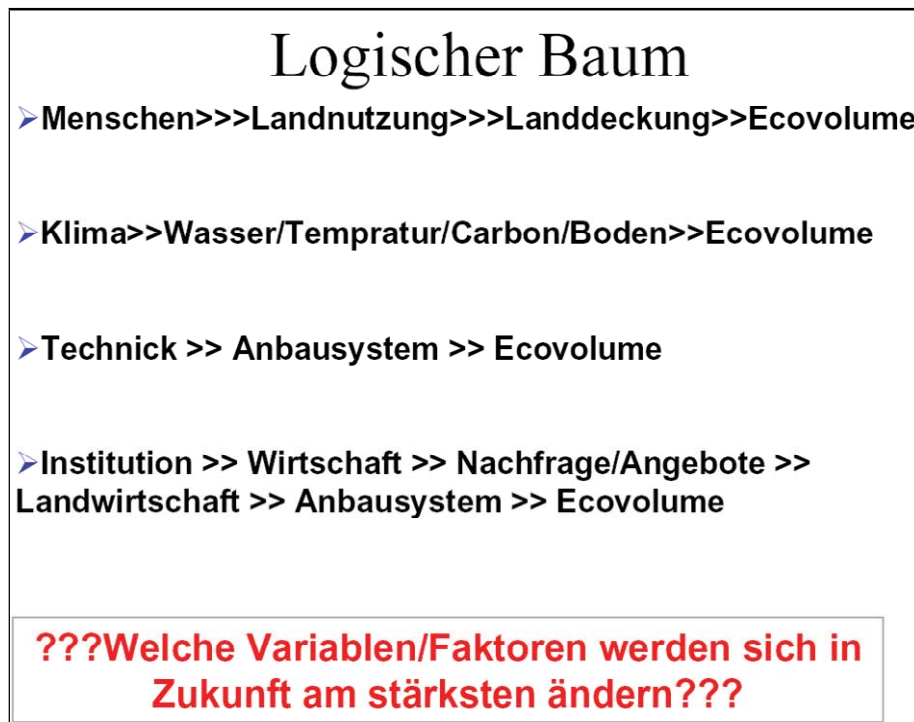
- Was sind die Unterschiede zwischen den nördlichen, mittleren und südlichen Anbausystemen je unter dem unimodalen und bimodalen Klima im ganzen Einzugsgebiet?
- Was sind die jeweiligen Nach- und Vorteile der nördlichen, mittleren und südlichen Anbausysteme vom anbaustrategischen Aspekt?
- Wie lassen sich die Anbausystemen im Einzugsgebiet an die Klimaänderung anpassen?
- Wie ändert sich die Ökovolumendynamik bei den zukünftigen anbaustrategischen Szenarien?

Interventionsszenarien werden fokussiert an primär folgenden Optionen: zunehmende Verbreitung von Dauerkulturen anstelle jährlicher Kulturen, Flächenausdehnung, Plantagekulturen, Agroforestry, „conservation agriculture“ und „clean development mechanism“. Wie wird dann Anbausystemintensivierung gegen Entwaldung abgepuffert?

Für die Umsetzung der in diesem PK Be-L.4 entwickelten Anbaustrategien wird ein **SDSS** für „Farming Systems“ (Landwirtschaftliche Anbausysteme) entwickelt und mit den erhobenen Daten kalibriert. Weiterhin wird das **FS-SDSS** partizipativ mit den künftigen Anwendern in den Gemeinden und Départements in Validierungs-Workshops auf Gemeinde-Ebene angewandt und verfeinert.

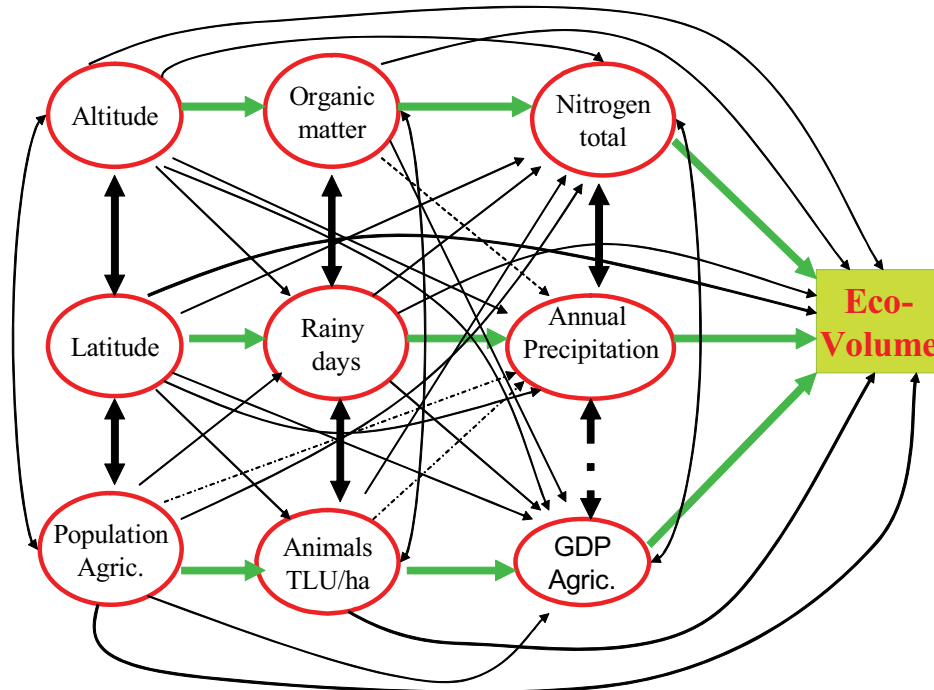
### Modellierung

Es wurde versucht die wichtigsten Faktoren herzufinden die einen bestimmenden Einfluss auf das Ökovolumen ausüben. Daraus erfolgte ein „logischer Baum“



Die wichtigsten logischen Ketten wurden dann in einer „Pathway analysis“ aufgebaut. Drei Hauptwege wurden unterschieden, angefangen mit Höhenlage, Breitengrad und landwirtschaftlicher Bevölkerung. Alle diese Wege führen zum Ökovolumen.

**Pathway analysis of eco-volume in the Oueme watershed basin:  
a regional approach based on a “Commune” data scale**



Die Ökovolumendynamik wird auf der Basis eigener Messungen während der zwei ersten Projektphasen für einige Pilot-Gemeinden des Ouémé - Einzugsgebietes berechnet. Dabei werden alle drei IMPETUS - Szenarien implementiert. Mit Unterstützung und Input von PK Be-E.6 kann die Ökovolumendynamik in Form von GIS-Karten visualisiert werden.

Für die Berechnung der Ökovolumendynamik wird ein Verfahren stufenweise angewandt, das auf eine Multivariablenanalyse basiert.

### **Methodik**

Für das Untersuchungsgebiet werden die wichtigsten Anbausysteme methodisch beschrieben. Dies beinhaltet die Aufzeichnung der Fruchtfolgen, der Kulturkalender und der Mischkulturen. Ziel ist die Ermittlung des Vegetationsvolumens für typische Farmsysteme. Als alternativer Parameter zur Biomasse wird ‚Ökovolumen‘ vorgeschlagen und flächendeckend erhoben. Im Verlauf der 2. Untersuchungsphase wurden die landwirtschaftlichen Nutzungssysteme in Nord-Ouémé und in Süd-Ouémé beschrieben. Im Mittel-Ouémé bleibt noch Feldarbeit zu vervollständigen. Fruchtfolgen, Kulturkalender, Ökovolumen und Biomasse bezogene Parameter werden beschrieben und wenn möglich kartiert.

Ein Decision Support System wird um PK Be-L.4 aufgebaut in enger Zusammenarbeit mit den naheliegenden PKs. Beninische Forscher und Techniker werden im Lande mit den angewandten Me-

thoden vertraut gemacht. Die Anwendbarkeit des Decision Support System wird partizipativ im Lande überprüft.

Gemäß der zentralen Hypothese wird ein kausaler Zusammenhang zwischen Ökovolumen mit Öko-Niederschlägen unterstellt. Eine Hysteresis Funktion wird unterstellt wobei u.a. die Wasserspeicherkapazität des Bodens die Entforstung abpuffern wird. Die agroforstlichen Anbausysteme bewegen sich somit zwischen zwei Limitkonzepten, Ökoklimax und degradierte Brache.

Diese Hypothese wird im Rahmen von drei IMPETUS-Problemkomplexen geprüft:

- Das Ökovolumen wird flächendeckend erhoben und analysiert im Rahmen von PK Be-L.4 („Ökovolumendynamik und Anpassung der Anbausysteme an die Klimaänderung im ganzen Ouémé-Einzugsgebiet“) und aus der Sicht der agrarischen Marginalität mit GIS-Methoden weiter untersucht.
- Im Rahmen von PK Be-E.3 „Saisonale und langfristige Niederschlagsvorhersage in Benin und Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft“ wird der empirische Zusammenhang von Ökovolumen und regionalen Niederschlägen untersucht.
- Die theoretische Beziehung zwischen Ökovolumen bzw. Vegetation und Klima wird in PK Be-L.3 („Einfluss von Landnutzungsänderungen in den drei Untersuchungsregionen auf das zukünftige Niederschlagsverhalten“) überprüft und modelliert.

Daher wird vorgeschlagen, dass das **Ökovolumen** als interdisziplinärer Indikator für Ökosystemkapazität und Input für PK Be-E.1, E.2, E.3, E.6; PK Be-H.1, H.3; PK Be-G.1, G.2 und PK Be-L1, L.2, L.3 dient, dass der **Agroklimax-Index** als ein integriertes Kriterium für die Entscheidung über die zukünftige Entwicklungspfade der Anbausysteme dient. Es wird besonders hilfreich in den Situationen sein, wo Datenmangel herrscht.

Die Erstellung folgender Transferprodukte ist geplant:

- **GIS-Karten von Ökovolumendynamik**
  1. Für jede Kommune des ganzen Ouémé-Einzugsgebietes,
  2. Jährlich bis 2025 für IMPETUS Szenarien
  3. Für Interventionsszenarien
- **Anbaustrategien**
- **Farming Systems-SDSS für Anbaustrategien und Optimierung der Produktionsverfahren**

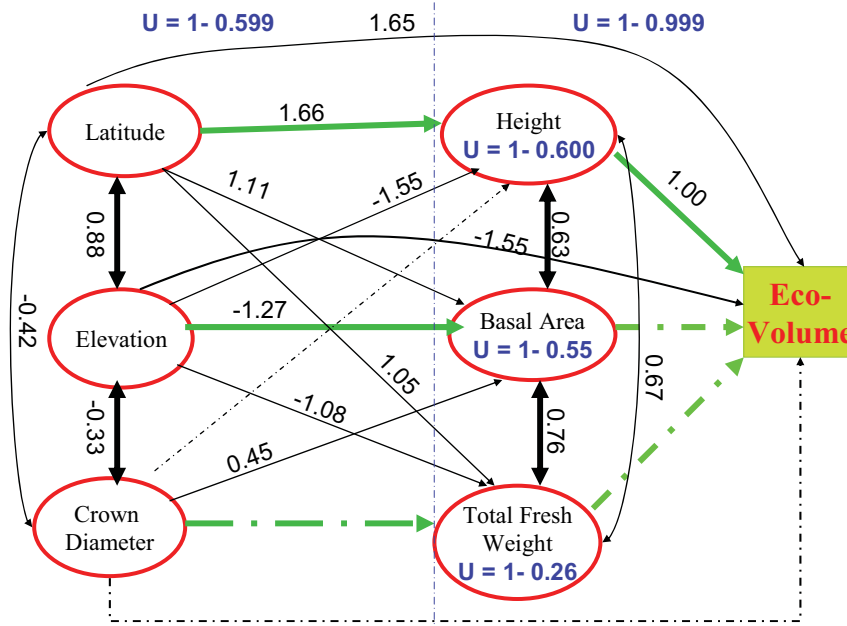
Die Ökovolumendynamik wird für alle drei IMPETUS-Szenarien berechnet.

Interventionsszenarien werden **anhand von Expertenwissen und Agroklimax-Index Analyse als mögliche Entwicklungspfade mit dem Ziel nachhaltiger Anbausysteme** formuliert und mit dem Ausblick der praktischen Handhabung bewertet. Daraus wird eine Prognose der weiteren Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzungssysteme abgeleitet und die zukünftigen Interventionsszenarien entwickelt.

**Stand der Arbeiten****Modellierung des Ökovolumendynamiks**

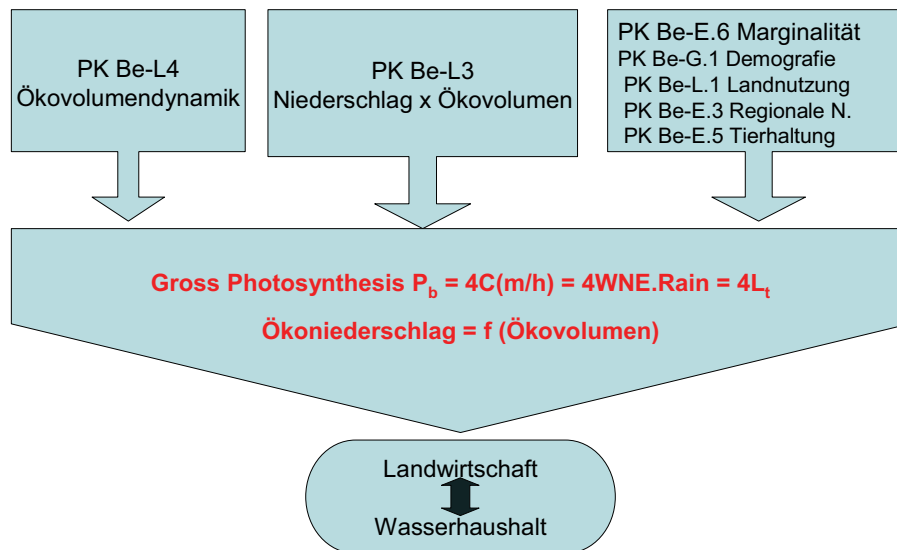
Ein erster Lauf der „Pathway Analyse“ wurde mit einem kleineren Datensatz durchgeführt. Der Weg Kronendurchmesser → Frischmasse → Ökovolumen war unbedeutend.

**Analysis of pathways leading to eco-volume of annual crops in Bohicon/Commune**

**Farming Systems - SDSS**

Ein SDSS, das sich den landwirtschaftlichen Anbausystemen annähern könnte, wäre nur denkbar in einer Zusammenarbeit zwischen einer Reihe von PKs. Daraus sollten möglichen Beziehungen zu klimatischen SDSS ermöglicht werden.

## Components of farming systems DSS



### *Beziehungen zwischen Boden, Vegetation und Niederschlag bei Agro-climax Equilibrium*

- Wenn  $hL_t = mC$  (Nye & Greenland 1959: in Janssens et al. 2004)  
und  $\Delta B=0$ , wobei  $h$  = Humifizierung,  $m$  = Mineralisierung und

- Wenn  $P_b = 4 L_t$   
Dann ist brutto Photosynthese  $P_b = 4C(m/h) = 4L_t$

- Aber, wenn Wassernutzungseffizienz (Rain water efficiency)  $WNE = PT/(1+U/T)$   
d.h. erzeugte Biomasse/mm Niederschlag/Jahr (Ehlers 1996)

wo,  $PT$  = Produktivität der Transpiration =  $P/T$

$U$  = unproduktiver Wasserverlust

$T$  = produktiver Wasserverlust (Transpiration)

- Wiederum gibt es eine Verbindung zur brutto Photosynthese  $P_b$  und Blattfall (Litter fall)  $L_t$   
über  $PT$  bei Agro-climax Equilibrium

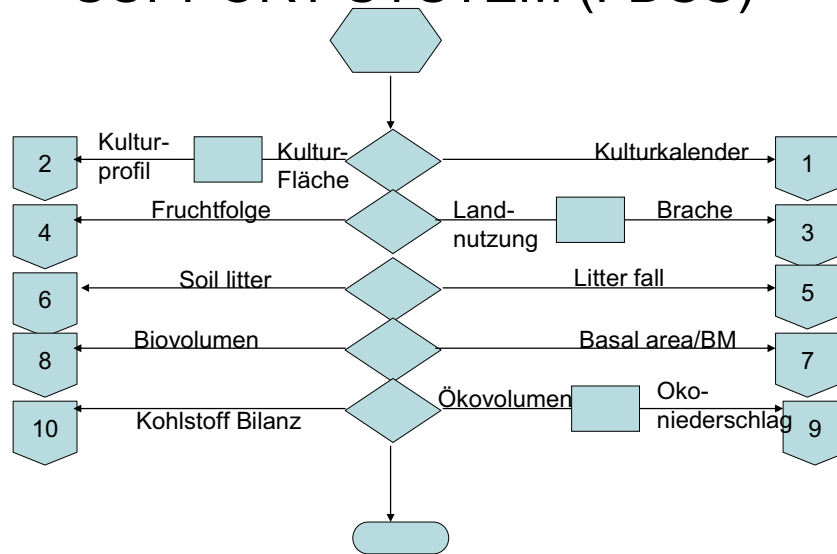
$$P = WNE(T+U) = WNE \cdot \text{Niederschlag} = \text{NPP (Netto Primary Production)}$$

$$= L_t + \Delta B = L_t \text{ when } \Delta B=0$$

somit,

$$P_b = 4C(m/h) = 4WNE.Niederschlag = 4L_t$$

## FARMING DECISION SUPPORT SYSTEM (FDSS)



Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Wasserhaushalt im Ouémé

### Zusammenarbeit mit Institutionen

Um die zukünftige Entwicklung des landwirtschaftlichen Nutzungssystems in Benin besser zu erfassen, wurden die Meinungen der lokalen Entscheidungsträger in den ausgewählten Kommunen, im Landwirtschaftsministerium (MAEP) und den beninischen Agrarwissenschaftlern erfragt. Eine engere Zusammenarbeit mit den lokalen Wissenschaftlern, den Bauern-Verbänden wie FUPRO und einigen Abteilungen vom MAEP wie DPP rundum das Thema „Ökovolumendynamik und Anpassung des Anbausystems an die Klimaänderung im Ouémé-Einzugsgebiet ist geplant. Nach den Kontakten mit den Bauern-Verbänden, DPP und Wissenschaftlern der Universität Abomey Calavi und INRAB wurde ein breites Interesse für ein DSS, das unter den sich variierenden agrar-ökologischen Bedingungen wie Klimaänderung die landwirtschaftlichen Produktionsverfahren optimieren kann, geäußert. Ein DSS wird von Anfang an zusammen mit den potentiellen Endnutzern (Produzenten, Wissenschaftler, Entscheidungsträger) entwickelt werden.

### Feldarbeit

In der ersten Phase hat Herr Valens Mulindabigwi die Feldmessungen in Sérrou und Dogué eingeleitet. Die Landnutzung in jedem Dorf wurde in vier Gruppen aufgeteilt, nämlich Wald, Brache, Cashew-Nüsse und Ackerkulturen. Die Kulturkalender wurden in jedem Dorf methodisch aufgezeichnet und die Biomasseparameter (Biomasse, landwirtschaftlicher Ertrag, Blattfall, Höhe, Vegetationsvolumen, Leaf Area Index) erhoben. Jedesmal wurde zusätzlich die Bodenatmung anhand eines Bodenatmungsgeräts bestimmt. Die überragende Rolle der Cashew-Nussbäume zur Bekämpfung der Buschfeuer und zur Stabilisierung der landwirtschaftlichen Anbausysteme wurde hervorgehoben.

Seit der 2. Phase hat Herr Zhixin Deng den Nord-Transekt im östlichen Teil rundum Ndali bearbeitet. Dann wurde entschieden, die Erhebungen zum Süd-Transekt, wo ein bimodales Niederschlagsregime gilt, vorzunehmen. Es wurden erhoben: Im Osten Pobé, im Westen Bohicon und im Mitte des Transekts Savé. Die Felderhebung für die zweite Phase wurde bis Ende 2005 abgeschlossen.

In der 3. Phase sind dann nur weitere Validierungserhebungen geplant und Workshops zum Wissenstransfer bezüglich Farming systems.

### **Blattfall**

Die Vegetationsdynamik wird auch vom Blattfall gekennzeichnet (**Tab. III.1-8**).

**Tab. III.1-8:** Litter fall data across 12 sites in Benin as related to different ecological parameters

Serial Nr.	Precipitation			Veco m <sup>3</sup> /ha	N-Lat.	E-long.	Elev.
	LF t/ha	mm	H cm				
Boranglf	5.67	1137	380	37985	7.20	2.06	183
lafolf	7.88	1185	845	84516	6.98	2.13	87
latelf	8.37	1185	1767	176747	6.98	2.17	69
pofolf	8.00	1214	1176	117579	6.97	2.68	104
nfolf	7.81	1160	688	68831	9.76	2.35	317
nmglf	3.58	1160	760	76000	9.79	2.71	394
sefolf	9.02	1283	1245	124490	9.70	1.67	439
sefalf	1.72	1283	514	51350	9.70	1.67	439
secashlf	4.55	1283	633	63330	9.70	1.67	439
dfolf	4.10	1250	670	67020	9.02	1.94	384
dfalf	3.02	1250	514	51350	9.02	1.94	384
dcashlf	2.65	1250	633	63330	9.02	1.94	384
dorlf	3.78	1250	700	70000	9.02	1.94	384

So besteht eine einfache Beziehung zwischen Blattfall einerseits und andererseits sowohl Niederschlag als auch Bestandshöhe:

Die folgende Gleichung (n=12)

$$LF (t/ha) = 0.00117854 * Rain (mm) + 0.00484474 * H (cm)$$

Der Bestimmungsgrad  $R^2 = 91.1\%$  bei einer Fehlerwahrscheinlichkeitsgrad  $p < 0.01$  bei  $n=12$ . Höhe kann auch durch Ökovolumen ersetzt werden ohne die Genauigkeit zu gefährden.

An den 6 Standorten (n=6), wo auch weitere Bodenmerkmale und Vegetationsparameter erhoben wurden, zeigte der Blattfall weiter gute einfache Korrelationen mit der Pflanzendichte, dem Bio-Volumen und der Standorthöhe. Die Korrelation mit Kohlstoff in der 0-20 cm Bodenschicht war eher gering ( $R^2 = 67.5\%$ ) mit der folgenden Gleichung:

$$LF = 3352.72 * Soil C \%$$



Die Beziehung zu Niederschlag war am besten. Die Pflanzendichte zusammen mit dem Breitengrad erklärten die Blattfallvariabilität um 96% wie folgt:

$$LF = 6.42646 * PD + 462.14 * \text{Latitude}$$

Bei den unabhängigen Variablen DBH (Durchmesser auf Brusthöhe) und Niederschlag war der Bestimmungsgrad 97.2%. Die Gleichung lautet dann:

$$LF = 163.629 * DBH + 3.8467 * \text{Precipitation}$$

Es sollte dann versucht werden, das Netzwerk der Blattfallmessungen auszudehnen, um die Genauigkeit und die Allgemeingültigkeit der Gleichungen zu verbessern.

**Tab. III.1-9:** Litter fall across 6 sites in Benin as related to important soil and growth characteristics

Serial Nr.	LF kg/ha	Rain mm	DBH cm/tree	Sum BA m <sup>2</sup> /ha	Height cm	PD	Vbio			Soil C %	
							m <sup>3</sup> /ha	N-Lat.	E-long.		
Boranlf	5675	1137	11	11	380	215	1	7.20	2.06	183	0.56
lafolf	7878	1185	15	20	845	344	6	6.98	2.13	87	2.49
latelf	8371	1185	28	62	1767	944	103	6.98	2.17	69	1.25
pofolf	7998	1214	10	111	1176	589	77	6.97	2.68	104	1.34
nfolf	7807	1160	17	39	688	656	18	9.76	2.35	317	0.91
nmglf	3583	1160	7	8	760	100	1	9.79	2.71	394	2.73

### *Schlussfolgerung zur Blattfallthematik*

Blattfall spielt eine wichtige Rolle in der Ökovolumendynamik und im "Recycling" von Bodennährstoffen innerhalb eines Vegetationsbestandes. Blattfall bestimmt auch die Humusbildung.

Die Ergebnisse zeigen, dass Blattfall eine enge Beziehung hat zu Standort- und Klima-Parametern und somit auch mit den Bestandsmerkmalen.

### *Anfang der dritten Phase*

Die letzte Feldkampagne in Savé wurde abgeschlossen, damit existiert eine Datenbasis aus eigener Erhebung über agrar-ökologische Parameter:

- Basal Area, Height, Planting Density, Litter-fall, Specific Leaf Area, Soil-litter, Bodenatmung, Biomasse und Bodenqualität,
- Restriktionen und Problematiken der landwirtschaftlichen Produktion aus Sicht der Bauern,
- Ökonomische Erträge der jährlichen Hauptkulturen, Kulturkalender, Rotations- und Anbaumanagementschema.

Dieser primäre Daten-Satz erstreckt sich über das nördliche, mittlere und südliche Ouémé-Einzugsgebiet. Die Datenbasis setzt sich zusammen aus:

- Interviews bei lokalen agrar-bezogenen Beamten, Wissenschaftlern,
- Gruppenbefragungen in Dörfern, individuelle Befragungen von Bauern,
- Feldmessungen in den 4 oben genannten Gemeinden, in jeder Gemeinde wurden 4 Vegetationstypen (Wald, Savanne-Brache, Plantage und jährliche Hauptanbaukulturen) ausgewählt, jedes Mal wurden die oben aufgelisteten agrar-ökologischen Parameter in mindestens 3 ausgewählten repräsentativen Feldern gemessen.

Die landwirtschaftlichen Nutzungssysteme im ganzen Ouémé-Einzugsgebiet sind jetzt besser beschrieben und Szenarien für Anbauflächenerweiterung unter Berücksichtigung von Bevölkerungswachstum und Ernährungsbedarf werden entwickelt.

- Die Bodenanalysedaten sind verfügbar und die gemessenen Daten in die Datenbank eingetragen.
- Datenaustausch und –anforderung auf Gemeindebasis mit anderen PKs (Be-L.1, Be-L.3, Be-E.1, Be-E.3, B-E.5 und Be-E.6) läuft.

Die Berechnung des Ökovolumens sollte jetzt auch für die nicht erhobenen Gemeinden intrapoliert werden und möglichst auch in einer Zeitperspektive ausgedehnt.

Die Anbauintensität, die Fruchtfolge unter Einbeziehung der Brache werden weiter evaluiert.

Ein Farming Decision Support System würde nicht nur PK-Be-L3 und PK-Be-L4, sondern auch verschiedene andere PKs integrieren.

## **Literatur**

Ehlers, W. 1996. Wasser in Boden und Pflanze. Ulmer, Stuttgart

Janssens, M.J.J., Deng, Zh.X., & Mulindabigwi, V. (2004). Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques du bassin de l'Ouémé. Workshop Le cycle hydrologique du bassin versant de l'Ouémé et ses implications socioéconomiques, Cotonou, Octobre 2004.

Janssens, M.J.J., Deng, Zh.X., Sonwa, D., Torrico, J.C., Mulindabigwi, V. & Pohlan, J. (2006). Relating agro-climax of orchards to eco-climax of natural vegetation. In: Proc. 7th International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 20-24 June 2004. Copenhagen, Denmark. Acta Hort. (ISHS) 707:181-186

Janssens, Marc J.J., Mulindabigwi, Valens, Pohlan\*, Juergen & Torrico, Juan Carlos (2005). Eco-volume and bio-surface interplay with the universal scaling laws both in biology and in the Mata Atlantica. Seminário A Cooperação Brasil-Alemanha no Programa mata Atlântica, Parque Nacional da Serra dos Rogaos – 65 anos, Restoration of Martius Museum, Teresopolis, 29 November, 3 December 2004

Mulindabigwi, V. (2005). Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. University of Bonn.

Zhixin Deng & Marc J. J. Janssens (2006). Litter Fall Production in West-African Forests and Plantations. In: Proc. Tropentag 2006, 11-13 Oct, University of Bonn

## PK Be-L.5 Nachhaltiges Feuermanagement für Ressourcenschutz mit Fernerkundung und GIS



„Controlled burning“ in Benin.

### **Problemstellung**

Große Gebiete Benins sind in der Trockenzeit von jährlichen Buschfeuern betroffen. Wie Untersuchungen im Rahmen des IMPETUS Projektes zeigten, sind mehr als 70 % der Fläche des Einzugsgebietes des oberen Ouémé von Feuern beeinflusst. In der traditionellen Form der Landwirtschaft ist das Legen von Feuern eine Methode, Felder für den Anbau vorzubereiten. Feuer wird aber auch von Viehzüchtern gelegt, um trockene, harte Gräser zu verbrennen (Nährstoffe außer N und S) zurückzuführen und so einen erneuten Austrieb von jungen frischen Gräsern zu fördern, die vom Vieh bevorzugt werden. Auch zur Jagd werden Feuer gelegt.

Durch die ansteigende Bevölkerungsdichte und der damit einhergehende Verlust des traditionellen Feuermanagements stellen die Feuer ein zunehmendes Problem dar, besonders in Hinblick auf die Bodendegradation, Nährstoffkreislauf, Vegetationszusammensetzung und CO<sub>2</sub> - Haushalt. Insbesondere die späten Feuer („late fires“), definiert als Feuer nach dem 16.12. jeden Jahres, tragen besonders zur Bodendegradation bei, da die in der Asche gebundenen Nährstoffe vor Einsetzen der Regenzeit nicht mehr in den Boden eingebunden werden können, so dass ein Großteil der (limitierenden) Nährstoffe oberflächlich abgespült wird.

Aus diesem Grund existieren gesetzliche Bestimmungen und Vereinbarungen zwischen Dörfern und Entwicklungsgesellschaften, dass nach dem 16. Dezember keine Feuer mehr gelegt werden dürfen. Allerdings werden diese Verordnung bzw. spezielle Vereinbarungen sehr oft nicht eingehalten und es stellt sich die Frage nach einem effektiven Kontrollsystem. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Quantifizierung der vom Feuer beeinflussten Gebiete und der Nährstoffkreislauf sowie die CO<sub>2</sub> Bilanz ein wichtiges Forschungsfeld.

### **Mitarbeiter**

**Hans-Peter Thamm**, Michael Judex, Vincent Orekan, Nassirou Bako-Arifari, Claudia Hiepe

### **Zielsetzung**

Ziel dieses PKs ist die raumzeitliche Untersuchung der Feuersdynamik in Benin. Dazu gehört die Erfassung der raumzeitliche Verteilung der Buschfeuer, sowie die Abschätzung der verbrannten Biomasse, die Erfassung des Nährstoffumsatzes und die durch Feuer verursachte Bodendegradierung sowie die Abschätzung des Einflusses von Buschfeuer auf den CO<sub>2</sub> Haushalt. Weitere Aufgaben im Sinne eines nachhaltigen Feuermanagements ist die Überprüfung der Einhaltung von gesetzlichen Bestimmungen und Dorfvereinbarungen bezüglich des Zeitpunktes der Feuer. Zuwiderhandlungen sollen umgehend erkannt werden und können an die verantwortlichen Stellen gemeldet werden. Die oben genannten Aufgaben sollen einem in dem PK erstellten Monitoring - System unter Verwendung frei zugänglicher Fernerkundungsdaten geleistet werden.

In einem weiteren Schritt erfolgt die Analyse der raumzeitlichen Muster der Feuer unter Einbeziehung von zusätzlichen Informationen wie Vegetationsdaten, Klimaparametern wie Niederschlag und Wind, Bodendaten und sozioökonomische Daten. Auf dieser Grundlage wird ein Prozessverständnis geschaffen, das die Grundlage für ein „*Decision Support System*“ (DSS) für ein nachhaltiges und effizientes Feuermanagement darstellt. Das DSS iMABFIRE (Managing Bush Fire) soll den Verantwortlichen helfen, geeignete Stellen für ein kontrolliertes Brennen zu finden. Des Weiteren können mit dem DSS effizient die Stellen für Feuerschutzstreifen („pas feu“) geplant werden. Dies kann zu einem deutlich verbesserten Einsatz der knappen Mittel für den Feuerschutz führen. Weiterhin können die Auswirkungen unterschiedlicher Feuermanagementoptionen auf die Raummuster der Feuer, den Biomassenumsatz sowie den Nährstoffkreislauf abgeschätzt werden. iMABFIRE ist für die Verantwortlichen ein nützliches Werkzeug für die Organisation eines nachhaltigen Feuermanagements. Es kann mit entsprechenden Modifikationen für den gesamten Savannengürtel in West-Afrika eingesetzt werden.

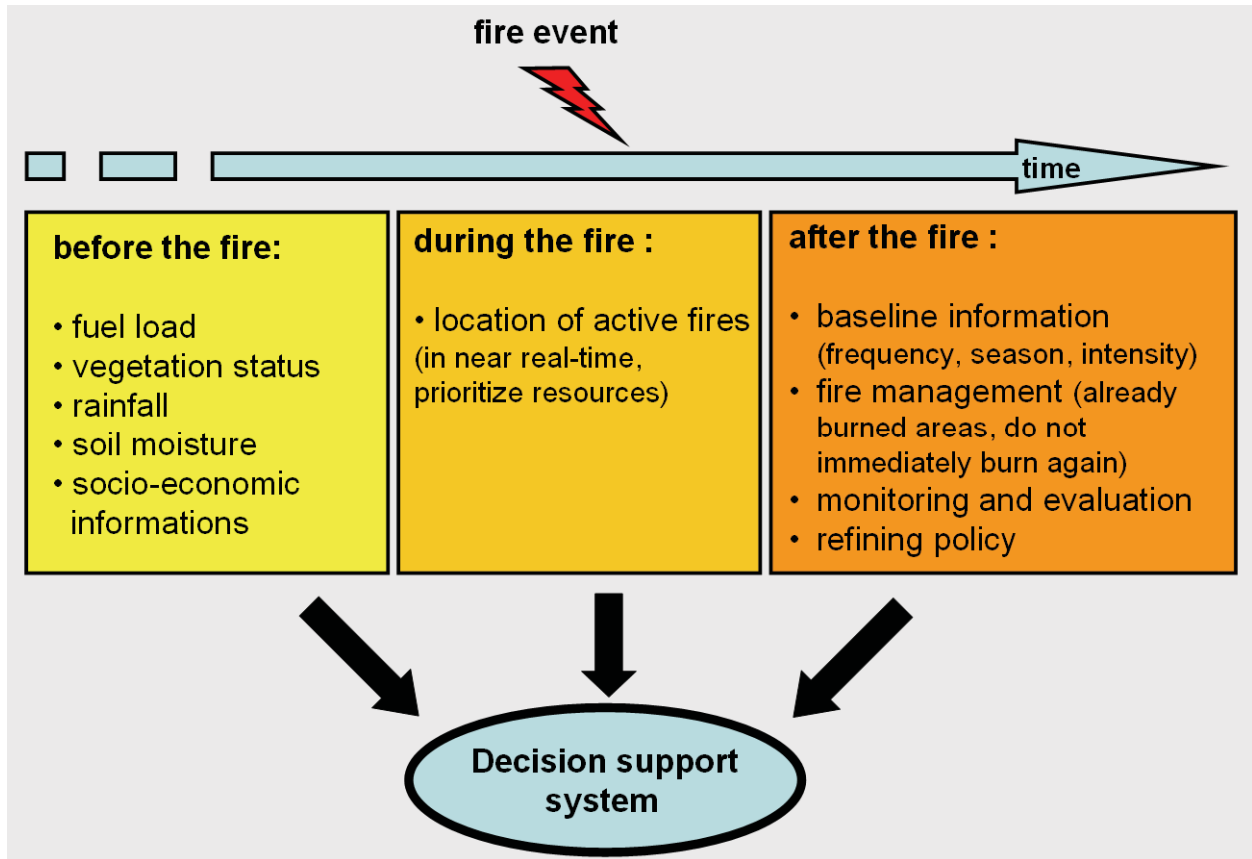


Abb. III.1.3-13: Konzept des SDSS iMABFIRE.

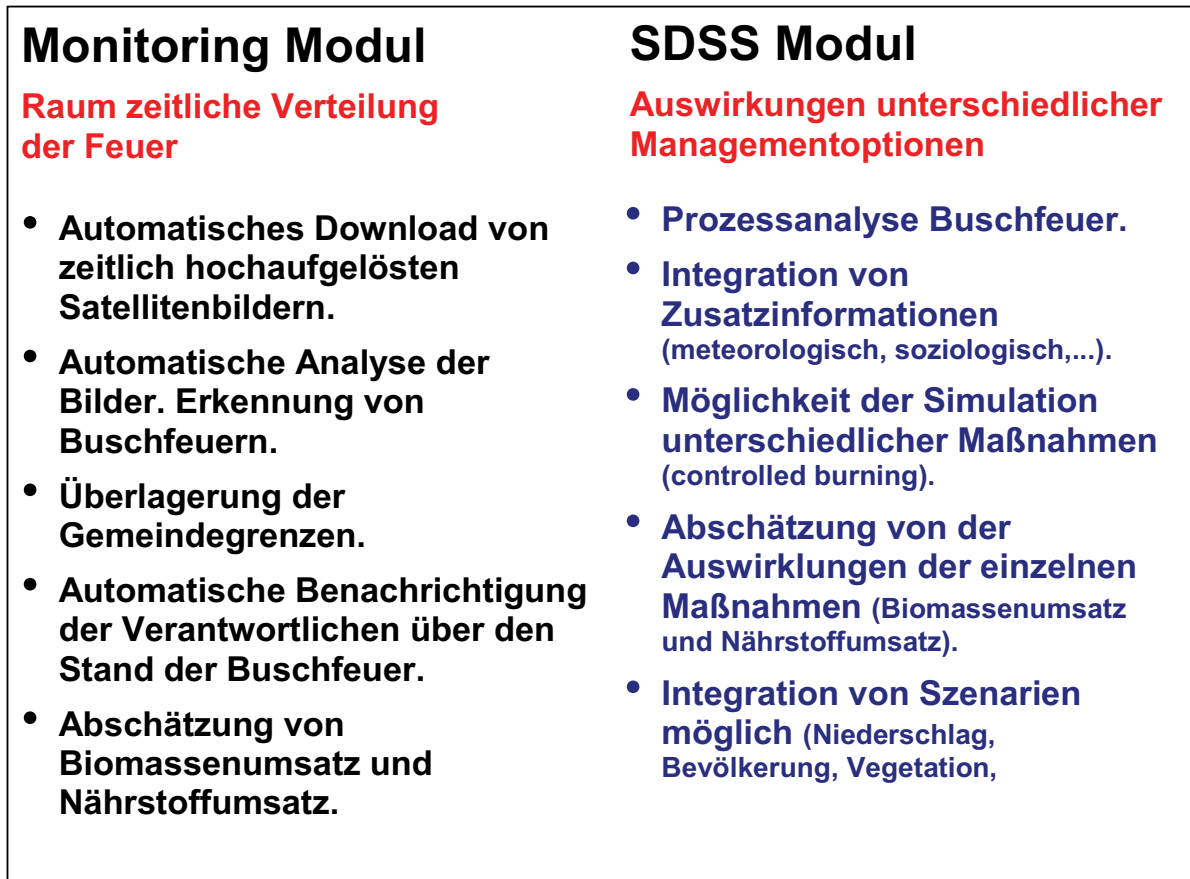
Neben der direkten Nutzeranwendung für Behörden und Entwicklungsgesellschaften bietet die Erfassung raumzeitlicher Dynamik der Buschfeuer aus wissenschaftlicher Sicht wertvolle Informationen für weitergehende ökologische Studien.

### Allgemeine Beschreibung von iMABFIRE

Ein effizientes Feuermanagementsystem benötigt zuverlässige Informationen bezüglich der raumzeitlichen Verteilung der Feuer, auf deren Grundlage angemessene Entscheidungen getroffen und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden können. Bisher zugängliche Informationen wie zum Beispiel die aus MODIS abgeleiteten Feuerprodukte (z. B. MODIS *fire products*, [<http://edcdaac.usgs.gov/modis/dataproducts.asp#mod14>]) sind aufgrund der schlechten räumlichen Auflösung sowie einiger methodischen Probleme (nur zum Zeitpunkt des Überflug des Satelliten aktive Feuer werden erkannt) unzureichend. Auch fehlen Datenbanken, die Aufschluss über die Raummuster der Feuer in Benin geben.

Bei der Entwicklung eines Feuermonitoringsystems muss, besonders vor dem Hintergrund der schwachen ökonomischen Situation Benins, darauf geachtet werden, anfallende Kosten zu minimieren. Des Weiteren muss eine Anwendbarkeit auch für weniger geschultes Personal zu garantieren (vgl. SPETH 2005).





**Abb. III.1.3-14:** Darstellung des Modularen Aufbaus von iMABFIRE. Es besteht aus einem Monitoring System und einem räumlichen Entscheidungsunterstützungssystem (SDSS)

Vor diesem Hintergrund wird iMABFIRE so konzipiert, dass ein Großteil der relevanten Informationen aus frei verfügbaren Datensätzen abgeleitet wird, die Prozessierungsketten weitgehend automatisiert arbeiten und die Bedienung sehr nutzerfreundlich gestaltet ist. Allerdings wird angesichts der Komplexität des Themas auf „Capacity Building“ Maßnahmen für eine eigenverantwortliche Systempflege und Systemweiterentwicklung durch qualifiziertes Fachpersonal nicht ganz verzichtet werden können. Der Modulare Aufbau von iMABFIRE wird in **Abb. III.1.3-14** erläutert.

### Monitoring Modul von iMABFIRE

Die Räumuster der Buschfeuer werden nicht durch das Monitoring der aktiven Feuer erkannt, sondern es werden gebrannte Flächen über Unterschiede in der Reflektanz ermittelt. Die Klassifikation der gebrannten Flächen erfolgt durch eine Zeitreihenanalyse von Reflektanz-Daten des MODIS-Sensors. MODIS steht für *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, das von der NASA (*National Aeronautic and Space Administration*) betrieben wird. Dieser Fernerkundungssensor ist auf zwei Satelliten, AQUA und TERRA montiert. Sie decken einen Großteil der Erdoberfläche täglich ab. Die MODIS Daten werden von der NASA täglich verarbeitet und als Level 2G Format für jeden zugänglich gemacht. Level 2G Format bedeutet, dass die Daten räumlich korrigiert sind und in 2.400 x 2.400 km Kacheln vorliegen. Die Auflösung dieser Daten beträgt je nach Spektralbereich zwischen 250 m x 250 m und 1000 m x 1000 m. Prinzipiell können die Daten sowohl vom Terra- (MOD09GHK), als auch vom Aqua-Satelliten (MYD09GHK) bezogen werden, wobei sich

die bisherige Arbeit nur mit dem Terra-Satelliten beschäftigt hat. Eine tägliche Szene ist durchschnittlich 150 MB groß.

### ***Download der MODIS Bilder***

Ein Skript zum automatischen Herunterladen der MODIS-Bilder wurde in Perl programmiert. Es wurde so entwickelt, dass es problemlos im Hintergrund arbeitet und selbsttätig zu einer definierten Uhrzeit den Downloadvorgang startet. Prinzipiell lässt sich das Skript leicht abändern, um auch andere MODIS-Produkte zu beziehen. Eine Einschränkung ergibt sich jedoch daraus, dass das Programm an die FTP-Verzeichnisstruktur des LP DAAC – Datapool sowie die Namensgebung der MODIS Level 2G / 3 Dateien angepasst ist. Die Verzeichnisstruktur besteht darin, dass für jedes Produkt ein separates Verzeichnis existiert. In dem jeweiligen Verzeichnis gibt es Unterverzeichnisse für unterschiedliche Aufnahmezeiten. Die Dateien des Level 2G / 3 Formats enthalten in ihrem Namen eine Angabe zur geographischen Position der jeweiligen Kachel (z. B. h18v07). Das Skript öffnet die Verzeichnisse der gewünschten Produkte, durchläuft die Unterverzeichnisse, beginnend mit dem jüngsten, und sucht nach den gewünschten Szenen. Werden Dateien gefunden, wird überprüft, ob diese schon auf dem lokalen Rechner existieren. Ist dies nicht der Fall, beginnt der Downloadvorgang. Sollten bei dem Download dabei Fehler auftreten (z. B. falls der Server nicht erreichbar sein sollte), wird der Prozess nach einer Stunde erneut gestartet. Diese Routine läuft inzwischen seit etwa 7 Monaten und kann dieses Jahr in Benin implementiert werden.

### ***Prozessierung der MODIS Bilder- Erkennung der gebrannten Flächen***

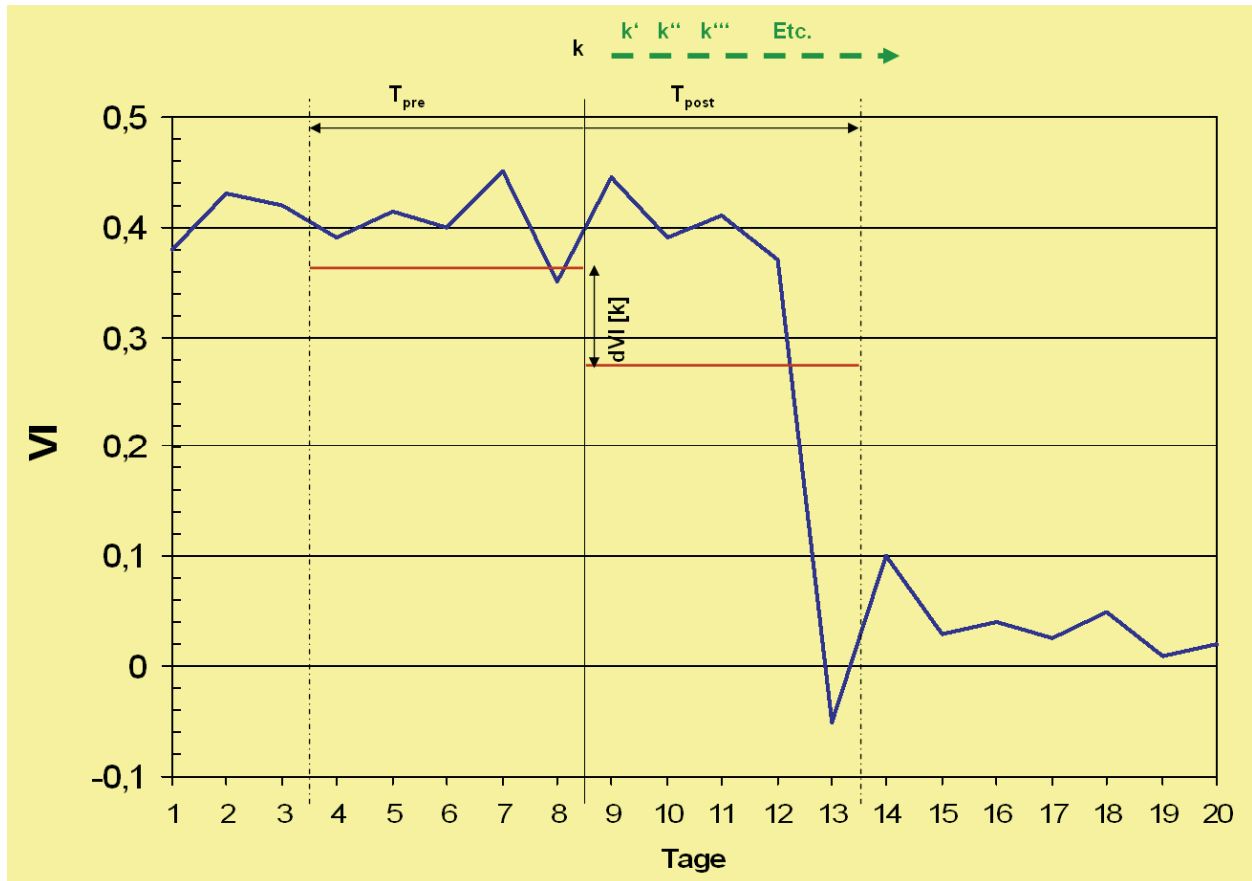
Die Prozessierung der gebrannten Flächen richtet sich nach bereits bekannten Algorithmen. Als einer der stabilsten Algorithmen wird der von ROY et al. (2005) beschriebene bewertet. Allerdings wurde auf Grund der zeitlichen Umsetzbarkeit auf einen Algorithmus von GIGLIO et al. (2005) zurückgegriffen. Der hiervon übernommene Teil soll nachstehend kurz beschrieben werden:

Kern des Algorithmus ist es, eine zeitliche Veränderung im täglichen Vegetationsindex (VI) zu detektieren. Der Vegetationsindex wird aus den Bändern 5 (1.2  $\mu\text{m}$ ) und 7 (2.1  $\mu\text{m}$ ) berechnet:

$$VI = \frac{\rho_5 - \rho_7}{\rho_5 + \rho_7}$$

Die zeitliche Veränderung wird mit Hilfe zweier „moving windows“ bestimmt, welche je eine Dauer von  $W = 5$  Tage abdecken. Das Prinzip der „moving windows“ ist in **Abb. III.1.3-15** dargestellt.





**Abb. III.1.3-15:** Erkennung der gebrannten Flächen nach dem Prinzip der „moving windows“ (Erläuterung im Text)

Für den  $k$ -ten Tag der Prozessierung werden die Vegetationsindizes der vorausgehenden 5 Tage ( $VI_{pre}(k)$ ) sowie der nachfolgenden 5 Tage ( $VI_{post}(k)$ ) gemittelt. Über die Differenz von  $VI_{pre}(k)$  und  $VI_{post}(k)$  kann nun die Höhe des Abfalls im Vegetationsindex zum Zeitpunkt  $k$  ermittelt werden:

$$\Delta VI(k) = VI_{pre}(k) - VI_{post}(k)$$

Als letzten Schritt wird über einen bestimmten Zeitraum, z. B. 7 Tage, die maximale Differenz gesucht:

$$\Delta VI_{.max}(i) = \max[\Delta VI(i * 7) : \Delta VI((i * 7) + 6)]$$

Die Erkennung der Brandflächen erfolgt dann anhand eines Schwellenwertes, der anhand der Analyse von Fernerkundungsszenen mit einer höheren räumlichen Auflösung (LANDSAT, ASTER, DROHNEN) abgeleitet wurden.

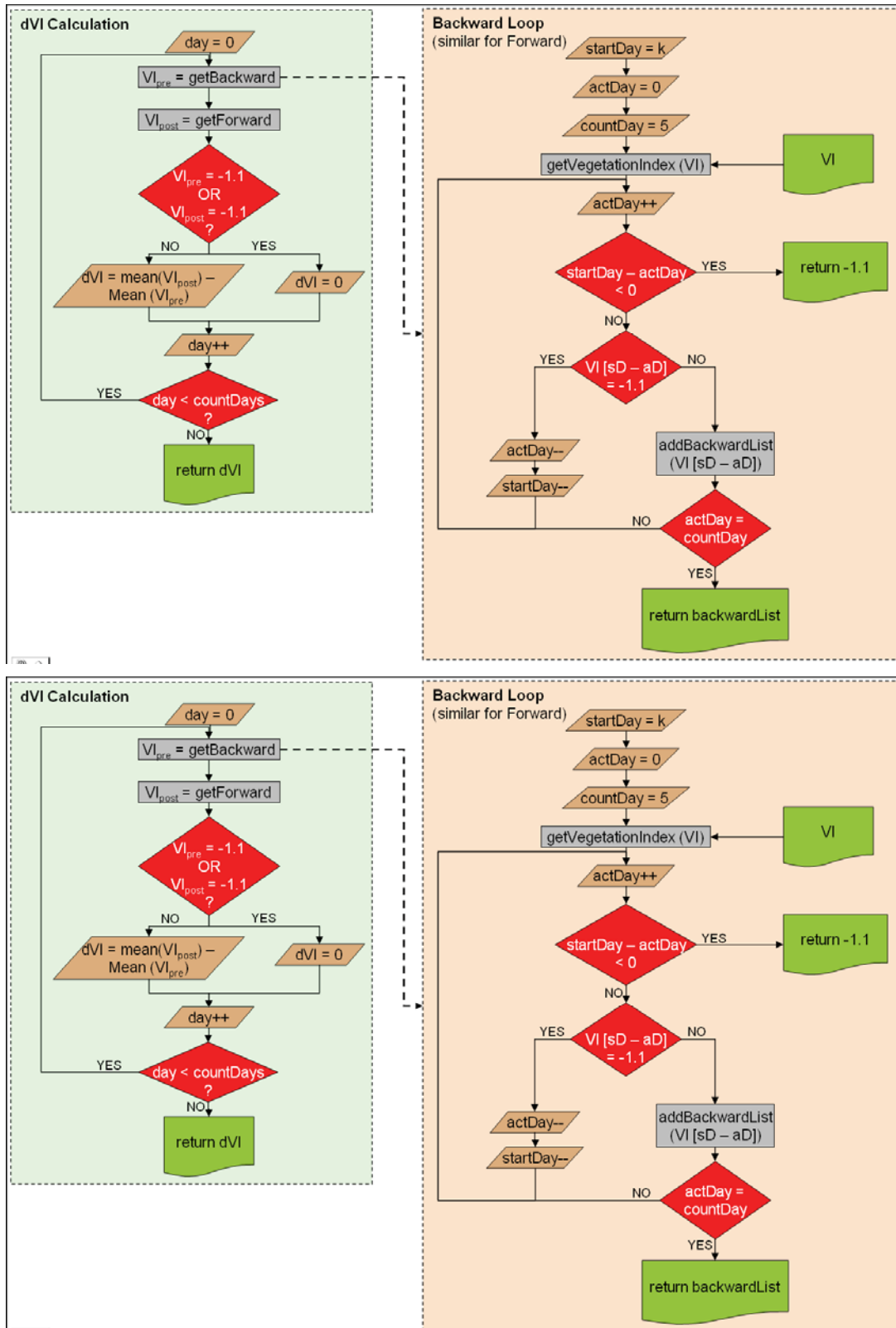


Abb. III.1.3-16: Blockdiagram der Zeitreihenanalyse zur Berechnung des Vegetationsindex

**Validierung der Ergebnisse**

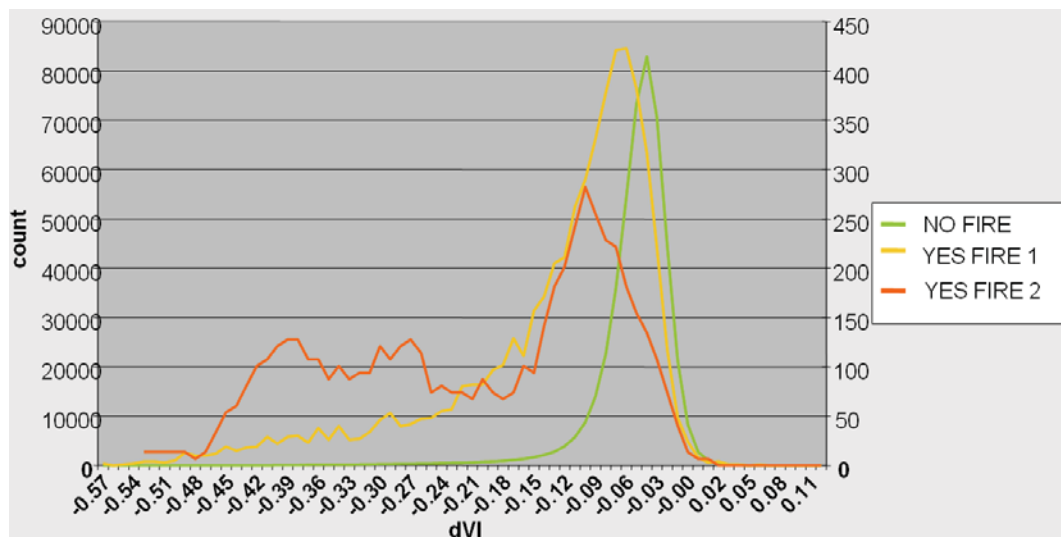
Die Unterteilung in gebrannte und nicht gebrannte Flächen erfolgt anhand von Schwellenwerten. Um einen Schwellenwert für die Differenz des Vegetationsindizes ( $\Delta VI$ ) zu finden, mit dem man

die Ergebnisse in gebrannte und nicht gebrannte Flächen unterteilen kann, greifen ROY et al. (2005) auf einen Vergleich mit den MODIS Feuerprodukten zurück. Dieser Ansatz konnte hier nicht nachvollzogen werden, da die Ergebnisse des  $\Delta VI$  mit den Feuerprodukten von MODIS nur eine geringe Übereinstimmung zeigten (**Abb. III.1.3-17**). Auffällig waren allerdings folgende Besonderheiten: zum einen wurden fast 4-mal soviel Flächen als gebrannt ausgewiesen als Feuerflächen im MODIS Feuerprodukt angegeben wurden. Zum anderen zeigt sich aber besonders an Flächen, die während einer 7-Tages-Periode mehr als einmal als Feuer detektiert wurden, eine gewisse Übereinstimmung zu dem  $\Delta VI$ . Diese Übereinstimmung ist aber statistisch nicht genug abgesichert, um daraus einen Schwellenwert ableiten zu können.

Um die die Güte der Ergebnisse zu verbessern sowie einen statistisch belastbaren Schwellenwert zu erhalten, wurden die Ergebnisse der Feuerdetektion mit einer Szene von Landsat ETM7 (16.12.2001) verglichen. Dieser Vergleich gibt deutlich verbesserte Interpretationsmöglichkeiten, beinhaltet jedoch mehrere Probleme:

- Die unterschiedliche räumliche Auflösung der beiden Satellitenprodukte (30 m x 30 m LANDSAT vs. 500 m x 500 m MODIS)
- Da es sich bei dem Landsat-Produkt um nur eine einzelne Szene handelt, lässt sich nicht ohne weiteres feststellen, wann genau eine Fläche gebrannt wurde

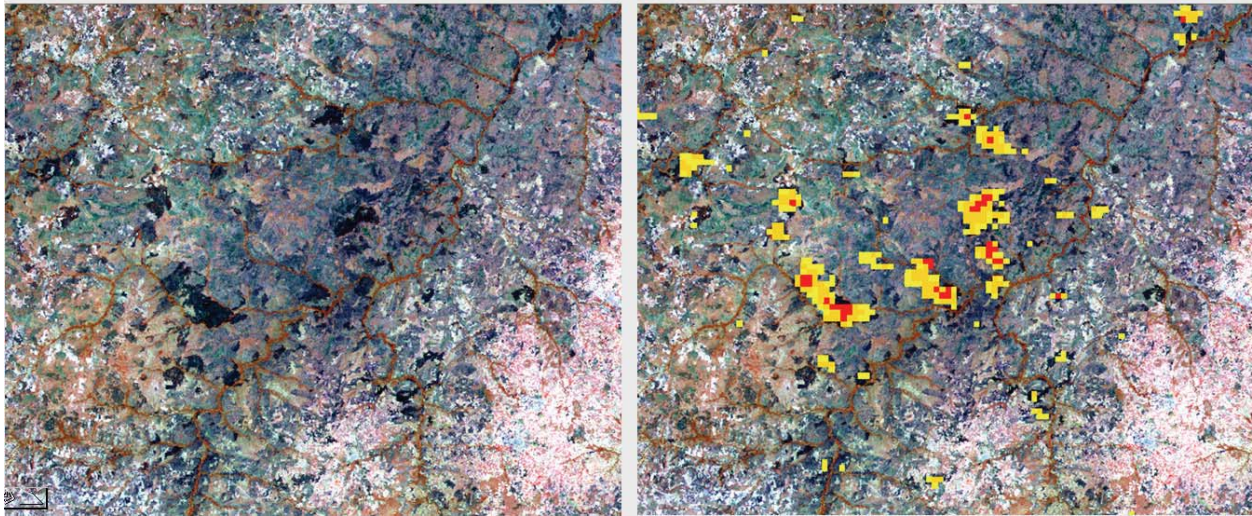
$\Delta VI$	1xFIRE	2xFIRE
> -0.125	3.422	51
- 0.15 < $\Delta VI$ < -0.125	464	17
- 0.2 < $\Delta VI$ < -0.15	565	14
< -0.2	1.057	82
<b>Omission Error</b>	<b>62%</b>	<b>31%</b>



**Abb. III.1.3-17:** Korrelation zwischen dVI und dem MODIS Feuerprodukt, „No Fire“ steht für nicht gebrannte Flächen, „Yes fire 1“ sind Flächen die mit großer Wahrscheinlichkeit gebrannt wurden, „Yes fire 2“ sind mit etwas geringere Wahrscheinlichkeit gebrannt

**Abb. III.1.3-17** zeigt den optischen Vergleich der gebrannten Flächen (schwarz) von LANDSAT vom Dezember 2001 und den aus MODIS Daten abgeleiteten gebrannten Flächen (rot, orange und

gelb). Es lässt sich eine gute Übereinstimmung erkennen. Das Ergebnis der Quantifizierung der Ergebnisse zeigt **Abb. III.1.3-18**.



**Abb. III.1.3-18:** Validierung der aus MODIS Daten abgeleiteten „burned areas“ anhand von LANDSAT daten. Die Abbildung links zeigt eine LANDSAT-Szene vom Dezember 2001 gebrannte Gebiete erscheinen schwarz. Rechts sind die für den Zeitraum aus Modis-Daten abgeleiteten „burned areas“ überlagert. Die unterschiedlichen Farben stehen für die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten

**Abb. III.1.3-18** zeigt eine Gegenüberstellung der Landsat-Klassifikation von Brandflächen mit den Werten aus dem  $\Delta VI$ . Auf der Abszisse sind die Differenzen der VI-Werte aufgetragen, auf der y-Achse sind die Häufigkeiten der übereinstimmenden Pixel mit der Landsat-Klassifikation aufgetragen. Wie sich leicht erkennen lässt, sind die beiden Kurven leicht verschoben, überdecken sich aber zu einem großen Teil. Besonders die große Abweichung im unteren Teil ( $< -0,15$ ) sprechen dennoch dafür, dass sich der  $\Delta VI$  in der Landsat-Klassifikation widerspiegelt.

Das belegt auch der Omission-Error, der für eine Klassifikation des  $\Delta VI$  berechnet wurde:

$\Delta VI$	Omission Error
$< -0.2$	13 %
$> -0.2$ UND $< -0.15$	31 %
$> -0.15$ UND $< -0.125$	48 %

Ein Vergleich mit anderen Methoden zur Bestimmung von gebrannten Flächen hat gezeigt, dass die gewonnenen Ergebnisse sowie die Einteilung der „Burned Area Mask“ in drei Stufen der Aussage-sicherheit sehr gute Ergebnisse bringen. Es werden weitere Validierungen durchgeführt, anhand von anderen Satelliten-Daten (IRS, ASTER, etc.) um einen stabileren Algorithmus zu entwickeln.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Das Monitoring System mit der automatischen Ableitung der gebrannten Flächen läuft robust und die Ergebnisse sind vielversprechend. Ein entsprechendes „*Finetuning*“ wird nach der Analyse der Feuerverteilung in der Trockenzeit 2006-2007 durchgeführt. Das System ist aber so ausgereift, dass es 2007 in Benin installiert werden kann. Zur Zeit werden Vergleiche zwischen den Ergebnissen aus der Analyse von täglichen MODIS Bildern und den Zehn-Tage Maxima durchgeführt. Falls die Verwendung der Zehn-Tage Maxima nicht zu signifikant schlechteren Ergebnissen führt, werden für das operationelle System diese benutzt, um das Datenvolumen geringer zu halten, was angesichts der in Benin zu Verfügung stehenden Bandbreiten für Datenverkehr von Vorteil wäre.

Im Moment wird an der Überlagerung und Verschneidung der „*burned area*“ Karten mit den Gemeindegrenzen gearbeitet, so dass ein Nichteinhalten von Gesetzen oder Vereinbarungen bezüglich Feuer automatisch erkannt wird. Diese Information soll dann den Verantwortlichen ebenfalls automatisch via E-mail, Fax oder SMS zugesandt werden.

### ***Stand der Arbeiten an dem SDSS***

Das SDSS Modul von iMABFIRE wird in der innerhalb von IMPETUS entwickelten in JAVA Programmierten offenen Modellierungsumgebung XULU realisiert werden.

Im Moment erfolgt eine Analyse der raumzeitlichen Feuerverteilung anhand von multivariater Statistik. Dabei werden Datensätze zur Erklärung der ökosystemaren Situation, z.B. Topographie, Landnutzung, Bodenbeschaffenheit, Klimaparameter wie Niederschlag und Wind als auch sozio-ökonomische Faktoren wie Bevölkerungsdichte, Siedlungsverteilung, Strassen- und Wegenetz, Landnutzungstechnik herangezogen.

Auf der Grundlage dieses so gewonnen Prozessverständnis werden Modelle zur Feuerausbreitung implementiert. Modelle zur Feuerausbreitung auf der Basis von Zellularen Automaten sind bereits in XULU realisiert. Im Moment wird daran gearbeitet, die Feuerausbreitung in Abhängigkeit der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zu modifizieren. Mit Hilfe dieses Moduls kann ein kontrolliertes Brennen geplant werden. Des Weiteren ist es möglich, Feuerschutzmaßnahmen („Pas Feu“) effizient anzulegen.

### ***Nutzer von iMAPFIRE***

In Benin besteht ein großes Interesse unterschiedlicher Institutionen an dem SDSS iMAPFIRE. Auf der einen Seite sind es Projekte, die den Erhalt der natürlichen Ressourcen zur Aufgabe haben wie ProPGTRN und PAMPF sowie deren Nachfolger. Auf der anderen Seite hat auch das INRAB großes Interesse, der Verarmung von Böden durch die späten Feuer entgegenzuwirken.

Grundsätzlich sollte das System vom CENTAEL (Nationales Fernerkundungszentrum) betrieben werden. Aktuell scheint dieses dazu wegen struktureller und personeller Problemen noch nicht in der Lage zu sein. Es ist aber zu hoffen und steht zu erwarten, dass sich im Rahmen von Umstrukturierungsmaßnahmen die Situation verbessern wird.

Wissenschaftlich verankert wird iMAPFIRE im universitären Umfeld am CIPMA (Zentrum für angewandte Mathematik und Modellierung) sowie im Geographischen Institut. Es ist geplant, dass diese Institutionen den Behörden Hilfestellung geben bei Wartung, Einpflege von neuen Daten sowie Anpassung und Weiterentwicklung des SDSS.

### **Literatur**

- Giglio, L., van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Collatz, G.J. & P. Kasibhatla (2005): Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. In: *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5, S. 11091 – 11141.
- Goldammer, J.G. & C. de Ronde (2004): *Wildland fire management, Handbook for Sub-Sahara Africa*. Global Fire Monitoring Center. One World Books.
- Hettig, F. (2002): *Haushaltsökonomie und soziale Organisation in Zentralbenin am Beispiel des Dorfes Doguè, Ouémé Region*. Master's thesis, Institut für Völkerkunde der Universität zu Köln
- NASA MODIS HOMEPAGE: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>
- Oertel, D., Zhukov, B., Thamm, H.-P., Roehrig, J. & B. Orthmann (2004): Space-borne high resolution fire remote sensing in Benin, West Africa. In: *International Journal Remote Sensing (IJRS)* 25 (11), S. 2209-2216.
- Orthmann, B. (2005): *Vegetation ecology of a woodland-savanna mosaic in central Benin (West Africa): Ecosystem analysis with a focus on the impact of selective logging*. Dissertation, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock.
- Roy, D.P., Jin, Y., Lewis, P.E. & C.O. Justice (2005): Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. In: *Remote Sensing of Environment* 97, S. 137 – 162.
- San-Miguel-Ayanz, J, Carlson, J.D., Alexander, M., Tolhurst, K., Morgan, G., Sneeuwjagt, R. & M. Dudley (2003): *Current Methods to Assess Fire Danger Potential*. In: Chuvieco, E. (ed.): *Wildland fire danger estimation and mapping – The role of Remote Sensing data*. Volume 4, Series in Remote Sensing. World Scientific Publishing Co. Pty. Ltd., Singapore. 2, S. 21 – 61.
- Speth, P., Dieckrüger, B., Christoph, M. & A. Jaeger (2005): *IMPETUS West Africa, Scenario building process and problem cluster*. In: *IMPETUS Publikationen* (<http://www.impetus.uni-koeln.de/>).
- Tandjiékpon, A. (2001): *Fire Situation in Bénin*. In: *International Forest Fire News (IFFN)* 25, S. 2-4.





### III.1.4 Gesellschaft und Gesundheit

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser führt zur Reduzierung von Krankheiten und zu wirtschaftlichen Wachstum (UNDP, 2006). Auch wenn Benin zu den wenigen afrikanischen Ländern zählt, die genügend Geld für das Erreichen der Millenniumszielen in Bezug auf die Wasserversorgung investieren, steht das Land immer noch im Ranking des „Human Development Index“ (HDI) auf dem 163ten Platz von 177 Ländern (UNDP, 2006) und weltweit auf einem der zehn letzten Plätze der Skala des „Water Poverty Index“ (WPI) (Lawrence, P. et al., 2003). Im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Benin wurden die Bereiche Dezentralisierung, Wasserversorgung, Umwelt und Schutz ländlicher Ressourcen als Interventionsschwerpunkte definiert. Die Verbesserung des Zugangs zu sauberem Trinkwasser steht auch im Vordergrund der Entschuldungs- und Armutsbekämpfungsinitiative der Weltbank für Benin. Vor diesem Hintergrund liefern die Forschungsergebnisse zum gesellschaftlichen Umgang mit Wasser wichtige Informationen für die Umsetzung dieser Politiken. Die zentralen Zwischenergebnisse des Themenbereichs „*Gesellschaft und Gesundheit*“ im Jahr 2006 sind in den folgenden Problemkomplexen gruppiert und zusammengefasst.

**(PK Be-G.1)** Demographische Projektionen für das Ouémé-Einzugsgebiet: nach den Berechnungen der Bevölkerungsprojektionen auf National-, Departement- und Gemeindeebene wurden die Projektionen bis 2025 auch auf Arrondissement- und Dorfebene für die drei IMPETUS Szenarien durchgeführt (594 Arrondissements, 3742 Dörfer in Gesamtbenin).

**(PK Be-G.2)** Wassermanagement und institutioneller Wandel: Mittels einer Politikfeldanalyse wurden die Konflikt- und Verhandlungsfelder im Wassermanagement seit der Dezentralisierung identifiziert und analysiert. Die Konflikte unterscheiden sich nach Akteuren und Art der Wasserstelle. Sie führen bis zur Exklusion von bestimmten Nutzergruppen.

**(PK Be-G.3)** Wasser und Existenzsicherung: ausführlich wurde ein Teil der Datenauswertung im Rahmen einer Doktorarbeit über „Geschlecht, Magie und Geld, sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika“ durchgeführt. Daran anlehnend erfolgte sodann eine ausführliche Analyse des gesamten Datenmaterials (Regionalsurvey 2004) im Kontext seiner Umwandlung in ein Informationssystem (IS).

**(PK Be-G.4)** Risikoabschätzung bezüglich des Auftretens von Malaria- und Meningitis-Erkrankungen unter dem Einfluss des heutigen und eines modifizierten zukünftigen Klimas: die verwendeten Malariamodelle konnten endgültig parametrisiert werden. Die Validierung der Modelle mittels MARA-Karten und zweier Malariastudien zeigt, dass das Malariaauftreten in Westafrika räumlich und zeitlich simuliert werden kann. Die auf der Grundlage von korrigierten REMO-Niederschlägen durchgeführten Malariasimulationen der Jahre 1960-2050 ermöglichen es nun die zukünftige Malariaverbreitung abzuschätzen. Die Untersuchungen im Falle der Meningitis sind problematisch, da zurzeit nicht genügend Daten bzgl. Meningitisfällen zur Verfügung stehen.

**(PK Be-G.5)** Bakteriologische und virologische Belastung von Trinkwasserquellen im oberen Ouémé-Einzugsgebiet: die Datenbank zu den Trinkwasserquellen wurde erweitert, eine Detektion chemischer mutagener Substanzen durch den sog. Ames Test wurde angewendet und verschiedene Capacity Building Maßnahmen wurden durchgeführt.

## PK Be-G.1 Demographische Projektionen für das Ouémé-Einzugsgebiet



### Problemstellung

Die demographische Entwicklung ist eine wesentliche Antriebskraft des Wandels von Ressourcennutzungsmustern und der wirtschaftlichen Entwicklung. Die Zunahme des Bevölkerungsdrucks auf Naturressourcen verursacht ihre Verknappung und häufig auch ihre Degradation und beeinträchtigt in der Folge die Existenzsicherung der Bevölkerung. Die Aufgabe des vorliegenden Problemkomplexes besteht in der Untersuchung der demographischen Entwicklung im Ouémé-Einzugsgebiet anhand der IMPETUS-Szenarien und der Erstellung demographischer Projektionen.

### Mitarbeiter

Uwe Singer

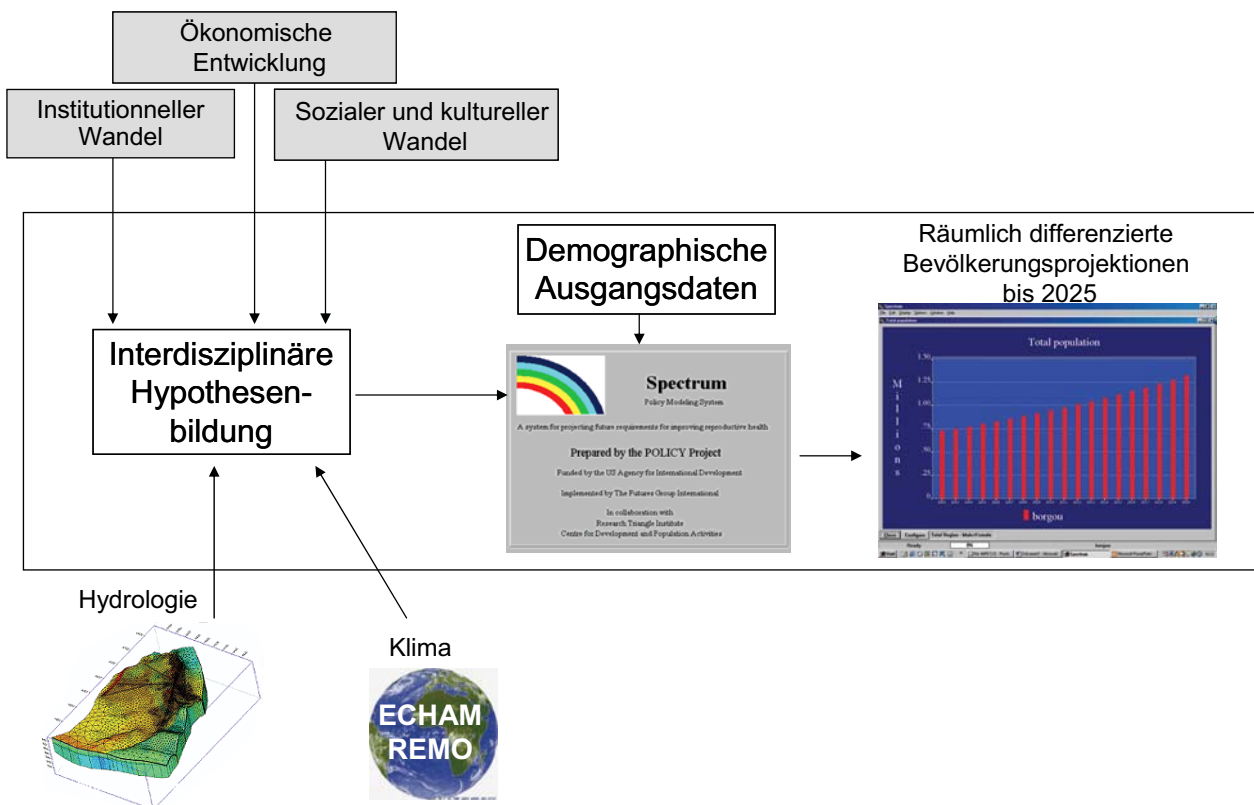
### Zielsetzung

Das Hauptziel ist die Erstellung der demographischen Entwicklung im Ouémé-Einzugsgebiet bis 2025, um sie anderen Problemkomplexen als Basisgröße der Modellierung zur Verfügung zu stellen.

### Modellierung

Die Erstellung von demographischen Projektionen basiert auf profunden Regionalkenntnissen und der interdisziplinären Hypothesenbildung bezüglich der wahrscheinlichen künftigen Entwicklung verschiedener demographischer Parameter.

**PK BE-G.1: Demographische Projektionen für das Einzugsgebiet des Ouémé**



**Abb. III.1.4-1:** Interdisziplinäre Zusammenhänge zur Berechnung der demographischen Projektionen

Die Projektionen wurden mit dem Expertenmodell Spectrum/DemProj (STOVER and KIRMEYER, 2005) auf Basis der demographischen Daten (Bevölkerungszahlen, Fertilitäts-, und Migrationsraten) aus dem Zensus 2002 und der Annahmen zur zukünftigen Fruchtbarkeitsrate, Lebenserwartung und der Migration berechnet.

**Stand der bisherigen Arbeit**

Im Jahr 2006 wurden die demographischen Projektionen bis zum Jahr 2025 für insgesamt 594 Arrondissements und 3742 Dörfer für die IMPETUS-Szenarien BI, BII und BIII berechnet. Diese Projektionen wurden den Hydrologen für die Berechnung des häuslichen Wasserverbrauchs zur Verfügung gestellt.

**Tab. III.1-10:** Die bisherigen abgeschlossenen demographischen Projektionen

Administrative Ebene	IMPETUS-Szenarien		
	BI	BII	BIII
Benin	✓	✓	✓
Alle Departements (12)	✓	✓	✓
Alle Kommunen (77)	✓	✓	✓
Alle Arrondissements (594)	✓	✓	✓
Alle Kommunehauptstädte (77)	✓	✓	✓
345 Dörfer im HVO	✓	✓	✓
3742 Dörfer Benins	✓	✓	✓

Wie auf Departements- und Gemeindeebene bleiben die demographischen Disparitäten bis ins Jahr 2025 grundsätzlich auf Arrondissements- und Dorfebene bestehen. Obwohl Zentral- und Nordbenin eine hohe Bevölkerungswachstumsrate (durch Geburten und Migrationen) aufweisen, weisen die südliche Arrondissements und Dörfer generell bis 2025 die höchste Bevölkerungsdichte Benins vor.

### **Ausblick für 2007**

Ab Mitte März 2007 wird M. Heldmann wieder die Arbeit in diesem PK übernehmen, um (a) ein demographisches Informationssystem für Benin bereitzustellen und (b) die Interventionsszenarien zu berechnen, die zuerst projekteinheitlich formuliert sein müssen. Das demographische Informationssystem soll die Projektionen der Bevölkerung nach IMPETUS-Szenarien auf National-, Departements-, Gemeinde-, Arrondissements- und ggf. Dorfebene beinhalten und ihre Visualisierung ermöglichen.

## **PK Be-G.2 Wassermanagement und institutioneller Wandel**

### **Problemstellung**

Die Wasserknappheit in Benin ist weitgehend eine Folge sozial und politisch bedingter Zugangsregeln und äußert sich daher weniger als ein Problem der absoluten Wasserverfügbarkeit als vielmehr des Zugangs zu sauberem Trinkwasser. Nach der Dezentralisierung und weiteren administrativen Reformen sind die Zuständigkeit und die Kompetenz der kommunalen Verwaltungen im Wassermanagement nicht klar definiert. Als Konsequenz verhindern die unterschiedlichen institutionellen Hemmnisse eine effektive Umsetzung der Reformen im Bereich des Wassermanagements. Als zentrales institutionelles Hemmnis ist die geringe Abflussrate der Finanzmittel innerhalb des Wassersektors zu nennen. Beispiele sind die ausbleibende Wartung des bestehenden Versorgungsnetzes und die verzögerte Standortwahl neuer Wasserstellen. Von besonderem Interesse ist hierbei, ob das kommunale Wassermanagement zu einer optimaleren Versorgungssituation führen wird. Die Umsetzungsprobleme der Reformen beziehen sich nicht nur auf Trinkwasserstellen, sondern vor allem auf die immer zahlreicheren Kleinstauseen. Da das Wassermanagement derzeit von institutioneller Unsicherheit geprägt ist, hängt seine Ausgestaltung stark von den Partikularinteressen und -strategien der beteiligten Akteure ab. Dies erfordert eine zwischen den Departements vergleichende Politikfeldanalyse zum Verständnis neuer Managementweisen als Basis des Kompetenztransfers durch IMPETUS.

### **Mitarbeiter**

**Valens Mulindabigwi**, Nassirou Bako-Arifari, Kerstin Hadjer , Uwe Singer

### **Zielsetzung**

Ziel des Problemkomplexes ist es, die veränderten Planungs- und Implementierungspraktiken des Wassermanagements im Kontext der Sektorreformstrategien und der Dezentralisierung zu verstehen. Dieses Verständnis stellt zum einen die unabdingbare Voraussetzung dar, um IMPETUS-Transferprodukte im Bereich des Wassermanagements sinnvoll zu platzieren. Zum anderen soll der Wissenstransfer über neue Managementregime im Bereich der Wasserversorgung an zuständige Wasserinstitutionen zu einer effizienteren Planungspraxis im Sinne eines Capacity Buildings beitragen. Basis für den geplanten Wissenstransfer sind die analysierten „best“ und „worst practices“, die in einem Vergleich zwischen verschiedenen Verwaltungseinheiten identifiziert werden.

### **Politikzyklusmodell**

Das Politikzyklusmodell als zugrunde liegende Denkfigur der Politikfeldanalyse ist ein Expertenmodell. Es teilt den politischen Prozess in die Phasen Problemdefinition, Agendasetzung, Politikformulierung, Politikimplementierung, Reformulierung und Termination ein (NILL, 2002). In jeder Phase sind unterschiedliche Akteure beteiligt, die neben der eigentlichen Wasserpolitik auch ihre Eigeninteressen (z.B. Außenpolitik der Geber, Konkurrenzen zwischen Gebern, politische Macht-

kämpfe auf der nationalen bis lokalen Ebene) verfolgen, so dass es zu einer Zielverschiebung während des Prozessverlaufs kommt.

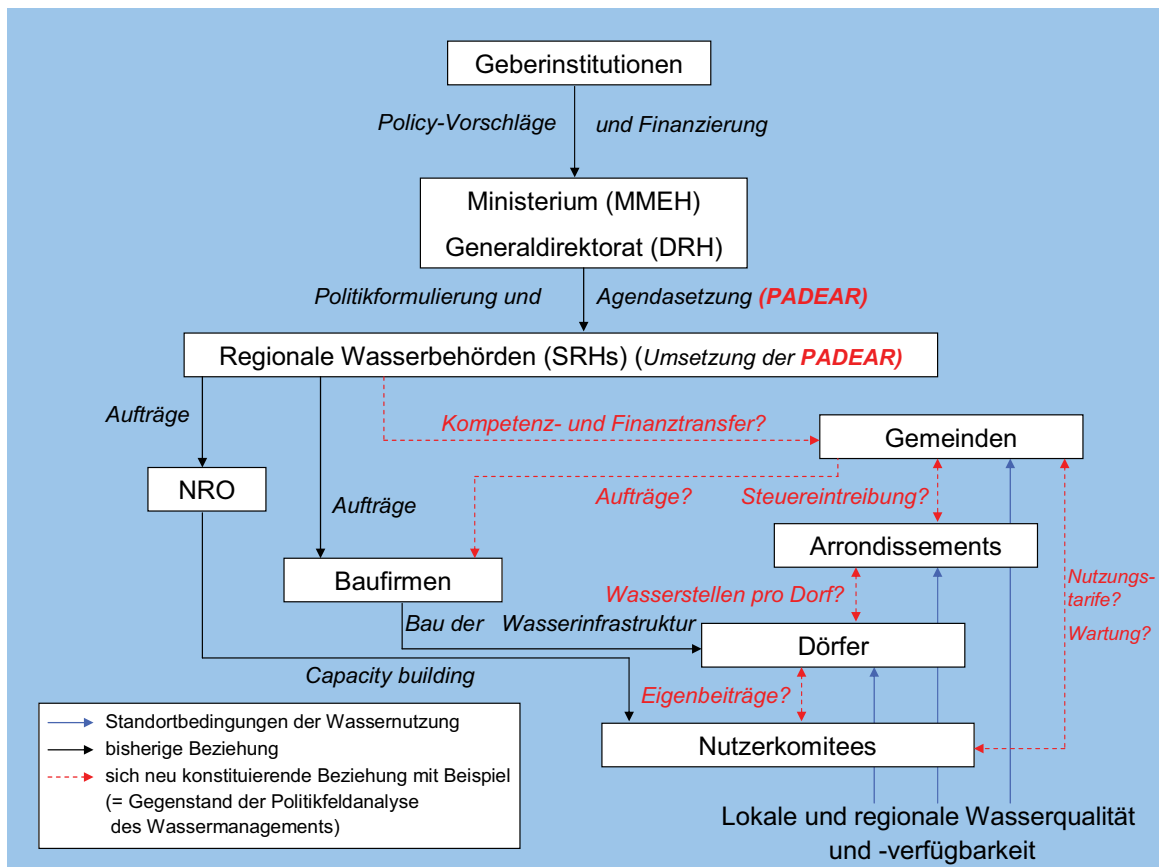


Abb. III.1.4-2: Blockdiagramm: Die institutionelle Landschaft des Wassersektors in Benin als Basis der Politikfeldanalyse

### Stand der bisherigen Arbeiten

Im Rahmen des Problemkomplexes „Wassermanagement und institutioneller Wandel“ wurden 2006 hauptsächlich folgende Arbeiten durchgeführt:

- Politikanalyse im Bereich des Wassermanagements,
- Veröffentlichung (MULINDABIGWI und SINGER, 2007),
- Entwicklung eines Informationssystems (IS),
- Capacity Building.

### Politikanalyse im Bereich des Wassermanagements und Veröffentlichungen

Die Ergebnisse der Politikanalyse im Bereich des Wassermanagements zeigen, dass nach der Dezentralisierung der Entscheidungsprozesse die im Wassersektor operierende Akteure noch nicht in der Lage sind, ein nachhaltiges Wassermanagement und eine effektivere Ressourcennutzung zu gewährleisten (siehe **Tab. III.1-11**).

Tab. III.1-11: Akteure, Konflikt- und Verhandlungsfelder im Wassermanagement

Akteure	Rolle	Konflikt- und Verhandlungsfelder
Staatliche Angestellte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beratung und Kompetenztransfer an Gemeinden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monopolisierung der Kompetenzen bei nur scheinbarem Transferprozess</li> </ul>
Geberländer- und EZ-Mitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finanzierung und technische Unterstützung beim Kompetenztransfer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangel an Vertrauen gegenüber Gemeindevertretern (Kompetenzen, Angst vor Politisierung)</li> <li>• Nachfragerorientierter Ansatz widerspricht den Dezentralisierungsgesetzen</li> </ul>
Nichtregierungsorganisationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung zwischen Programmen, Gemeinden und Nutzern</li> <li>• Weiterbildung der Nutzerkomitees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetzlich festgelegte Auftragsvergabe an NRO durch Gemeinden steht im Widerspruch zur tatsächlichen Praxis (Geber und SH)</li> </ul>
Private Baufirmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bau und Reparatur von Wasserstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht mehr SH und Gemeinden sind für Auftragsabwicklung zuständig, sondern das Ministerium (Minimum eines Auftrages: 30 Wasserstellen = mehr als 30 Mio CFA)</li> </ul>
Nutzerkomitees	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Management (Generierung von Fonds für Eigenbeitrag und Erhalt, Hygiene)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsvergabe an Handwerker, Privatfirmen und NRO im Managementbereich, die eigentlich eine Kompetenz der Gemeinden darstellt</li> <li>• Besitzstatus der Wasserstellen ungeklärt</li> <li>• Private Aneignung der Wasserstellen aufgrund mangelnder Fonds</li> </ul>
Gemeindevertreter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• umfassende rechtliche Kompetenzen im Wasserbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mangelnde Ressourcen zur Erfüllung der Aufgaben</li> <li>• schwieriger Prozess der Entstehung eines kommunalen Wassermanagements</li> <li>• Kompetenzen der Gemeinden im Wasserbereich werden von multiplen Akteuren nicht anerkannt</li> <li>• keine Erzwingungs- und Sanktionsbefugnisse</li> </ul>

Auf der lokalen Ebene sind ebenfalls unterschiedliche Konflikte rund um die Wassernutzung zu beobachten. Sie unterscheiden sich je nach Art der Wasserstelle und führen bis zur Exklusion von bestimmten Nutzergruppen (Tab. III.1-12).



**Tab. III.1-12:** Lokales Wassermanagement und Konfliktfelder

Art der Wasserstelle	Managementmodalitäten	Konfliktfelder
Kleinstaudämme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelungen der Nutzungskomitees (Bauern u. Viehhalter)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserzugang für Viehhalter über Korridore verändert das Bodenrecht</li> <li>• schwache staatliche Rege-lungskapazitäten</li> <li>• Exklusion von Nutzergruppen</li> </ul>
Erschlossene Sumpfgebiete (Bas-Fonds Aménagés)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelungen der landwirt-schaftlichen Kooperativen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aneignung landwirtschaftlich in Wert gesetzter „Bas Fonds-Flächen“ durch trad. Land-rechtstitelinhaber</li> </ul>
Nicht erschlossene Sumpfgebiete (Bas-Fonds Non-Aménagés)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traditionelle Landrechte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nichtautorisierte „Bas-Fonds-Nutzung“ durch Migranten</li> <li>• Entzug ihres Nutzungsrechtes als Folge</li> </ul>
Wasserläufe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traditionelle Landrechte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fischerei als Konfliktfeld zwischen Staat und Land-rechtsinhabern</li> <li>• Konflikte zwischen landwirt-schaftlichen Nutzern im Ufer-bereich und Landeigentümern</li> </ul>
Trinkwasserstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungskomitees</li> <li>• freier Zugang oder Wassertarife</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saisonalität und Knappheit beeinflussen Management</li> <li>• Baumwollkrise verhindert Generierung kollektiver Fonds</li> </ul>

Ausführlicher behandelt werden diese Ergebnisse im Kontext konstruktivistischer Ansätze der Wissenssoziologie und der Politikfeldanalyse in der demnächst erscheinenden Publikation

"Institutionelles Wissen an der Schnittstelle von Wasserpolitik und Dezentralisierung in Benin" (Singer und Bako-Arifari).

Der Erfolg von Managementsystemen im Wasserbereich hängt zu großen Teilen von Finanzierungspraktiken auf kommunaler Ebene statt. Da der Ländervergleich eine bewährte Methode zur Bewertung von Managementsystemen ist, wurde eine vergleichende Studie zur Gemeindefinanzierung zwischen Benin und Ruanda erstellt und als Artikel mit dem Titel " Geld für kommunale Haushalte in Benin und Rwanda " publiziert. Ausgangspunkt der Studie waren Finanzierungspraktiken in den Gemeinden, da sie das Wassermanagement maßgeblich beeinflussen. Der Artikel zeigt auf, dass die Dezentralisierung in Ruanda durch einen personalen und finanziellen Kompetenztransfer und nicht zuletzt durch die autoritär auftretende nationale Regierung erfolgreich ist. In Benin ist der Dezentralisierungsprozess hingegen aufgrund einer gewissen „laissez-faire“ Haltung von

Staat und Gebern ins Stocken geraten. Weil weder Finanzen noch Zuständigkeiten an die Kommunen übertragen wurden, bleibt ihre Handlungsfähigkeit im Entwicklungsprozess unter ihrem Potenzial. Grundsätzlich ist die vorherrschende politische Kultur in Benin aber demokratisch. Dies äußert sich beispielsweise in den genannten Community-Development-Ansätzen, dank derer die Bevölkerung partizipative Verfahren kennt. Würden die institutionellen Rahmenbedingungen in Benin zu Gunsten der Gemeinden geändert, könnte sich diese Legitimation auch im Wassermanagement als ein langfristig wichtiger Erfolgsfaktor erweisen.

### **Ausblick für 2007**

Für das Jahr 2007 sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

- (1) Fortführung der Forschungen zu Policy-Wissen und Praktiken im Wassermanagement;
- (2) Diskussionen mit den Gemeinden und anderen künftigen Nutzern des Informationssystems „Existenzsicherung im oberen Ouémé-Einzugsgebiet“.
- (3) In Zusammenarbeit mit R. Laudien wird das Informationssystem an die Anregungen der Nutzergruppen angepasst und im Oktober in Benin vorgestellt.
- (4) Veröffentlichung

### **Capacity Building**

Im Letzten Quartal 2006 wurde die Durchführung des Workshops „Die institutionelle Landschaft Benins inklusive der Gemeinden vor dem Hintergrund des IMPETUS Capacity Building“ organisiert. Dieser wurde vom 16. bis 17.11.06 von Valens Mulindabigwi und Uwe Singer durchgeführt. An diesem Workshop nahmen auch die externen Referentinnen und Referenten Frau Dr. I. Jung von InWent<sup>3</sup>, Herr M. Bernard von ZADI<sup>4</sup> und Herr I. Kpara der beninische Botschafter in Deutschland teil.

Ziel des IMPETUS Projekts in der Dritten Phase ist es u.a., Handlungsoptionen für den nachhaltigen Umgang mit Naturressourcen zu erarbeiten und diese zu vermitteln. Das zu vermittelnde Wissen soll an beninische Partner in Politik und Forschung transferiert werden. Dies wird durch Maßnahmen des Capacity Buildings in der Dritten Förderphase geschehen. Ziel des Workshops war eine gemeinsame Reflexion über die Möglichkeiten und Grenzen der Zielerreichung.

---

<sup>3</sup> InWent: Internationale Weiterbildung und Entwicklung

<sup>4</sup> ZADI: Zentrale Stelle für Agrardokumentation und -information



Abb. III.1.4-3a: Der beninische Botschafter I. Kpara beantwortete die Fragen zur Rolle der Gemeinden im Kontext der Entwicklung Benins; b: Ergebnisse der Arbeitsgruppen zur Frage der Faktoren des Wissenstransfers des IMPETUS Projekts

In Arbeitsgruppen wurden während des Workshops Begünstigungsfaktoren und Hemmnisse des Wissenstransfers sowie deren Überwindungschancen für ein erfolgreiches Capacity Building erarbeitet. Wie Abb. III.1.4-3b und Tab. III.1-13 zeigen, sind viele Hemmnisse des Wissenstransfers durch IMPETUS nicht zu beeinflussen.

Tab. III.1-13 Begünstigende Faktoren, Hemmnisse und Chancen ihrer Überwindung innerhalb des IMPETUS Capacity Buidlings

Gruppierungen	Begünstigungsfaktoren	Hemmnisse	Überwindungschancen
IMPETUS	• Interdisziplinarität IMPETUS	• Begrenzte Kenntnisse von Benin. Denkweise	• Weitergabe relevanten Wissens
	• Noch 2-3 Jahre Zeit	• Verschiedene räumliche Skalen (Bsp. ProCGRN)	• Nicht beeinflussbar
	• Schon lange Partner von IMPETUS	• zu späte Integration der Stakeholder	• Nicht beeinflussbar
	• Erreichbarkeit von Individuen	• Geringes Know-How & Infrastruktur auf Gemeindebene bzgl. Räumlicher Daten	• Capacity Building
	• Hohe Methodenkompetenz	• Erst in 20 Jahren relevant	• Sensibilisierung
	• Viele Daten vorhanden	• Wenig praxisrelevantes Wissen	• Bessere Einbindung der
	• Praktische Einsetzbarkeit	• Mangelnde Prozesseinsicht	

	für Counter Parts	Partner
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutsches Projekt</li> <li>• Sprachkenntnisse</li> <li>• Eigentumsrecht in Benin unsicher</li> <li>• Finanzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unveränderbar</li> <li>• Übersetzungen Publikationen /Atlas</li> <li>• Unveränderbar</li> <li>• Einbindung externer Geldgeber (EZ, DAAD)</li> </ul>
<b>Rahmenbedingungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Große Nachfrage</li> <li>• Vorhandene EZ &amp; NRO</li> <li>• Abhängigkeit vom IMPETUS</li> <li>• Wahrnehmung, dass IMPETUS gutes Wissen hat</li> <li>• Niederschlagsmonitoring</li> <li>• Technische Voraussetzungen erhält</li> <li>• Interesse an der Umsetzung</li> <li>• Kompetentes Personal bei Uni und ASCECNA</li> <li>• Großes Ausbildungsangebot</li> <li>• Akademische Ausbildung</li> <li>• DAAD Stipendiaten wieder vor Ort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kooperationsdialog</li> <li>• Nicht beeinflussbar</li> <li>• Erneute Kontaktnahme</li> <li>• Nicht beeinflussbar</li> <li>• Ausbildung der Schlüsselpersonen</li> <li>• Nicht beeinflussbar</li> <li>• Einbindung mehrerer Partner</li> <li>• Bedarfsanalyse nach Arbeitsebene</li> </ul>
<b>Ausbildung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitdruck EZ</li> <li>• Probleme im Wassermanagement</li> <li>• Kompetenz des Personals mangelt</li> <li>• Ignoranz</li> <li>• Wissen zur Stärkung von eigener Machtposition</li> <li>• Fehlende Motivation</li> </ul>	

## Literatur

UNDP (2003): Human development report; USA, New York, 440 S.

Lawrence; P., Meigh, J. & Sullivan, C. (2003): The Water Poverty Index: an International Comparison; Keele Economics Research Papers, <http://www.keele.ac.uk/depts/ec/wpapers/kerp0219.pdf> [15.01.2007]

Mulindabigwi, V. & Singer, U. (2007): Geld für kommunale Haushalte in Benin und Rwanda in E+Z, Entwicklung und Zusammenarbeit, Frankfurt, 48. Jahrgang, Februar 2007, S. 63-65

Stover, J. & Kirmeyer, S. (2005): DemProj, Version 4: A Computer Program for Making Population Projections--Spectrum System of Policy Models, <http://www.constellafutures.com/abstract.cfm/2280> [15.01.2007]

Nil, J. (2002): Wann benötigt Umwelt-(innovations)politik politische Zeitfenster? Zur Fruchtbarkeit und Anwendbarkeit von Kingdoms „policy window“ – Konzept; Diskussionspapier des IÖW 54/02; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH; Berlin, 38 S.

## PK Be-G.3 Wasser und Existenzsicherung



Wasser als produktives Gut in der Nahrungsherstellung

### Problemstellung

Zu zentralen Grundbedingungen für die Entwicklung effizienter Informationssysteme zählt ein fundiertes Verständnis sozialer und ökonomischer Handlungsstrategien der Bevölkerung. Vor diesem Hintergrund behandelt der vorliegende Problemkomplex die Frage danach, wie die ländliche und städtische Bevölkerung im HVO ihre Existenz sichert. Im ethnologischen Sinne lässt sie sich nur mit einer holistischen (ganzheitlichen) Betrachtung lokaler Lebensumstände beantworten.

Bei der Analyse zentraler Themenfelder wie Risikostrategien, Arbeit, Kapitalbildung oder Ernährung zeigt sich, dass Wasser auf allen Ebenen der Existenzsicherung eine wesentliche Rolle spielt. Zahlreiche ökonomische Aktivitäten sind von Wasser als produktivem Gut abhängig (z. B. Gartenbau, Herstellung von Getränken). Der Zugang ist jedoch nicht gleichmäßig verteilt, wodurch viele Menschen gezwungen sind, unsauberes Wasser zu trinken. Dies bedroht ihre Gesundheit und begünstigt Ausgaben, Arbeits- und Einkommensausfälle. Zahlreiche Bewohner und Bewohnerinnen tätigen regelmäßig Wasserzukauf, und in vielen Regionen erfordert Wasserknappheit besonders in der Trockenzeit Sicherungsstrategien wie informelles Networking. Es gilt, derartige Zusammenhänge zwischen Wasser und Existenzsicherung anhand einer statistisch repräsentativen Datenlage abzubilden und als Informationssystem (IS) verfügbar zu machen.

### Mitarbeiter

**Kerstin Hadjer**, Valens Mulindabigwi

### **Zielsetzung**

Der Problemkomplex zielt auf statistisch repräsentative Analysen von Bedingungen und Strategien lokaler Existenzsicherungsstrategien im HVO. Im Fokus steht dabei die Einbettung von Wassermanagement, -zugang und -qualität in soziales und wirtschaftliches Handeln. Über die Auswertung statistisch repräsentativer Datensätze werden zentrale Themen wie ‚Wasser als produktives Gut‘ oder Ernährungsunsicherheit generiert und mit den Themenfeldern Landzugang, Ressourcennutzung, Arbeit, Kapital(bildung), Medizin und Risikostrategien gekoppelt.

### **Datengrundlage: Statistisch repräsentativer Datensatz**

Erstmalig für Benin und Nachbarländer wurde als zentrale Datengrundlage ein statistisch repräsentativer Regionalsurvey zu Wasser und Existenzsicherung realisiert, in dem Frauen und Männer gleichwertig befragt wurden (420:419 Ps.). Daten aus Langzeitstudien zu komplexen sozialen Sachverhalten der Lokalebene des HVO dienten dafür als Basistools (Hadjer 2006). Eine Bevölkerungsbefragung ist nur dann statistisch repräsentativ, wenn die Fallzahl hinreichend ist, um die gesamte Bevölkerung zu repräsentieren.

Im Jahr 2004 wurde dieser Survey in sieben Gemeinden (Bassila, Djougou, Copargo, Ouaké, N’dali, Parakou, Tchaourou) des oberen Ouémé-Einzugsgebiets auf einer Gesamtfläche von 22.260km<sup>2</sup> durchgeführt. Hauptziel war dabei die Generierung statistisch repräsentativer sowie geschlechtsspezifisch, sozial und regional differenzierter Daten zur Existenzsicherung. Zielgruppe für die Anwendung der Ergebnisse sind Universitätsangehörige, Entscheidungsträger in Benin und andere IMPETUS-Teilprojekte. Letztere hatten die Möglichkeit, Fragen in den Survey zu integrieren. Die Ergebnisse werden nun für die jeweilige Modellierungsarbeit verwendet und sind in sechs Themenbereiche gruppiert: (1) Arbeit und Produktion, (2) Weiterverarbeitung und Handel, (3) Ernährung, (4) soziale Austauschsysteme, (5) Kapital, (6) Medizin und Wasser.

Insgesamt stellt die Datenbank das zentrale Transferprodukt des Teilprojektes A5 dar. Bereits im Dezember 2005 wurde in Parakou-Benin ein Gemeindeforum durchgeführt. In diesem Rahmen erhielten die Vertreter der jeweiligen sieben Gemeinden und ihrer entsprechenden Departements (Donga und Borgou) die Datenbank und nahmen an einer SPSS-Schulung teil. Eine kontinuierliche Evaluierung des Feedbacks auf die Maßnahme hat ergeben, dass das Programm SPSS eher für komplexe statistische Analysen geeignet ist, als für die von den Anwendern eigentlich benötigten Datenabfragen. Im Rahmen der ISDSS-Entwicklung wurde daraufhin in Zusammenarbeit mit R. Laudien das erste IMPETUS Informationssystem (IS) zur politischen Entscheidungsunterstützung entwickelt.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Im Rahmen des Problemkomplexes „Wasser und Existenzsicherung“ wurden 2006 hauptsächlich folgende Arbeiten durchgeführt:

- Durchführung von statistischen Signifikanztests
- Datenaufbereitung für ein Informationssystem (IS)

- Entwicklung eines IS und Datenintegration
- Ausformulierung von Analysebeispielen

### ***Durchführung von statistischen Signifikanztests***

In der Statistik gelten Unterschiede oder Zusammenhänge als signifikant, wenn die Wahrscheinlichkeit gering ist, dass sie durch Zufall zustande gekommen sind. Die Überprüfung statistischer Signifikanz geschieht unter Anwendung von – dem Datenmaterial angepassten – Signifikanztests, die eine Abschätzung der Irrtumswahrscheinlichkeit erlauben. Die im Jahr 2006 durchgeführten statistischen Signifikanztests zum Regionalsurvey bedienen folgende Fragestellung: „Sind die Variablen (Geschlecht, Einkommen, Altersklasse etc.) auf Kommunalebene signifikant, also repräsentativ?“

Vorgegeben wurden als Signifikanzniveau  $\alpha = 0,10$  und als Konfidenzintervall  $(1-\alpha) = 90\%$ . Bei der Betrachtung zweier Variablen müssen beide das gleiche Skalenniveau erfüllen. War eine Variable  $x$  metrisch, die Vergleichsvariable  $y$  ordinal skaliert, wurde auf den Rangkorrelationskoeffizient (Spearman) zurückgegriffen.

Da der Kontingenzkoeffizient (Pearson) zwei beliebig skalierte Variablen  $x$  und  $y$  voraussetzt, konnte er für die Analyse angewendet werden. Der am häufigsten für Kreuztabellen durchgeführte Test ist der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest. Er wurde vorliegend als Mehrfeldertafel-Test umgesetzt, da Merkmalsausprägungen der jeweiligen Variablen unterschiedlich waren (z. B. trägt die Variable „Kommune“ sieben Merkmale, die für die sieben Kommunen stehen; ja/nein –Antworten tragen hingegen nur die beiden Merkmale „ja“ und „nein“).

Insgesamt wurden 318 Variablen zu Wasser und Existenzsicherung durch die Tests Chi Quadrat, V Cramer und Pearson hinsichtlich Signifikanz auf der Gemeindeebene überprüft. Letztendlich erwiesen sich 241 Variablen als signifikant und damit 76 Prozent aller Variablen. Wie aus den Beispiel-Variablen (Y) der unten stehenden Tabelle ersichtlich, lassen sich die Ergebnisse anschaulich darstellen.



Tab. III.1-14: Statistische Signifikanztests von Variablen auf Gemeindeebene

Variable Y	Chi-Quadrat	Testergebnisse			Konfidenz-Intervall	unabhängig von X repräsentativ
	Zellen < 5	Chi-Quadrat	V Cramer	Pearson		
v03_00_0	0,0%	ok	0,109	0,237	98,8%	ja
v04_00_0	33,3%	ok	0,329	0,593	100,0%	ja
v05_00_0	81,8%	kritisch	0,609	0,830	100,0%	ja
v06_01_0	39,3%	ok	0,223	0,479	100,0%	ja
v06_02_0	53,6%	schlecht	0,244	0,513	100,0%	nein
v06_03_0	100,0%	schlecht	0,410	0,709	79,8%	nein
v07_01_0	0,0%	ok	0,244	0,237	100,0%	ja
v07_02_0	0,0%	ok	0,205	0,201	100,0%	ja
v07_03_0	50,0%	ok	0,276	0,266	100,0%	ja
v07_04_0	50,0%	schlecht	0,112	0,111	89,3%	nein
v07_05_0	50,0%	schlecht	0,102	0,101	80,8%	nein
v08_01_1	0,0%	ok	0,269	0,269	100,0%	ja
v08_01_2	46,4%	ok	0,180	0,404	100,0%	ja
v08_02_1	0,0%	ok	0,194	0,191	99,8%	ja

Variable X = Kommune

Hinter „v03\_00\_0“ verbirgt sich beispielsweise die Variable „Alter“ und die Ausgangsfrage „Wie alt sind Sie?“. Die nebenstehende Spalte resümiert das Ergebnis aus dem Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest. Je mehr Zellen (der Vierfeldertafel) eine erwartete Häufigkeit unter 5 haben, desto ungenauer ist die Aussage des Tests. In dem Beispiel liegt sie bei 0,0%. Damit gilt der Test nicht nur approximativ (wie z. B. in der Variable darunter), sondern hundertprozentig. Das Testergebnis lässt sich mit „ok“ bewerten (Spalte 3).

V Cramer und Pearson (Spalte 4,5) sind Kontingenzkoeffizienten (C), die ein Chi-Quadrat basiertes Zusammenhangsmaß abbilden. Beide geben die Stärke und die Art eines Zusammenhangs zweier Größen an. Vorliegend werden Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen und der Variable „Kommune“ geprüft. Beträgt „C = 0,0“, so besteht kein Abhängigkeitsverhältnis zur Variable X (Kommune). Erwartungsgemäß gibt es demnach keinen Zusammenhang zwischen dem Alter der Befragten und ihrer Zugehörigkeit zu einer der sieben Kommunen.

Das Konfidenzintervall (Spalte 6) gibt das Vertrauensintervall an, das sich aus dem Signifikanzniveau  $\infty$  ergibt. Mit einer Sicherheit von approximativ hundert Prozent (98,8%) kann man davon ausgehen, dass die Variable „Alter der Befragten“ für jede Kommune mehr oder weniger gleichmäßig verteilt ist. Oder anders formuliert (Spalte 7): „ja“, unabhängig davon, welcher Kommune die Befragten angehören, ist die Variable „Alter“ für alle sieben Kommunen repräsentativ.

Zusammenfassend konnten für die formulierte Fragestellung für 241 signifikante Variablen der Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest sowie die Kontingenzkoeffizienten nach Pearson und Craver V genutzt werden. Wie bereits in Hadjer (2006) ausführlich behandelt, traten dabei deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede hervor, deren multivariate Ausprägung in der weiteren Ausgestaltung des IS Berücksichtigung finden wird.

Zahlreiche, auf qualitativen Daten beruhende Hypothesen konnten statistisch repräsentativ belegt werden. Beispielsweise verfügen Frauen über geringere Geldsummen, die sie in kürzeren Zeitspan-

nen regelmäßiger erwerben als Männer. Männer erzielen im Jahresverlauf höhere Ertragsspitzen und verfügen im Durchschnitt über mehr Geld.

Die Verteilung ökonomischer Tätigkeiten im Regionalsample belegt, dass Frauen in landwirtschaftliche Aktivitäten nahezu ausschließlich über die Mithilfe bei Aussaat und Ernte, Gartenarbeit oder seltener über die Integration in eine Baumwollproduktionsgruppe eingebunden sind. Im Gegenzug dominieren sie den ganzjährigen Handel auf Märkten. Ihre in mehreren Bereichen als ‚benachteiligt‘ einzustufende Ausgangsposition (z. B. Zugang zu Krediten, Baumwollgruppen, festen Anstellungen) und die einher gehende erhöhte Vulnerabilität kompensieren sie durch ausgeklügelte Risikostrategien – beispielsweise erzielen sie ihre Erträge saisonal unabhängiger und mit weniger Risiken als ihre Männer.

### ***Datenaufbereitung für ein Informationssystem (IS)***

Ziel der Datenaufbereitung war es, integrierbare Formate der Variablen für ihre spätere Integration in ein Informationssystem (IS) zu entwickeln. Berücksichtigt wurden ausschließlich die 241 statistisch signifikanten – und damit für die jeweilige Kommune repräsentativen – Variablen.

Ein integrierbares Format stellt Excel dar. Da die ursprünglichen Daten mit dem Computerprogramm SPSS erstellt wurden, galt es nun, sie zwecks weiterer Aufbereitung in Excel zu exportieren. Die Aufbereitung geschah bislang in drei Schritten: (1.) nach Geschlecht, (2.) nach Kommune sowie (3.) kreuztabellarisch nach Geschlecht und Kommune. Beispielsweise filterten wir im ersten Schritt die Daten in SPSS nach den Merkmalen „männlich“ und weiblich“. Anschließend geschah der Datenexport in zwei Excel-Datenblätter, die Bestandteil der ISS-Exceldatenbank sind. Jedes dieser Blätter enthält somit geschlechtsspezifische Antworten auf die untersuchten Themenfelder. Interessiert sich ein Nutzer des ISS beispielsweise für die Sicht von Frauen auf Wasser und Existenzsicherung, so kann er selbige direkt abrufen, ohne auf die gesamte SPSS-Datenbank zugreifen zu müssen.

### ***Datenintegration und Entwicklung eines Informationssystems (PK Be-G.2, PK Be-G.3)***

Aus Testzwecken fand zunächst eine Einspeisung der gesamten Survey-Datenbank in das ISDSS statt. Zurzeit besteht das gelieferte Datenmaterial aus rund 120 verknüpften Datenblättern. Sie sind in fünf unterschiedliche Kategorien eingeteilt: *Données* (importierte Daten aus dem Survey), *Valeurs* (zugehörige Werte und Klassen), *Etiquettes* (Wiedergabe der Kodierung der Klassen), *Fréquences* (absolute Häufigkeit) und *Pourcentages* (relative Häufigkeit). Eingespeist wurden in das IS bisher:

- Der gesamte Datensatz (839 Fälle)
- Geschlechtsspezifische Abfragen auf Kommunalebene
- Zugehörige Datenblätter *Valeurs*, *Etiquettes*, *Fréquences*, *Pourcentages*
- Aufbereitete Daten nach Kommune und Geschlecht

### **Analysebeispiel: Wasserzukauf**

Wie häufig geben Bewohner und Bewohnerinnen des HVO für Wasser Geld aus? Wofür verwenden sie es anschließend? Sind sie auf den Zukauf angewiesen? Und welche Summen sind im Spiel? Diese und andere Fragen verbergen sich im Survey hinter einem Variablenkatalog zum Themenfeld Wasserzukauf. Das Beispiel veranschaulicht, wie wichtig eine lokale Kontextualisierung für die Interpretation statistisch repräsentativer Daten ist.

Vorstudien ergaben, dass ein Liter Pumpenwasser im Mittelwert 0,6 CFA kostet. Denn je nach Wasserquelle und Saison gibt die Bevölkerung für eine Schüssel Pumpenwasser, die durchschnittlich 28 Liter umfasst, fünf bis dreißig CFA aus (Mittelwert: 17,5 CFA). Legt man nun einen durchschnittlichen Pro Kopf-Wasserverbrauch von 18,7 Litern pro Tag zugrunde (Hadjer et al. 2005:357), liegen tägliche Ausgaben für Wasser bei durchschnittlich 28 CFA (0,04 €) pro Person und Tag. Im Regionalsurvey wurde ein Mittelwert von 33 CFA/Tag (0,05 €) erreicht (Hadjer 2006:180).

Die wichtige Frage danach, ob Wasserzukauf tragfähig ist, lässt sich also auf finanzieller Ebene zunächst bejahen – der Preis erscheint niedrig. Gleichzeitig belegen jedoch qualitative Daten, dass Wasserzukauf trotzdem häufig zu Konflikten führt: Es ist die Pflicht von Frauen, den Haushalt mit Wasser zu versorgen. Bei zunehmender Wasserknappheit verkürzt sich die verfügbare Zeit für ihre ökonomischen Aktivitäten auf Grund längerer Wegstrecken und Wartezeiten an den Pumpen. Das Pumpen-Management liegt in der Regel in Männerhand, die Verwaltung des gepumpten Wassers in Frauenhand. Zuständigkeiten für die Bezahlung des Wassers hingegen sind häufig ungeklärt. Dies führt gehäuft zu innerfamiliären Konflikten, denn viele Frauen wehren sich dagegen, das Wasser aus eigener Tasche zu zahlen. Sie berufen sich darauf, dass beim Nahrungszukauf auch beide Geschlechter zuständig seien.

Im HVO sind rund vierzig Prozent der Bevölkerung auf Wasserzukauf angewiesen, davon 17 Prozent ganzjährig. Die folgende Karte (**Abb. III.1.4-4**) veranschaulicht auf Kommunalebene, wie viele Menschen auf den Zukauf von Wasser angewiesen sind.

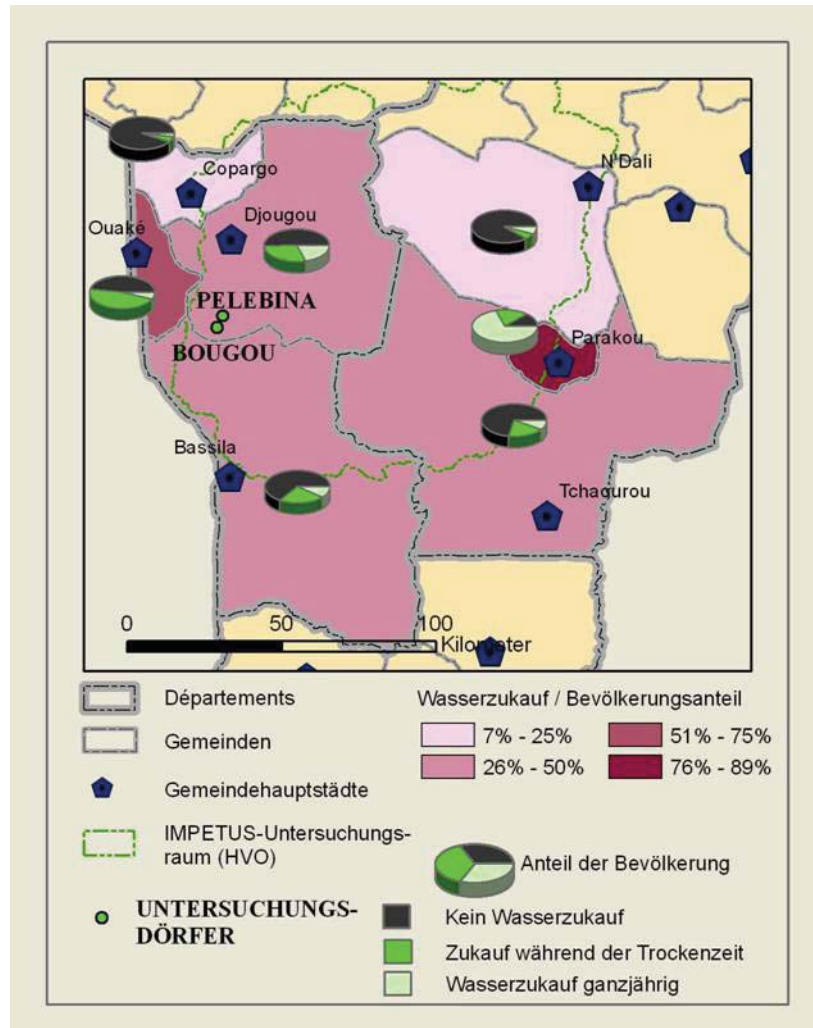


Abb. III.1.4-4: Wasserezukauf im HVO (Regionalebene, 2004, n=839)

Wie die Karte zeigt, tätigen je nach Kommune sieben bis knapp neunzig Prozent der Bevölkerung Wasserezukauf. Besonders in der Kommune Ouaké ist die Situation als präker einzustufen: Die Hälfte der Befragten ist auf Wasserezukauf angewiesen. Gleichzeitig liegt in Ouaké die schlechteste Wasserzugangssituation vor. Trotzdem vollziehen knapp sechzig Prozent der Menschen wirtschaftliche Tätigkeiten, für die man Wasser benötigt (z. B. Herstellung von Speisen, Gartenbau). Im Falle einer Dürre ist diese Region somit besonders gefährdet: Mit Abnahme verfügbaren Wassers sinken die ökonomischen Kapazitäten und steigt die Vulnerabilität. Wasser stellt damit im Kontext der Produktion einen limitierenden Faktor dar.

Regelmäßiger Zukauf findet vor allem in Städten statt, da Leitungswasser generell kostenpflichtig ist. Im urbanen Raum Parakou etwa gaben nur zehn Prozent der Befragten an, *nicht* vom Wasserezukauf abhängig zu sein. In der Stadt kaufen viele Frauen regelmäßig Wasser, um daraus Getränke und Eis herzustellen. Regionalunspezifisch und unabhängig vom Wohnort (Stadt/Land) sind Frauen generell stärker vom Wasserezukauf abhängig als Männer, da sie deutlich mehr ökonomische Tätigkeiten durchführen, für die Wasser als produktives Gut benötigt wird (z. B. Nahrungsmittelverarbeitung).

In Anbetracht des potentiell abnehmenden Wasserangebots (Barlow/Clarke 2003) erscheint es für eine präventive Entwicklungspolitik und generell für die staatliche Wasserpolitik angeraten, der Differenzierung einzelner Risikogruppen unter Berücksichtigung des weiten Spektrums ökonomischer Tätigkeiten mehr Beachtung zu schenken.

Denn nicht nur schlechter Wasserzugang, auch eine schlechte Wasserqualität wirkt sich direkt auf die Existenzsicherung der Bevölkerung aus. In der untersuchten Region ist ein Fünftel der Bevölkerung gezwungen, Trinkwasser aus unsauberem Wasserlöchern zu beziehen, davon 63 Prozent ganzjährig. Zu unmittelbaren Folgen von schlechtem Wasserzugang und/oder dessen schlechter Qualität zählen erhöhte Wartezeiten, längere Wegstrecken, Arbeitsausfall durch wasserbedingte Krankheiten, erhöhte Kosten für die Heilung und höhere Risiken in der Ausübung wasserabhängiger ökonomischer Tätigkeiten.

Gleichzeitig resultiert aus einer Verbesserung von Wasserzugang und –qualität nur dann eine effektive Existenzsicherung, wenn sie einhergeht mit einer Berücksichtigung lokaler Sozialstrukturen und Zuständigkeiten. Es lässt sich beispielsweise nachweisen, dass Wasserqualität für die beninische Bevölkerung besonders mit dem Geschmack und der Herkunft des Wassers assoziiert wird. Ein „guter Wasserzugang“ wiederum meint im lokalen Sprachgebrauch nicht immer die „kürzeste Wegstrecke“, sondern kann je nach Sprecher/in daran referieren, dass in ferner Peripherie eines Dorfes eine heilige Quelle existiert.

### **Analysebeispiel: Wasserzukauf**

Folgende Arbeitsschritte stehen an:

- (1) Verbesserung der Qualität des Datentransfers: Bislang liegen die Daten in einer aus 120 Datenblättern bestehenden Excel-Datei vor. Der große Arbeitsspeicher (über 8 MB) erweist sich als unwirtschaftlich. Damit das System schnell graphische Darstellungen für Nutzer erzeugen kann, müssen Datentrennungen vorgenommen werden. Dies geschieht in enger Kooperation mit R. Laudien.
- (2) Zwischenanalysen und Suche nach multivarianten Zusammenhängen
- (3) Erstellung thematischer Analyseblöcke und Aufdeckung komplexerer Korrelationen zwischen verschiedenen Variablen
- (4) Interdisziplinäre Formulierung von Schnittstellen
- (5) Veröffentlichungen.

### **Literatur**

- Barlow, M., Tony C. (2003). *Blaues Gold. Das globale Geschäft mit dem Wasser*. München: Antje Kunstmann Verlag.
- Hadjer, K. (2005). Water consumption embedded in its social context, north-west Benin. In: *Physics and Chemistry of the Earth. Special Issues, Vol. 30, Issues 6-7: 357-364*. Online Version: <<http://authors.elsevier.com/sd/article/S1474706505000434>> (15.11.2005).
- Hadjer, K. (2006). *Geschlecht, Magie und Geld. Sozial eingebettete und okkulte Ökonomien in Benin, Westafrika*. Universitätsverlag Köln. Köln: KUPS. Siehe: [www.ub.uni-koeln.de/volltexte/2006/1852/](http://www.ub.uni-koeln.de/volltexte/2006/1852/).

## PK Be-G.4 Risikoabschätzung bezüglich des Auftretens von Malaria- und Meningitis-Erkrankungen in Westafrika unter dem Einfluss des heutigen und eines modifizierten zukünftigen Klimas



**Abb. III.1.4-5:** Anopheles Moskito beim möglichen Übertragen des Malariaerregers auf den Menschen.

### Problemstellung

Die Malaria und die Meningitis sind Krankheiten, die in Westafrika aufgrund ihrer hohen Mortalitätsraten für die indigene Bevölkerung von Bedeutung sind. Während der Regenzeit entsteht in dieser Region eine Witterung, welche die Moskitopopulation stark anwachsen lässt. Die Moskitoweibchen stechen in dieser Zeit häufig Menschen und es kommt zur Übertragung des Malariaparasiten zwischen Mensch und Moskito (vgl. **Abb. III.1.4-5**).

Die Meningitis tritt im Gegensatz zur Malaria besonders während der Trockenzeit auf, wenn es durch den geringen Vegetationsgehalt häufig zu Staub- und Sandaufwirbelungen kommt und dadurch die Immunabwehr der Menschen geschwächt wird.

Auch wenn die betrachteten Krankheiten nicht immer zum Tode führen, können die betroffenen Menschen während des Ausbruchs der Krankheit nicht für ihren Lebensunterhalt sorgen. Der entstandene Arbeitsausfall führt zu erheblichen Einkommensverlusten, wovon besonders die arme Bevölkerung betroffen ist. Für die finanzschwachen, westafrikanischen Staaten verursachen die Krankheiten damit ebenfalls einen nicht unerheblichen ökonomischen Schaden. Außerdem führen beide Krankheiten oft zu nicht unerheblichen Folgeschäden, welche das Leben der Betroffenen stark beeinträchtigen.

### Mitarbeiter

**Volker Ermert, Andreas Fink, Jens Verheyen, Michael Christoph**

### Zielsetzung

Für die Malaria und Meningitis soll das Auftreten zunächst in der Vergangenheit und zur heutigen Zeit analysiert werden, anschließend werden auf Grundlage von Klimaszenarien Risikoabschätzungen für die Zukunft vorgenommen.

Das Auftreten der Malaria in der Bevölkerung wird mit Hilfe von drei verschiedenen Malaria-Modellen simuliert. Dies geschieht durch das sog. "*Liverpool Malaria Model (LMM)*", das sog. „*MARA Seasonality Model (MSM)*“ und durch das sog. „*Malaria Equilibrium Model (MEM)*“. In der 2. IMPETUS-Phase wurde zunächst die Sensitivität der Malariamodelle in Bezug auf den Niederschlag und die Temperaturen abgeschätzt, dazu ist die Malariaverbreitung in der Bevölkerung mit Hilfe von synoptischen Stationsdaten entlang eines Transekts in 2°O für die Jahre 1980 bis 2004 nachsimuliert worden.

Im Anschluss wurden die Modelle erstmals flächig eingesetzt, auf der Basis von **REMO** (*Regionales Klimamodell*) herunterskalierten Beobachtungsdaten des Zeitraums 1979-2003 konnte das Auftreten der Malaria simuliert werden.

In der 3. Phase werden für die Abschätzung von Veränderungen bis zum Jahr 2050, die sich für das Malariarisiko in einem modifizierten Klima ergeben, transiente Szenarienläufe von REMO verwendet. Die beiden REMO-Szenarien sind die Szenarien A1B und B1 des IPCC-Berichts (Englisch: „*Intergovernmental Panel on Climate Change*“) von 2001 (vgl. IPCC, 2001a und b). Zusätzlich beinhalten die transienten REMO-Szenarien eine sich mit der Zeit veränderliche Landoberfläche, welche sich an Szenarien der **FAO** („*Food and Agriculture Organization*“) orientieren.

Ein hoher Staubgehalt der Luft scheint für den Krankheitsverlauf der Meningitis förderlich zu sein. Dies soll in der 3. Phase von IMPETUS anhand von synoptischen Stationsdaten aus Mittel- und Nordbenin sowie aus Niger untersucht werden. Die meteorologischen Daten werden klären inwiefern der Witterungsverlauf in der Trockenzeit das Auftreten von Meningitisfällen beeinflusst. Die vorhandenen Zusammenhänge zwischen meteorologischen Variablen und Meningitisfällen sollen in einem noch zu entwickelnden statistischem Modell integriert werden. Damit ist es möglich mit Hilfe der Klimaszenarien das Auftreten von Meningitis-Erkrankungen in Westafrika für die Zukunft abzuschätzen.

### Modellierung

Hoshen und Morse (2004) haben an der Universität Liverpool ein mit meteorologischen Variablen angetriebenes, dynamisches Malariamodell entwickelt. Das LMM berechnet auf der Basis von täglichen Temperatur- und Niederschlagsdaten sowohl das Vorkommen von Moskitos als auch das Auftreten von Malariaerkrankungen (im Folgenden auch als "Malariaverbreitung" oder als das "Malariavorkommen" bezeichnet) in der Bevölkerung. Ein weiteres Malaria-Modell, das MSM, wurde von Tanser et al. (2003) im Rahmen des **MARA**-Projektes („*Mapping Malaria Risk in Africa project*“) entworfen und ermöglicht die saisonale Abhängigkeit der Malaria zu spezifizieren. Da das MSM auf Schwellwerten bzgl. monatlichen Niederschlägen, Monatsmitteltemperaturen und Temperaturminima basiert, wird analysiert ob die Witterung zu einem bestimmten Zeitpunkt für die Malaria förderlich ist. Für die vorliegende Studie wurde es etwas modifiziert und basiert nun auf einer täglichen statt einer monatlichen Auflösung. Das dritte angewendete MEM verwendet die Größe

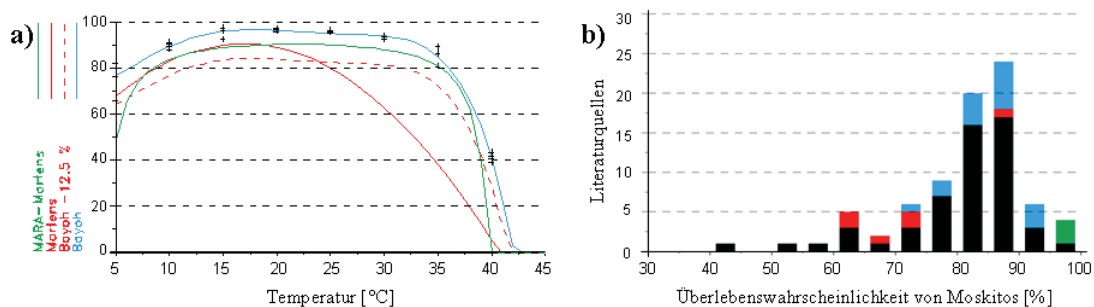


der Moskitopopulation des LMM und berechnet daraus die Gleichgewichtslösung eines Satzes von Differenzialgleichungen, welche die Malariaübertragung beschreiben. In der 3. IMPETUS-Phase wird die Malaria bzgl. mehrerer Klimaszenarien untersucht, um das Risiko von Malariaerkrankungen in der Zukunft abzuschätzen. Zusätzlich werden an ausgewählten geographischen Punkten durch die Veränderungen von Modellparametern im LMM Interventionen simuliert und deren mögliche Wirkung abgeschätzt.

Im Falle der Meningitis soll analysiert werden, inwiefern meteorologische Variablen mit Meningitiserkrankungen korreliert sind. Sollte ein solcher Zusammenhang bestehen, so wird auch ein verändertes Klima sich auf die Meningitiserkrankungen in der Zukunft auswirken. Ein noch zu entwickelndes statistisches Modell soll mittels atmosphärischen Antriebs das zukünftige Erkrankungsrisiko der Meningokokken-Meningitis bewerten.

### Stand der bisherigen Arbeiten

Die bisherigen Arbeiten konnten lediglich in Bezug auf die Verbreitung der Malaria durchgeführt werden. Im Fall der Meningitis fehlen bisher noch grundlegende Daten, welche für weitere Auswertungen unverzichtbar sind (s. u.).



**Abb. III.1.4-6:** a) Darstellung unterschiedlicher Schemata bzgl. der täglichen Überlebenswahrscheinlichkeit von Moskitos (in %) in Abhängigkeit von der mittleren Tagestemperatur (in °C). Die Kreuze (+) zeigen die Laborwerte von Bayoh (2004) für unterschiedliche Luftfeuchtigkeiten an, aus denen ein Polygonzug für die Überlebenswahrscheinlichkeit der Mücken im Labor berechnet wurde (blaue Linie). b) Anzahl von Literaturquellen bzgl. einer bestimmten täglichen Überlebenswahrscheinlichkeit von Moskitos. Der grüne Balken bezieht sich auf Studien in denen Moskitos in Käfigen gehalten wurden. In Bezug auf die blauen (roten) Balken fanden die Untersuchungen in der Regen(Trocken)zeit statt.

### *Parametrisierung des LMM*

Eine Sensitivitätsstudie entlang des Transekts in etwa 2°O hat gezeigt, dass das LMM gegenüber verschiedenen Parametern sensitiv ist. In Westafrika spielt besonders die Festlegung des Schemas bzgl. des täglichen Überlebens von Moskitos eine entscheidende Rolle. Beim sog. *Martens-Schema* (rote durchgezogene Linie in **Abb. III.1.4-6a**) nimmt die Wahrscheinlichkeit des Überlebens einer Mücke bei Temperaturen oberhalb von 25 °C stark ab und fällt bei Temperaturen von mehr als 30 °C auf weniger als 60 %. Die geringe Überlebenswahrscheinlichkeit bei höheren Temperaturen führt im LMM dazu, dass lediglich südlich von Gaya (11°53'N, 3°27'O; Niger) die maximal mögliche Malariaverbreitung erreicht wird. In Niamey (13°29'N, 2°10'O; Niger) schwankt die maximale

Malariaverbreitung von Jahr zu Jahr und bereits in Tillaberi (14°12'N, 1°27'O; Niger) sowie in Gao (16°16'N, 0°03'W; Mali) tritt die Malaria aufgrund der hohen Temperaturen nicht auf (nicht gezeigt). Auch die flächig mit REMO-Temperatur- und Niederschlagsdaten (1979-2003) angetriebenen LMM-Läufe zeigen, dass im Vergleich zu den Karten des MARA-Projektes (vgl. MARA, 1998; Craig et al., 1999; Snow et al., 1999) und Beobachtungen (z. B. Stafford Smith, 1981) die Malariaverbreitung nicht weit genug in den Norden vordringt (nicht gezeigt).

Eine ausgiebige Literaturrecherche zeigt den Ursprung des Martens-Schemas auf. Martens (1997) verlässt sich auf die Studien von Boyd (1949), Horsfall (1949) und Clements und Paterson (1981), welche bei Temperaturen (T) von 9, 20 bzw. 40 °C die tägliche Überlebenswahrscheinlichkeit von Moskitos ( $p_d$ ) mit 82 %, 90 % bzw. 4 % angeben. Aus diesen drei Angaben leitet Martens (1997) einen Polygonzug mit der Formel

$$p_d = \exp[-1/(-4,4+1,31T-0,03T^2)]$$

ab. Diese Kurve wird an dieser Stelle als *MARA-Martens-Schema* bezeichnet (s. auch Box 1 in Craig et al., 1999 und vgl. die grüne Linie in **Abb. III.1.4-6a**). Es wird deutlich, dass das Martens- als auch das MARA-Martens-Schema auf den gleichen Angaben basieren. Das von Martens (1997) definierte MARA-Martens-Schema wurde offensichtlich verändert und durch das Martens-Schema ersetzt. Beide Schemata sind allerdings fraglich, da es keinen eindeutig festgelegten Polygonzug gibt, der im ( $p_d$ , T)-Diagramm drei Punkte miteinander verbindet.

Aus diesem Grund ist es sinnvoll weitere Daten in Betracht zu ziehen. Die Studie von Bayoh (2001) untersucht in einem Labor die Entwicklung und das Überleben von Moskitos der Gattung *Anopheles gambiae sensu stricto*. Die Moskitos wurden bei 8 verschiedenen Temperaturen zwischen 5 und 40 °C und bei 4 verschiedenen Feuchten zwischen 40 und 80 % gehalten. Unter der Voraussetzung, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit nicht von dem Alter der Moskitos abhängt, lassen sich aus der Lebensdauer der Moskitos von der Temperatur und Feuchte abhängige Überlebenswahrscheinlichkeiten berechnen. Aus den bei einer bestimmten Temperatur gemittelten Überlebenswahrscheinlichkeiten wurde anschließend ein Polygonzug berechnet (blaue Linie in **Abb. III.1.4-6a**). Es zeigen sich nahezu konstante Überlebenswahrscheinlichkeiten für Temperaturen zwischen 15 und 35 °C, welche in diesem Bereich meist deutlich über 90 % liegen. Die Parametrisierung des LMM mit diesem sog. *Bayoh-Schema* führen im Vergleich zu MARA-Karten bzgl. der Malariasaison (Tanser et al., 2003) zu einer zu langen Malariasaison. Dies ist nicht verwunderlich, da durch natürliche Feinde, Krankheiten und einem begrenzten Nahrungsangebot die Überlebenswahrscheinlichkeit in der Natur geringer ist als im Labor (vgl. Clements und Paterson, 1981). Deshalb wurde im Folgenden generell bei jeder Temperatur eine bestimmte Wahrscheinlichkeit abgezogen. Bei einem Abzug von 12,5 % (bezeichnet als das *Bayoh-12,5%-Schema*) liegen die Wahrscheinlichkeiten zwischen 15 und 30 °C zwischen 80 und 85 % und sind damit vergleichbar mit dem von Kiszewski et al. (2004) verwendeten Wert von 84,6 %.

Nach der Laboruntersuchung von Bayoh (2001) ist die Überlebenswahrscheinlichkeit von Moskitos nahezu konstant zwischen Temperaturen von etwa 15 bis 30 °C. Aus diesem Grund ist es möglich Studien in diesem Temperaturbereich miteinander zu vergleichen. Da die Malaria hauptsächlich in den Tropen verbreitet ist (z. B. Fig. 1 in Sachs und Malaney, 2002) und die täglichen Mitteltemperaturen meist in den beschriebenen Temperaturbereich fallen, können im Folgenden von den meisten Malaria-Studien die beobachteten Überlebenswahrscheinlichkeiten von Moskitos miteinander

verglichen werden. In einer Literaturrecherche konnten Überlebenswahrscheinlichkeiten an verschiedenen Orten und von unterschiedlichen Mosquitoarten gefunden werden. Die meisten Arbeiten leiten Überlebenswahrscheinlichkeiten zwischen 80 und 90 % ab. Dies ist wiederum in Übereinstimmung mit dem von Kiszewski et al. (2004) gefunden Median von 84,6 %. Die Wahrscheinlichkeiten des Bayoh-12,5%-Schemas für Temperaturen zwischen 15 und 30 °C passen ebenfalls zu den in der Literatur gefundenen Daten.

### ***Validierung des LMM, MSM, MEM***

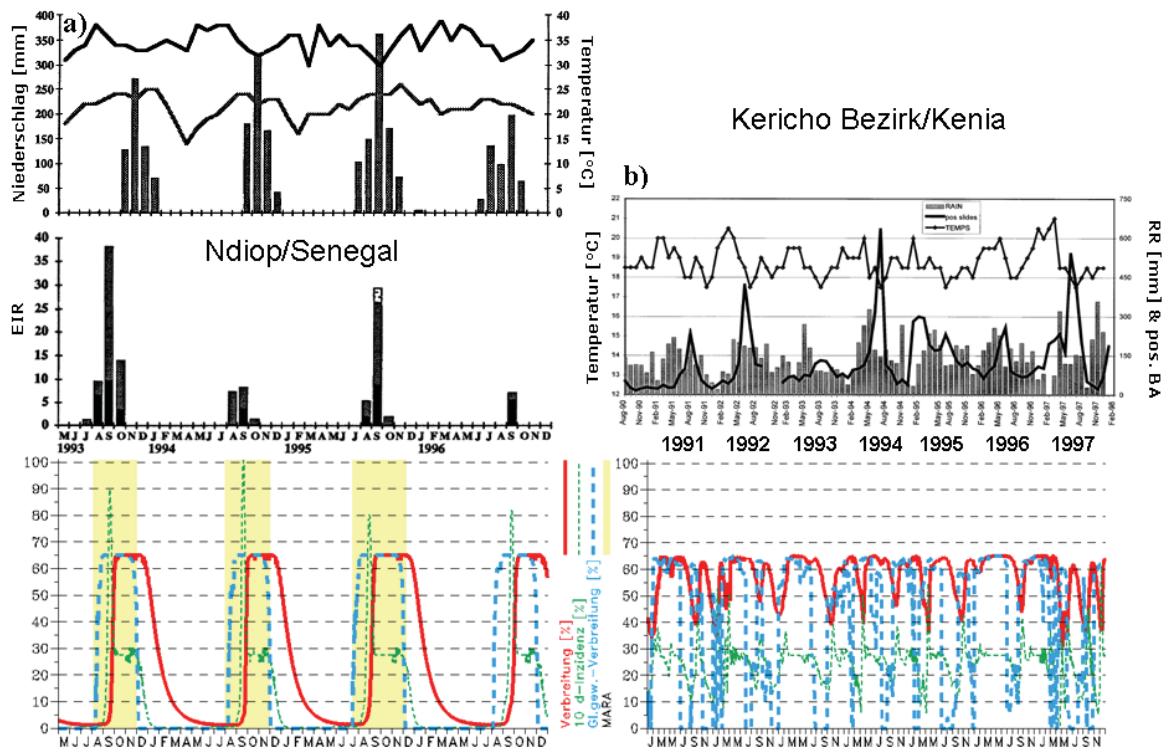
Für die Validierung der verwendeten Malariamodelle steht kein umfangreicher Datensatz zur Verfügung. Dies liegt daran, dass es keine flächigen Zeitreihen bzgl. der Malariaverbreitung gibt (vgl. Hay et al., 2000). Die Verifikation der drei Modelle kann deshalb lediglich an unterschiedlichen Orten durch die Verwendung von Ergebnissen aus Publikationen erfolgen. Bisher konnte das Verhalten der verwendeten Malariamodelle genauer im Senegal als auch im Hochland Ost-Afrikas analysiert werden. Fontenille et al. (1997) haben für jeden Monat zwischen Mai 1993 und Dezember 1997 die *entomologische Inokulationsrate (EIR)* in Ndiop (13°14'N, 16°23'W; Senegal) bestimmt. Außerdem geben sie monatliche Niederschläge und Temperaturen an. Die Studie von Malakooti et al. (1998) analysiert Daten aus Kericho (0°22'S, 35°17'O, Kenia) bzgl. durch Malaria verursachte Krankenhauseinlieferungen der Jahre 1990 bis 1997.

Dem LMM zufolge kommt es in Ndiop bei der 10-tägig akkumulierten Malariainzidenz (die Inzidenz bezeichnet hier die täglich neu auftretenden Malariainfektionen) zu einem starken Anstieg zwischen August und September (**Abb. III.1.4-7a**). Jedes Jahr wird beim LMM das maximal mögliche Malariavorkommen von etwa 65 % erreicht. Dem MSM zufolge tritt die Malaria zwischen den Monaten Juli/August und Anfang Dezember auf. Auch das MEM zeigt in dieser Zeitspanne günstige Bedingungen für die Malariaverbreitung. Allerdings unterschätzen in Ndiop alle drei Modelle gegenüber der Beobachtung die interannuelle Variabilität in der Malariaübertragung.

Die Studie von Malakooti et al. (1998) im Hochland (1780 bis 2225 m) von Kenia stellt fest, dass fast jedes Jahr besonders viele positive Malaria-Blutabstriche zwischen Mai und Juli auftreten (**Abb. III.1.4-7b**). Aufgrund von Temperaturen um die 20 °C (**Abb. 3b**), berechnet das MSM kein Malariaauftreten. Bei Festlegung des sporogonischen Schwellwertes auf 18 °C wird mit der Ausnahme des Jahres 1997 kein Malariavorkommen berechnet, d. h. das Auftreten der Malaria wird unterschätzt. Wird der Schwellwert auf 16 °C herabgesetzt, so verkürzt sich der sporogonische Zyklus und die Malariaverbreitung in der Bevölkerung liegt im gesamten Zeitraum über 30 %. Im MEM tritt keine Malaria auf, wenn niedrige Temperaturen und kleine Moskitopopulation auftreten.

Die Validation der Modelle in Ndiop und Kericho zeigt, dass das LMM an beiden Orten die Malariaübertragung grob nachsimulieren kann (**Abb. III.1.4-7**). Das MSM ist im Gegensatz zum MEM nicht in der Lage das beobachtete Malariaauftreten im Hochland rund um Kericho wiederzugeben. In Ndiop hingegen sind beide Modelle zur Abschätzung des Beginns und Endes der Malariasaison verwendbar. Demnach sind die Ergebnisse der Malariamodelle bzgl. des Auftretens der Malaria im Flachland verlässlicher als im Hochland.

Weitere Verifikationen der Modellsimulationen können auf der Basis weiterer Veröffentlichungen geschehen (z. B. Garrett-Jones und Shidrawi, 1969; Stafford Smith, 1981; Coetzee et al., 2000; Henry et al., 2003; Appawu et al., 2004; Sissoko et al., 2004). In diesen Fällen ist es jedoch nicht möglich die Modelle mit der realen Witterung anzutreiben, da keine entsprechenden Daten bzgl. der Niederschläge und mittlerer Tagestemperaturen vorliegen. Stattdessen ist es möglich abzuschätzen, ob an den entsprechenden Orten die beobachteten Charakteristika der entsprechenden Malariasituation von den Modellen wiedergegeben werden.

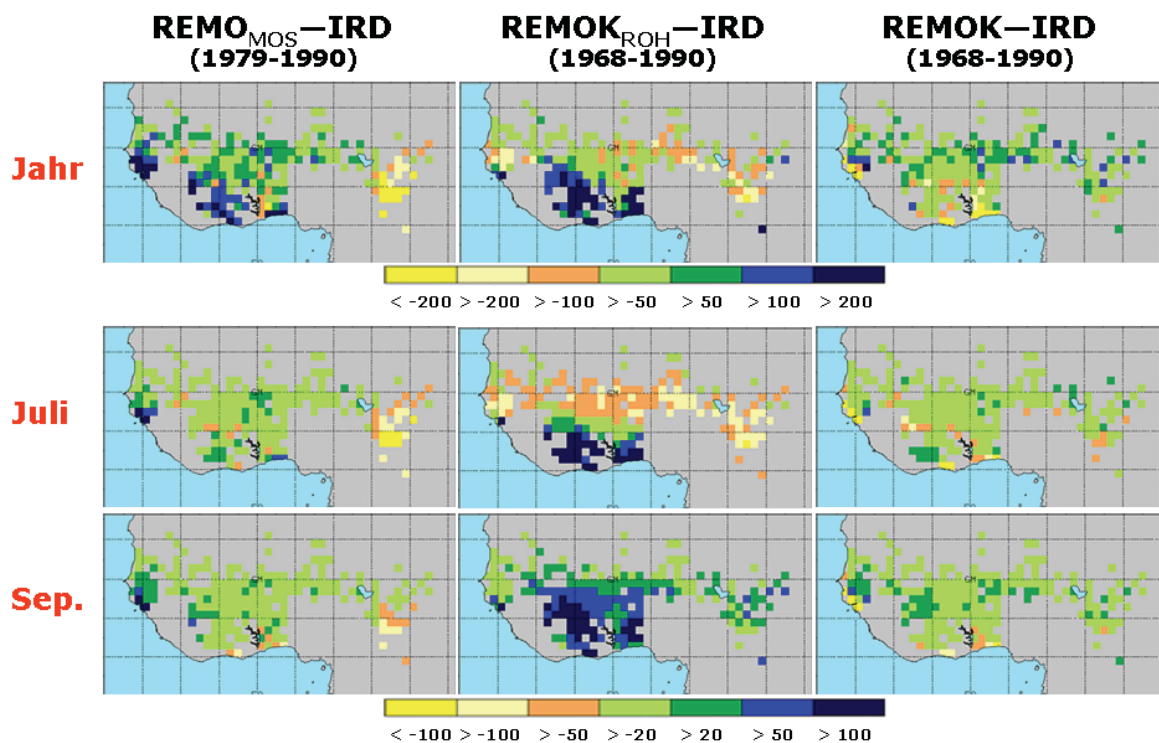


**Abb. III.1.4-7:** a) Im oberen (mittleren) Teil ist die Witterung und Malariasituation in Ndiop (13°14'N, 16°23'W; Senegal) bzgl. 1993 bis 1997 dargestellt (nach Fig. 2 in Fontenille et al., 1997). Die obere (untere) Kurve gibt die mittlere monatliche Maximum(Minimum)temperatur (in °C) wieder, die Balken repräsentieren den monatlichen Niederschlag (mm). Im mittleren Teil ist die EIR (infektiöse Stiche pro Person und Monat) aufgetragen. b) Veranschaulichung der Witterung und der Malariasituation in Kericho (0o22'S, 35o17'O, Kenia) bzgl. 1990 bis 1997 (nach Fig. 3 in Malakooti et al., 1998). Im oberen Teil stellt die untere (obere) Kurve die Anzahl der positiven Blutabstriche (BA) (Monatsmitteltemperatur (in °C)) dar, die Balken repräsentieren den monatlichen Niederschlag (in mm, RR). Sowohl in a) als auch in b) sind im unteren Teil die Simulationsergebnisse des LMM, MSM und MEM eingezeichnet. Dargestellt sind das Malariavorkommen in der Bevölkerung (in %, rote Linie), die 10-tägige Malariainzidenz (in %, grün gestrichelte Linie) und der im MEM aus der Vermehrungsrate berechnete Gleichgewichtszustand der Malariaverbreitung (in %, blaue gestrichelte Linie). Die gelb ausgefüllten Bereiche kennzeichnen die Zeiträume, in denen nach den Berechnungen des MSM die Malariasaison auftritt.

### REMO-Niederschläge im Vergleich

Eine umfassende und verlässliche Untersuchung des afrikanischen Klimas sollen die REMO-Konsortialläufe (Heiko Paeth, persönliche Kommunikation) für den Zeitraum 1960 bis 2000 erlauben. Allerdings weisen die Niederschlagsdaten der Konsortialläufe (im Folgenden mit *REMOK<sub>ROH</sub>*

bezeichnet) im Vergleich zu einem Datensatz des IRD (Französisch: “*Institut de Recherche pour le Développement*“) Defizite auf: Bezüglich des mittleren Jahresniederschlags fällt bei  $REMO_{MOS}$  (so wird der durch Paeth (2005, 2006) MOS-korrigierte (Englisch: „*Model Output Statistic*“) Niederschlag der REMO-Langzeitklimatologie bezeichnet) und  $REMO_{ROH}$  im Küstenbereich, als auch teilweise in der Sudanzone mancherorts 200 mm zu viel Niederschlag (Abb. 4). Im Fall von  $REMO_{MOS}$  liegt der Niederschlag in der Sahelzone etwas über dem des IRD. Hingegen wurde östlich von  $15^{\circ}O$  keine MOS-Korrektur vorgenommen und es zeigt sich ein starker West-Ostgradient in der Jahressumme (Abb. 4). Beim Ensemblemittel der  $REMO_{ROH}$ -Läufe zeigt sich hingegen in der Sahelzone teilweise ein Niederschlagsdefizit von über 100 mm.



**Abb. III.1.4-8:** Unterschiede in den Niederschlägen zwischen REMO-Daten und einem Datensatz des IRD (1968-1990) bzgl. der Jahressumme sowie den Monatssummen im Juli und September.  $REMO_{MOS}$  bezeichnet die MOS-Korrektur der REMO-Langzeitklimatologie (1979-2003) und  $REMO_{ROH}$  ( $REMO_K$ ) umfasst die (korrigierten) Rohdaten der Ensembleläufe des REMO-Konsortiallaufs (1960-2000).

Der Vergleich in Bezug auf den saisonalen Niederschlagszyklus macht deutlich, dass der Niederschlag bei  $REMO_{ROH}$  später einsetzt als bei  $REMO_{MOS}$ . Bei  $REMO_{ROH}$  liegen die Monatsniederschläge entlang eines  $5-10^{\circ}$  breiten Streifens, welcher mit Fortschreiten der Monsunetablierung in Richtung Norden wandert, deutlich unter den beobachteten IRD-Niederschlägen (s.  $REMO_{ROH}$ —IRD im Juli in **Abb. III.1.4-8**). Das spätere Einsetzen des westafrikanischen Monsuns bei den neuen REMO-Läufen kann durch den unterschiedlichen Antrieb erklärt werden (Heiko Paeth, persönliche Kommunikation). Zur Hochphase des Monsuns im Juli, August und September fällt bei  $REMO_{ROH}$  in der Küstenregion, als auch der Sudanzone zu viel Niederschlag (s.  $REMO_{ROH}$ —IRD im September in **Abb. III.1.4-8**).

Die Defizite in den Niederschlägen der neuen REMO-Läufe haben in Westafrika eine deutliche Auswirkung auf die Verbreitung der Malaria (nicht gezeigt). Aufgrund des zu späten Einsetzens des Monsuns tritt auch die Malariasaison zu spät auf. Durch die über der Beobachtung liegenden Niederschläge zur Hochphase des Monsuns verlängert sich die Malariasaison in der zweiten Jahreshälfte. Die zu geringen Niederschläge in der Sahelzone führen dazu, dass die Malaria nicht so weit in den Norden vorrückt, wie bei einer LMM-Simulation, die mit den IRD-Daten angetrieben wurde. Aus diesen Gründen mussten die neuen REMO-Niederschläge korrigiert werden: Die Korrektur erfolgte auf Monatsbasis mit Hilfe eines CRU-Datensatzes (Englisch: „*Climate Research Unit*“) bzgl. der Jahre 1960 bis 1998 (Robin Girmes, persönliche Kommunikation). Die Verzögerung der Monsunniederschläge zu Beginn des Jahres konnte nur teilweise reduziert werden, da eine völlig neue Generierung von Niederschlagsereignissen nicht möglich war. Die korrigierten Daten (bezeichnet als *REMOK*) zeigen, dass der zu geringe Niederschlag in der Sahelzone nun deutlich realistischer wiedergegeben ist (**Abb. III.1.4-8**). Auch die Überschätzung der Niederschläge während der Hochphase des Monsuns im küstennahen Bereich ist nicht mehr vorhanden. Die Korrektur wurde für das gesamte REMO-Gebiet durchgeführt und die Korrekturfaktoren wurden ebenfalls für die Zukunftsszenarien angewendet. Es muss deswegen angenommen werden, dass der Modellfehler in einem modifizierten zukünftigen Klima der gleiche ist.

### ***Transiente Malariasimulationen***

Nach dem die REMO-Niederschläge korrigiert wurden, konnten diese als auch die Temperaturfelder in das Eingabeformat der Malariamodelle umgewandelt werden. Es folgten zeitaufwendige Simulationen der drei Malariamodelle. Zunächst entstanden jeweils drei Ensembleläufe durch das LMM, MSM und MEM bezüglich des Vergangenheitszeitraums (1960-2000). Die jeweils drei REMO-Ensembleläufe für das A1B- und B1-Szenario des IPCC (vgl. IPCC, 2001a und b) wurden im Folgenden verwendet, um die Malariamodelle für den Zeitraum 2001 bis 2050 auf der Grundlage eines möglichen, modifizierten zukünftigen Klimas laufen zu lassen. Die Experimente bzgl. der REMO-Zukunftsszenarien umfassen darüber hinaus hoch aufgelöste Szenarien in Bezug auf die Änderung der Landnutzung, welche auf Abschätzungen der FAO basieren.

Insgesamt stehen also für das LMM, MSM und MEM jeweils 9 Läufe zur Verfügung, die im Jahr 2007 ausgewertet werden. Bei der Analyse der Daten soll vor allem ein Augenmerk auf die Veränderung des Auftretens der Malaria im LMM gelegt werden, da im Gegensatz zu den beiden anderen Modellen das LMM die Prozesse der Malariaübertragung explizit nachsimuliert. Die Untersuchungen werden sich besonders auf die Gebiete konzentrieren in denen die Malaria möglicherweise verschwindet oder neu auftritt. Bedeutend sind ebenfalls Regionen in denen die Variabilität des Malariavorkommens ab- bzw. zunimmt. Auch die Veränderung in der Malariasaison soll analysiert werden, da diese einen Einfluss auf das zukünftige Krankheitsbild der Malaria haben wird.

### ***Datenrecherche bzgl. der Meningitis***

Das Ziel der Studie ist ebenfalls die Risikoabschätzung bzgl. des Auftretens der Meningitis in Westafrika. Bis zum Jahresende von 2006 war es allerdings noch nicht möglich eine Untersuchung



im Falle der Meningitis vorzunehmen, es konnten lediglich wöchentliche Meningitisfallzahlen gesammelt werden (Abb. III.1.4-9).

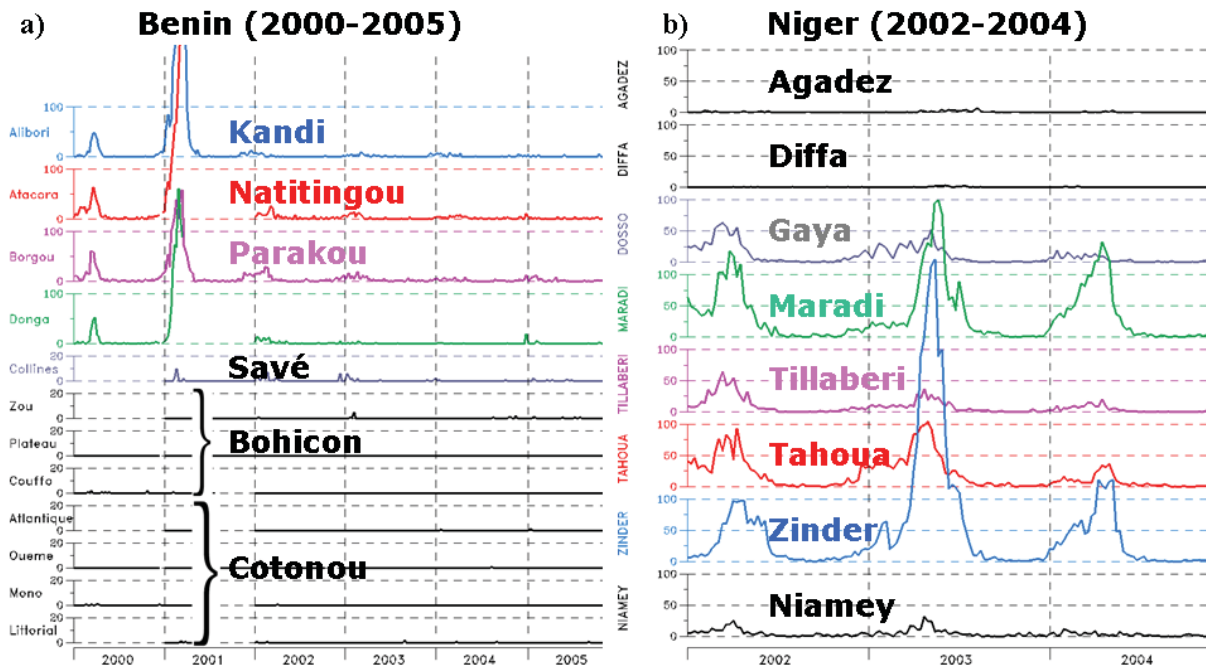


Abb. III.1.4-9: Zur Verfügung stehende wöchentliche Meningitisfälle bzgl. verschiedener Gemeinden in a) Benin (2000-2005) und b) im Niger (2002-2004). Desweiteren sind die Stationsnamen eingetragen, welche den jeweiligen Gebieten der Gemeinden zugeordnet werden können.

Ursprünglich sollte entlang des Transekts in 2°O das Auftreten der Meningitis in Bezug auf die Witterungsbedingungen analysiert werden. Deswegen wurde zunächst versucht an Zahlen von Meningitisfällen in Benin und Niger zu gelangen. In Cotonou (Benin) konnte ein Kontakt mit dem Gesundheitsministerium aufgebaut werden (Hararé Z. Djogbé, persönliche Kommunikation). Dieser ermöglichte es Daten bzgl. der einzelnen Gemeinden für Benin zu besorgen. Es stehen bisher 6 Jahre zur Verfügung (2000-2005). Zu beachten ist allerdings, dass die Daten teilweise lückenhaft sind und lediglich für 2 Jahre eine ausreichende Anzahl von Meningitisfällen aufweisen. Dabei konzentrieren sich die Meningitisfälle wie erwartet (vgl. Besancenot et al., 1997) vor allem auf den nördlichen Teil Benins.

Bezüglich Niger besteht ein Kontakt zu CERMES (Französisch: „*Centre de Recherche Médicale et Sanitaire*“) in Niamey. Bisher wurden lediglich Daten auf Gemeindebasis von 3 Jahren (2002-2004) zur Verfügung gestellt. Weitere Daten für die Vorjahre sollen möglicherweise folgen (Isabelle Jeanne, persönliche Kommunikation). Die Meningitisfälle treten im Niger hauptsächlich östlich des Transekts in 2°O auf, z. B. in den Bezirken Zinder und Maradi. Aus diesem Grund müsste sich die Untersuchung nicht nur auf den Südwesten vom Niger konzentrieren, sondern auch auf östlichere Landesteile ausgedehnt werden. Unklar ist jedoch, ob in diesen Regionen meteorologische Daten zur Verfügung stehen.

Es stellt sich die Frage, ob die bisher gesammelten Daten es ermöglichen die geplanten Untersuchungen durchzuführen. Es stehen nur wenige Jahre und Bezirke zu Verfügung in denen meteorolo-



logische Variablen mit Meningitisfällen korreliert werden können. Zu diesem Sachverhalt muss im kommenden Jahr eine endgültige Entscheidung getroffen werden.

### Literatur

- Appawu, M., S. Owusu-Agyei, S. Dadzie, V. Asoala, F. Anto, K. Koram, W. Rogers, F. Nkrumah, S. L. Hoffman und D. J. Fryauff, 2004: Malaria transmission dynamics at a site in northern Ghana proposed for testing malaria vaccines. *Tropical medicine and international health*, 9, 164-170.
- Bayoh, M. N., 2001: Studies on the development and survival of *Anopheles gambiae sensu stricto* at various temperatures and relative humidities. Doktorarbeit an der University of Durham.
- Besancenot, J. P., M. Boko und P. C. Oke, 1997: Weather conditions and cerebrospinal meningitis in Benin (Gulf of Guinea, West Africa). *European Journal of Epidemiology*, 13, 807-815.
- Boyd, M. F., 1949: Malariology, Volume 1. *Philadelphia*, 787 Seiten.
- Clements, A. N. und G. D. Paterson, 1981: The analysis of mortality and survival rates in wild populations of mosquitoes. *The journal of applied ecology*, 18, 373-399.
- Coetzee, M., M. H. Craig, D. le Sueur, 2000: Distribution of African Malaria Mosquitoes Belonging to the *Anopheles gambiae* Complex. *Parasitology Today*, 16, 74-77.
- Craig, M. H., R. W. Snow und D. le Sueur, 1999: A Climate-based Distribution Model of Malaria Transmission in Sub-Saharan Africa. *Parasitology Today*, 15, 105-111.
- Fontenille, D., L. Lochouarn, M. Diatta, C. Sokhna, I. Dia, N. Diagne, J. J. Lemasson, K. Ba, A. Tall, C. Rogier und J. F. Trape, 1997: Four years' entomological study of the transmission of seasonal malaria in Senegal and the bionomics of *Anopheles gambiae* and *A. arabiensis*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 91, 647-652.
- Hay, S. I., J. A. Omumbo, M. H. Craig und R. W. Snow. 2000: Earth Observation, Geographic Information Systems and *Plasmodium falciparum* Malaria in Sub-Saharan Africa. *Advances in Parasitology*, 47, 173-215.
- Henry, M.-C., C. Rogier, I. Nzeyimana, S. B. Assi, J. Dossou-Yovo, M. Audibert, J. Mathonnat, A. Keundjian, E. Akodo, T. Teuscher und P. Carnevale, 2003: Inland valley rice production systems and malaria infection and disease in the savannah of Côte d'Ivoire. *Tropical Medicine and International Health*, 8, 449-458.
- Garrett-Jones, C. und G. R. Shidrawi, 1969: Malaria Vectorial Capacity of a Population of *Anopheles gambiae*: An Exercise in Epidemiological Entomology. *Bulletin of the World Health Organization*, 40, 531-545.
- Horsfall, W. R., 1955: Mosquitoes: Their Bionomics and Relation to Disease. *New York*, 723 Seiten.
- Hoshen, M. B. und A. P. Morse, 2004: A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal*, 3:32.
- IPCC, 2001a: Summary for Policymakers. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Geneva, Switzerland*, 20 Seiten.
- IPCC, 2001b: Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers. *Wembley, United Kingdom*, 34 Seiten.
- Kiszewski, A., A. Mellinger, A. Spielman, P. Malaney, S. E. Sachs und J. Sachs, 2004: A Global Index Representing the Stability of Malaria Transmission. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 70, 486-498.
- Malakooti, M. A., K. Biomndo und G. D. Shanks, 1998: Reemergence of Epidemic Malaria in the Highlands of Western Kenya. *Emerging Infectious Diseases*, 4, 671-676.
- MARA, 1998: Towards an Atlas of Malaria Risk in Africa: First Technical Report of the MARA/ARMA Collaboration. *Durban*, 32 Seiten.
- Martens, W. J. M., 1997: Health Impacts of Climate Change and Ozone Depletion: an Eco- epidemiological Modelling Approach. *Universität Maastricht*.
- Paeth, H., 2005: The climate of tropical and northern Africa - a statistical-dynamical analysis of the key factors in climate variability and the role of human activity in future climate change. *Bonner meteorologische Abhandlungen*, 61, 320 Seiten.

- Paeth, H., 2006: Statistical postprocessing of simulated precipitation data for hydrological and climatological analyses in West Africa. *Eingereicht in Meteorology and Atmospheric Physics*.
- Sachs, J. und P. Malaney, 2002: The economic and social burden of malaria. *Nature*, 415, 680-685.
- Sissoko, M. S., A. Dicko, O. J. Briet, M. Sissoko, I. Sagara, H. D. Keita, M. Sogoba, C. Rogier, Y. T. Touré und O. K. Doumbo, 2004. Malaria incidence in relation to rice cultivation in the irrigated Sahel of Mali. *Acta Tropica*, 89, 161-170.
- Snow, R. W., M. Craig, U. Deichmann und K. Marsh, 1999: Estimating mortality, morbidity and disability due to malaria among Africa's non-pregnant population. *Bulletin World Health Organization*, 77, 624-640.
- Stafford Smith, D. M., 1981: Mosquito records from the Republic of Niger, with reference to the construction of the new 'Trans-Sahara Highway'. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 84, 95-100.
- Tanser, F. C., B. Sharp und D. le Sueur, 2003: Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet*, 362, 1792-1798.

## PK Be-G.5 Bakteriologische und virologische Belastung von Trinkwasserquellen im oberen Ouémé Einzugsgebiet



### Problemstellung

Wasserabhängige Infektionskrankheiten stellen ein erhebliches Risiko für die Bevölkerung in einem Versorgungsgebiet dar, mit ökonomischen und gesundheitlichen Folgen für die Konsumenten. Nach Schätzungen der WHO sterben jährlich weltweit über 2 Millionen Menschen, mit einem überwiegenden Anteil an Kindern unter 5 Jahren, an Durchfallerkrankungen, deren Ursachen sich auf den Konsum kontaminierter Wässer zurückführen lassen. Im Beobachtungsbereich des vorliegenden Projekts bestand vor der Erarbeitung von Handlungsoptionen zur Sanierung kontaminierter Quellen oder Intervention bei akuten Gefährdungssituationen die Notwendigkeit zur Dokumentation der wasserhygienischen Ist-Situation. Diese wurde in Form einer Datenbank sämtlicher Wasserquellen mit ihrem jeweiligen Erregerspektrum im Arbeitsgebiet angelegt. Dann folgte die Beschreibung weiterer Einflussgrößen zur Risikobewertung durch Zählung gesunder Keimträger und akut Erkrankter.

Da Verfahren zur Analyse bakterieller und viraler Kontaminanten im Trinkwasser außerhalb des IMPETUS-Labors/Parakou in Benin nur eingeschränkt oder gar nicht zur Verfügung stehen, wurden die Nachweisverfahren etabliert und machen neben den ortsbeschreibenden physikalischen Daten der Wasserquellen - wie Bauart, Ort, Tiefe, Lage und Zustand aller Wasserquellen im Beprobungsgebiet - eine Gesamtschau der wasserhygienischen Situation erst möglich. Erforderliche Sanierungsmaßnahmen werden kontrolliert, d.h. als Vorher-Nachher-Verfahren angelegt, sodass Entscheidungsträger unmittelbar Informationen über die Dringlichkeit oder den Stand einer Intervention bekommen. Neben der Betrachtung stationärer Zustände wird entlang einer Zeitachse die Trinkwasserqualität unter den sich ändernden Rahmenbedingungen beschrieben und zeitabhängige Änderungen registriert. Auf diese Weise können prospektive Handlungsoptionen abgeleitet und Entscheidungsträger vor dem Eintreten von Gefahrensituationen informiert werden.

### Mitarbeiter

**Jens Verheyen**, Alexandra Uesbeck, Rainer Baginski, Farouk Mazou, Martial Dossou, Laurence Bourgeois, Olga Budayeva, Monika Timmen-Wego

### Zielsetzung

Als Expertenmodell wird MIVIK Informationen über die Trinkwasserqualität unter sich ändernden Bedingungen geben und die Bewertung von Interventionsszenarien unterstützen. Datenbasis ist die im IMPETUS-Labor/Parakou etablierte und ständig aktualisierte Brunnendatenbank mit Informationen über die bakteriologischen und virologischen Kontaminationen der Trinkwasserquellen in dem Untersuchungsgebiet. Damit ein nachhaltiger Daten- und Wissenstransfer gewährleistet ist, wird nach Abschluss der 3. Förderperiode das Labor nebst Inventar und etablierten Methoden, an einen noch zu ermittelnden Träger übergeben. Darüber hinaus bilden die Ausbildung beninischen Laborspersonals in den etablierten Nachweisverfahren als Maßnahmen zum „Capacity building“ und die Anbindung des Labors an lokale Institutionen weitere wichtige Ansatzpunkte für die dauerhafte Kontrolle der Trinkwasserqualität. Der Ausbau schon bestehender Kooperationen zwischen der Trinkwasserkontrolle und technischen Sanierungskonzepten anderer Projekte wird für langfristige Verbesserung der wasserhygienischen Situation im ländlichen Benin beitragen.

### Modellierung

Zielsetzung des Modellierungsansatzes ist die Abschätzung des Einflusses folgender Größen auf die Trinkwasserqualität im oberen Ouémé Einzugsgebiet:

- Art der Wasserquelle
- Hygieneverhalten der Brunnen-Nutzer
- Tierhaltung
- Geologie des Brunnenstandortes
- Klimatische Bedingungen
- Sanierungsmaßnahmen
- Desinfektionsmaßnahmen

Anhand der ermittelten Daten zur bakteriologischen und virologischen Wasserqualität werden die Einflussfaktoren bewertet und entsprechend ihrer Bedeutung in das Expertenmodell MIVIK integriert. Eine Verbindung ergibt sich zwischen Trinkwasserqualität und den Investitionen in sichere Trinkwasserquellen wie geschlossene Bohrlochsysteme mit Pumpen. Die Anzahl der Bewohner, die Zugang zu qualitativ höherwertigem Pumpenwasser haben, ist demnach ein Indiz für die allgemeine Situation der Trinkwasserqualität in einem Dorf. Eine weitere wichtige Einflussgröße ist das Verhalten der Brunnennutzer vom allgemeinen Hygieneverhalten (Körperhygiene/Brunnenhygiene) bis hin zur Wahl der Trinkwasserquelle. Ferner bestimmen geologische Faktoren wie beispielsweise die

Tiefe der Brunnen in bestimmten Regionen, somit auch die Nutzbarkeit bei veränderten Grundwasserspiegeln und die Anfälligkeit für Kontaminationen durch oberirdische Wasserbewegungen oder in den oberen Erdschichten stattfindende Sickervorgänge die Wasserqualität. Diese Art der Kontamination ist ebenfalls abhängig von klimatischen Faktoren wie der 24-stündigen Regenmenge.

### **Methodik**

Zur Ermittlung der Trinkwasserqualität werden die Kontaminanten mit etablierten Analyseverfahren bestimmt.

Wassergebundene pathogene Bakterien werden durch Anreicherung auf verschiedenen selektiven Nährmedien isoliert und sowohl durch den Nachweis biochemischer Merkmale als auch serologisch klassifiziert.

Die virale Last wird mittels eines speziellen transportablen Filtrations-Systems und eines Virusnachweises basierend auf Light-Cycler-PCR Technik bestimmt. Die Art und Anzahl der bakteriellen Kontaminanten sowie die Art und Anzahl der viralen Kontaminanten gelten als Responseindikatoren des Expertenmodells MIVIK.

Trinkwasserrelevante chemische Parameter werden photometrisch und teilweise maßanalytisch ermittelt

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Der Datensatz aller georeferenzierten und dokumentierten Trinkwasserquellen des Oberen Ouémé Einzugsgebietes wurde regelmäßig überarbeitet und den aktuellen Situationen angepasst. Seit Oktober 2006 wird der Datensatz erweitert um Daten zu Pumpen, die sich in Dörfern an den Strassen in Richtung Norden (Richtung N'dali) und Süden (Richtung Tchaourou) von Parakou aus erstrecken. Das Wasser der Pumpen wird analysiert und gleichzeitig besteht die Möglichkeit, festzustellen, in welchen Dörfern nördlich und südlich von Parakou kein Zugang zu sauberem Trinkwasser gewährleistet ist.

Im April 2006 wurde der sog. Ames Test, ein Testverfahren zur Detektion chemischer mutagener Substanzen, im IMPETUS-Labor von Frau Alexandra Uesbeck und Herrn Farouk Mazou nach Vorgaben der DIN 38415 etabliert. *Der Test ist anerkannt und wird beispielsweise in der Pharmaindustrie zum Prüfen auf Mutagenität potentieller Medikamente gebraucht. Als Testorganismen dienen unterschiedliche Stämme eines bestimmten Bakteriums (Salmonella typhimurium). Diesen Stämmen ist gemeinsam, dass sie als Defektmutanten die für sie lebensnotwendige Aminosäure Histidin nicht synthetisieren können. Die Ermittlung der genotoxischen Wirkung der Testsubstanzen erfolgt über die Auszählung von Organismen, die als Folge von "Rückmutationen", wieder auf Nährmedium ohne Histidin wachsen können.* Herr Mazou nimmt seit 2005 an dem Aufbaustudien-gang „Management Environnemental et Qualité des Eaux“ an der „Facultés des Sciences et Techniques (FAST)“ der Universität Abomey-Calavi in Benin teil und hat im Rahmen seiner Masterarbeit Untersuchungen mit dem Ames-Test durchgeführt. Ziel war es, das genotoxische Potential in verschiedenen Wasserproben zu ermitteln.

Durch seinen Abschluss an der FAST ist ihm die Möglichkeit gegeben, zukünftig eine Lehrtätigkeit im Wasserfach aufzunehmen und die von IMPETUS in Benin etablierte Methodik zur bakteriellen Trinkwasseranalytik kann auf diesem Weg weitergegeben werden, um in anderen Laboren Anwendung zu finden.

Für Maßnahmen des „*Capacity Building*“ hat Herr Mazou die Einrichtungen des chemisch-mikrobiologischen Labors in Parakou bereits genutzt, um seine Kommilitonen im Rahmen eines zweitägigen Praktikums in die bakteriologische Trinkwasseranalytik zu unterweisen.

Im April 2006 haben Alexandra Uesbeck und Laurence Bourgeois ein Treffen der Kooperationspartner des IMPETUS-Labors initiiert, um gemeinschaftlich über die Problematik der Trinkwasserqualität und mögliche Lösungsansätze zu diskutieren. Der Einladung sind Mitarbeiter und Verantwortliche der schweizerischen Organisation Helvetas, der Caritas, Parakou und des DED gefolgt. Insbesondere wurde das Konzept von Helvetas zur Sanierung und Umrüstung großer Dorfbrunnen zu geschlossenen Pumpensystemen vorgestellt und die damit einhergehende Verbesserung der Trinkwasserqualität diskutiert. Die Mitarbeiter der Caritas verfolgen seither Pläne, zukünftig ein Bohrgerät für den Bau von Pumpen anzuschaffen und sind an dem Sanierungskonzept von Helvetas interessiert.

Seit 2006 ist die Finanzierung des Brunnensanierungsprojektes von Helvetas abgelaufen, aber die Kooperation mit dem IMPETUS-Labor hat weiterhin Bestand. Die Labormitarbeiter führen bei Installationen von Hochbehältern zur Trinkwasserversorgung von Gesundheitsstationen begleitend Wasserqualitätsanalysen durch.

Im Oktober 2006 wurde eine zuverlässige und einfach durchführbare Methodik zur chemischen Wasseranalytik in Zusammenarbeit mit den Chemielaboranten Frau Sandra Eiling und Herrn Frank Seifert etabliert und validiert. Die photometrische Bestimmung von Parametern wie Nitrat, Nitrit, Ammonium, Sulfat und Phosphat wird seither mit Küvettentests der Firma Dr. Lange auf dem dafür vorgesehenen Photometer CADAS 100 von den beninischen Labormitarbeitern Farouk Mazou und Martial Dossou durchgeführt. Die neu eingeführte Methodik beinhaltet eine Kontrollfunktion, an der die Mitarbeiter die Qualität der durchgeführten Analysen und mögliche Fehlerquellen direkt feststellen können. Der Mitarbeiter Martial Dossou führt seither chemische Analysen der Pumpenwasser des Beprobungsgebietes durch. Es soll überprüft werden, ob von dem bakteriologisch meist einwandfreien Trinkwasser aus Pumpen mögliche chemische Belastungen ausgehen. In einem Fall konnten in dem Dorf Dogué Nitratkonzentrationen, die achtfach über dem Grenzwert der deutschen Trinkwasserverordnung lagen, in dem Wasser der neu installierten Pumpe festgestellt werden.

Die Methodik zur Analyse weiterer chemischer Parameter wie Calcium, Magnesium, Fluorid, Eisen, Carbonat und Kalium wird ebenfalls zeitnah mit Dr. Lange-Küvettentests etabliert.



**Abb. III.1.4-10:** Martial Dossou führt chemische Wasseranalysen an dem Photometer CADAS100 durch

Im Oktober 2006 hat sich Herr Moissou Lagnika im IMPETUS-Labor für eine Praktikumsstelle beworben und vorgestellt. Er ist ebenfalls Student des Masterstudiengangs „Management Environnemental et Qualité des Eaux“ an der „Facultés des Sciences et Techniques (FAST)“ der Universität Abomey-Calavi in Benin und wird im Rahmen seiner DESS-Abschlussarbeit Trinkwasseranalysen im IMPETUS-Labor durchführen. Ziel seiner Arbeit ist es, die Gefahr der Wasserkontamination auf dem Transportweg von der Pumpe, bzw. dem Brunnen zu den Haushalten zu untersuchen, sowie den Kontaminationsverlauf während der Lagerung des Wassers festzustellen. Ein entsprechendes Arbeits-Konzept hat Herr Lagnika bereits schriftlich eingereicht und es inhaltlich mit dem betreuenden Professor der FAST besprochen.

Ab Februar 2007 wird er den praktischen Teil seiner Arbeit in Parakou unter Anleitung der IMPETUS-Mitarbeiter durchführen.

Die virologische Brunnenprobung wurde im unveränderten Umfang weitergeführt und liefert weiterhin stabile Ergebnisse für den Virusnachweis. Adenoviren und Rotaviren finden sich in ca. 10% aller Trinkwasserquellen in unterschiedlicher Konzentration. Zum Nachweis wassergebundener Übertragung der Viren mit anschließender Erkrankung werden darüber hinaus Infektionsketten analysiert. In Kooperation mit der Universitätsklinik Parakou werden Kinder mit Durchfall auf Rota- und Adenoviren hin untersucht und Informationen über Trinkquellen an die IMPETUS-Mitarbeiter im Labor weitergegeben. Die untersuchten Stuhlproben werden zusätzlich gesammelt und zu einem späteren Zeitpunkt in Köln untersucht, so dass anhand der Erbinformationen Verwandtschaftsgrade bestimmt werden können. Für diese aufwendigen Untersuchungen wurden Methoden etabliert, die eine Sequenzanalyse auf Nukleotidebene ermöglichen.

Da eine molekularbiologische Virusdiagnostik im IMPETUS Labor nicht realisierbar ist, wird im Moment an einem Verfahren gearbeitet, das in Parakou umgesetzt werden kann. Für dieses Verfahren muss eine Gratwanderung zwischen Methodenaufwand und Aussagekraft vollzogen werden. In einem ersten Versuch wurde der Virusnachweis nach der bekannten und validierten Aufkonzentration mittels Virus-Schnelltest geführt. Dieser Test ermöglicht es spezifische Rota- und Adenovirusproteine auf einfache Weise nachzuweisen, die beiden häufigsten in Wasserproben gefundenen



Viren. Bisher verhindert die hohe Nachweisgrenze dieses Verfahrens eine schnelle Umsetzung und muss jetzt durch weitere Aufkonzentrationsschritte ergänzt werden. Als Vergleichsmethode dient das etablierte Verfahren. Zusätzlich werden die Ergebnisse im Hinblick auf die gefundenen Virus-konzentrationen in den Wasserproben analysiert, damit der Nachweis einer angemessenen Menge an Virus möglich wird.

Es wurde die Idee zu einem SDSS Wasserqualität „Möglichkeiten der Prävention wassergebunde-ner Infektionserkrankungen und Maßnahmen im Notfall“ entwickelt, die auf drei Grundlagen ba-siert. Das Ziel ist es, durch Aufzeigen verschiedener Handlungsoptionen Ausbrüche von Infektions-erkrankungen, verursacht durch wassergebundene Krankheitserreger, zu minimieren, bzw. sie so schnell wie möglich unter Kontrolle bringen zu können. Zum einen soll dazu ein Netzwerk geschaf-fen werden, das es erleichtert, eine Häufung von Durchfallerkrankungen (z.B. Cholera) oder Ty-phusfällen in den Dörfern frühzeitig zu erkennen und anhand eines „Fahrplans“ für die Notfallsitua-tion soll eine rasche Eindämmung einer Epidemie ermöglicht werden. Außerdem sollen anhand des SDSS Entscheidungsträgern Handlungsoptionen aufgezeigt werden, die auf den im Rahmen von PK Be-G.5 ermittelten Ergebnissen bezüglich der Trinkwasserqualität im HVO beruhen und eine Prä-vention von Wasserkontaminationen im Vorfeld ermöglichen.

Zielgruppen des SDSS sind zunächst die Wassernutzerkomitees auf Dorfebene und die Verantwort-lichen für Trinkwasserqualität auf Gemeindeebene, da im Zuge der Dezentralisierung in Benin die Versorgung der Dörfer mit sauberem Trinkwasser in den Verantwortungsbereich der Kommunen fällt. Ebenfalls soll das SDSS an die DGEau, die verschiedenen „Service régional de l'eau“, an Ent-scheidungsträger auf dem Gesundheitssektor, wie die neu gegründete Gesundheitspolizei „police sanitaire“ und den „Service de l'hygiène“ übergeben werden. Die verschiedenen Zielgruppen setzen voraus, dass das SDSS in verschiedenen Formen vorliegt. Ein erstes Modul wird in Papierform für Nutzer auf Dorfebene entwickelt und ein zweites Modul in digitaler Form soll Nutzern zur Verfü-gung gestellt werden, die einen Gesamtblick auf das Obere Ouémé Einzugsgebiet haben.

## III.2 Marokko und seine Themenbereiche

### III.2.1 Existenzsicherung

#### PK Ma-E.1 Ökonomische Aspekte des Wassermanagements im Einzugsgebiet des Drâa



Landwirtschaftliche Felder mit Bewässerungsgräben in der Oase Ternata

#### **Problemstellung**

Die Zukunft vieler Landwirte des Drâa Einzugsgebietes hängt von einem effizienten Wassermanagement ab. Aufgrund der langen Dürreperioden und Subventionen für Motorpumpen ist in den letzten Jahren vermehrt Grundwasser für die Bewässerung der Felder verwendet worden. Dies führte zu einem stetigen Absinken des Grundwasserspiegels, vermehrten Problemen mit Salinität und zu langfristig steigenden externen Kosten der Ressourcenübernutzung. Daher ist die ökonomische Analyse des Wassermanagements und die Bewertung von Wasser im ökonomischen Sinne ein entscheidender Bestandteil eines effektiven Wassermanagements in der Drâa Region.

Mit der Umstrukturierung der zuständigen Institutionen wird auch zukünftig die Bedeutung von politischen Eingriffsmöglichkeiten im Wassermanagement des Drâa Tals steigen. Ökonomische Instrumente wie Wasserpreise, Subventionen, Mengensteuerungen gewinnen an Relevanz für ein Gebiet, das bisher von politischen Eingriffen weitgehend ausgenommen wurde. Mit Hilfe des Modells MIVAD können unterschiedliche Politikinstrumente simuliert und in verschiedenen Interventionsszenarien verglichen werden.

## Mitarbeiter

Claudia Heidecke, Arnim Kuhn, Stephan Klose, Andreas Roth

## Zielsetzung

Im Vordergrund des Jahres 2006 standen Verbesserungen des Modells MIVAD sowie die Ausbesserung der Datenlage im Model mit Hilfe einer agrarökonomischen Befragung. Insbesondere wurde das Grundwassermodul des Modells MIVAD in Zusammenarbeit mit Stephan Klose, Hauptverantwortlicher des PK Ma-H.2, an das hydrogeologische Bilanzierungsmodell BIL umgestellt. So können Szenarien und Parameter besser verglichen werden, wodurch die hydrologische Modellierung in MIVAD an Bedeutung gewinnt. Die Ertragsmodellierung in MIVAD wurde essentiell durch ein Salzmodul erweitert. Somit können Ertragsdefizite aufgrund von hohen Salzgehalten im Oberflächen und Grundwasser erfasst und bewertet werden.

Bestehende Kontakte wurden vertieft und neue Kontakte aufgebaut, was den Aufbau von Kapazitäten und die Übergabe und Vermittlung der Modelle und Ergebnisse erheblich erleichtert. So wurde insbesondere wertvolle Kontakte zu Ministerien und Universitäten gefestigt.

## Methodik

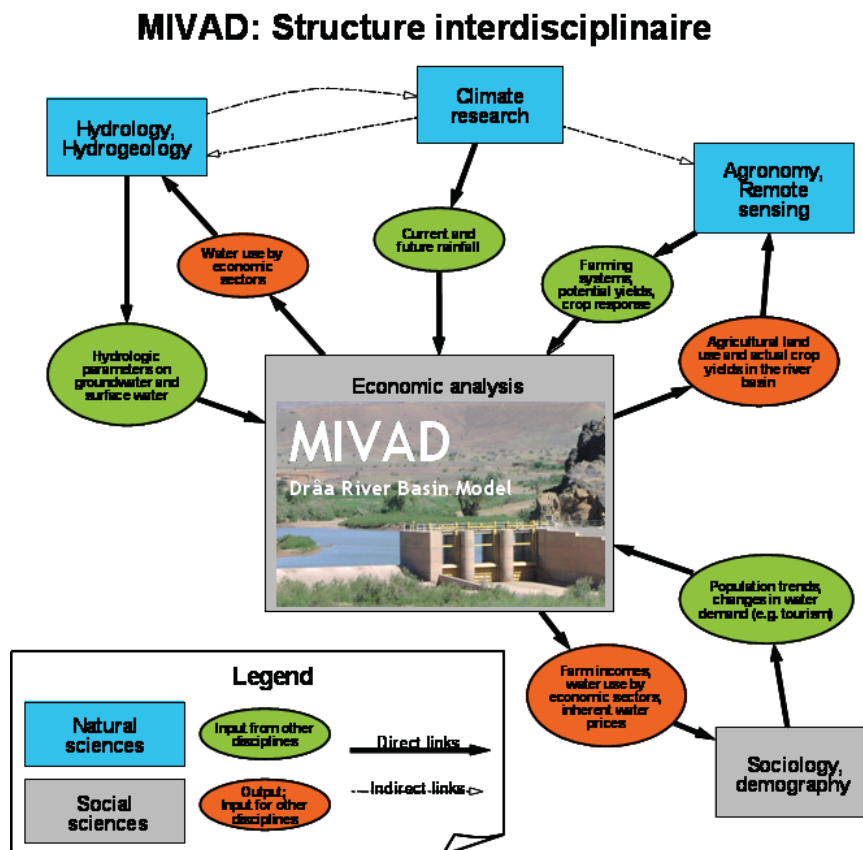


Abb. III.2.1-1: Aufbau und Inputparameter des Modells MIVAD

Hauptbestandteil des PK Ma-E.1 ist das ökonomische Optimierungsmodell MIVAD. In der Modellersprache GAMS werden landwirtschaftliche Profite und Wassernutzung unter verschiedenen Nebenbedingungen maximiert. Dabei stellt MIVAD eine Verknüpfung her zwischen landwirtschaftlicher Wassernutzung und Ressourcenverfügbarkeit und ist somit Bindeglied zwischen verschiedenen Disziplinen und Schnittstelle zu unterschiedlichen PKs.

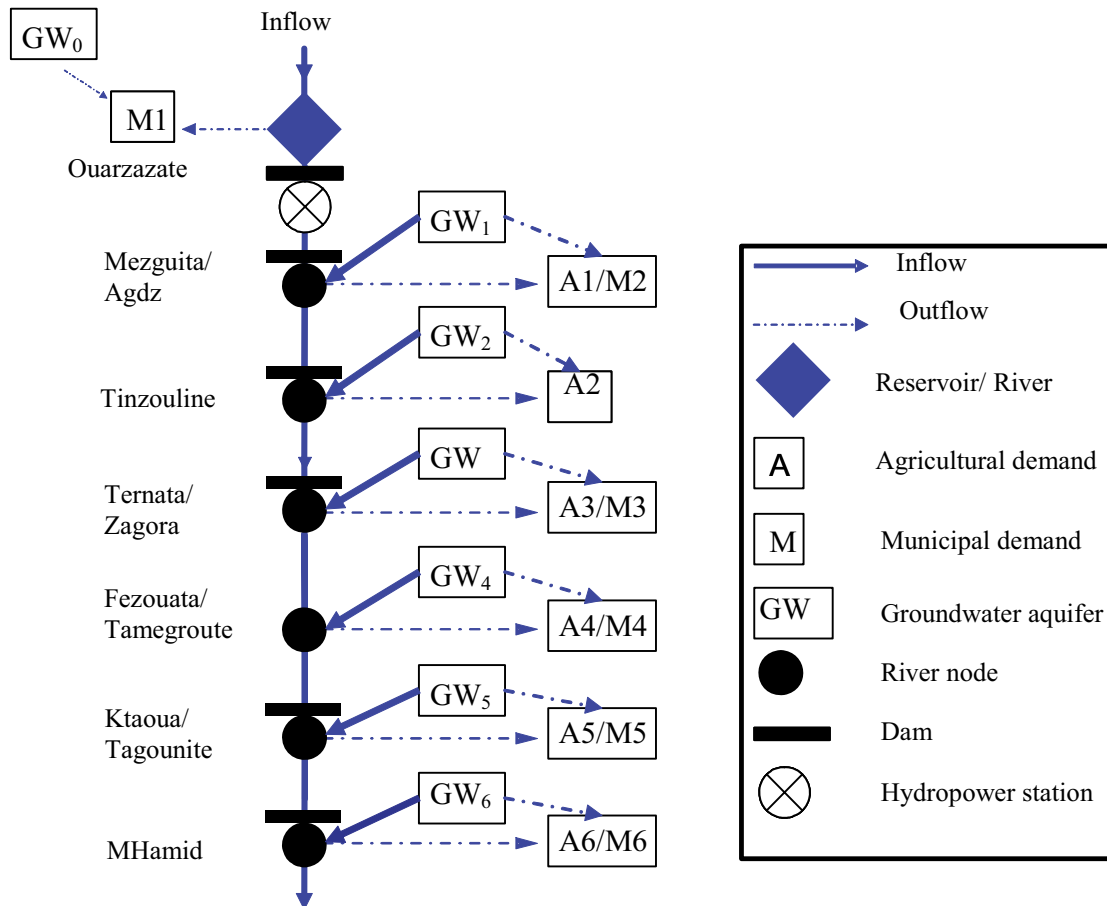


Abb. III.2.1-2: Knotennetzwerk in MIVAD.

### Stand der bisherigen Arbeiten

Im Jahr 2006 konzentrierten sich die Arbeiten im **PK Ma-E.1** auf Verbesserung einzelner Module in MIVAD sowie die Integration und Abstimmung anderer Module aus verschiedenen IMPETUS Problemkomplexen. Zusätzlich wurde ein Schwerpunkt auf die Vertiefung bestehender Kontakte gesetzt und weitere Kontakte aufgebaut insbesondere zur Universität Hassan II im Rahmen des Capacity Building in der dritten Projektphase.

### *Modellierung der Ertragsreduktion durch Versalzung*

Versalzung spielt im Drâa Tal eine wesentliche Rolle. Hohe Salzgehalte im Boden und im Bewässerungswasser besonders in den südlichen Oasen verringern die landwirtschaftlichen Erträge. In einigen Gebieten des Südens sind die Salzgehalte mittlerweile so groß, dass landwirtschaftliche

Produktion nicht mehr möglich, geschweige denn rentabel ist. Daher stellt die Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen Bewässerung, Salzkonzentration im Bewässerungswasser und Ertragsbildung eine erhebliche Verbesserung des Simulationsmodells dar.

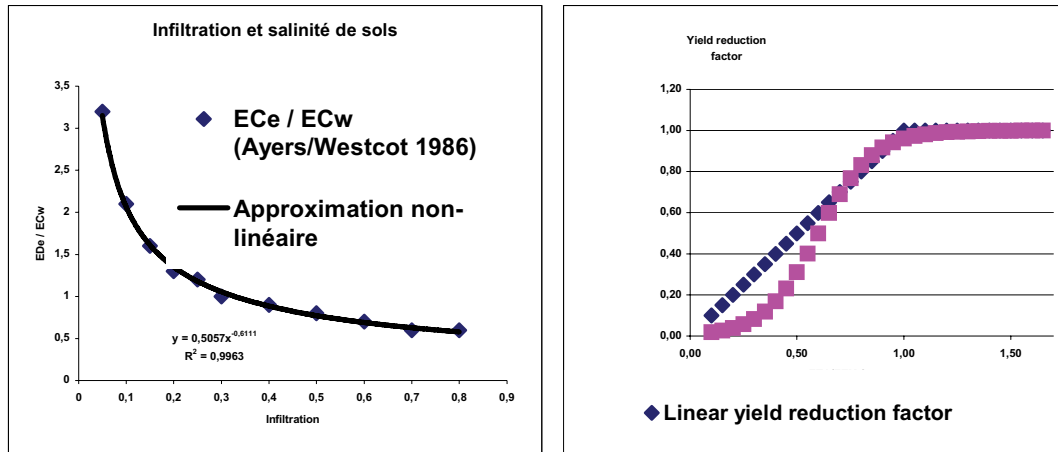


Abb. III.2.1-3: Zusammenhang zwischen Versalzung des Bodens und Bewässerungsmenge

Die Ertragsbildung in MIVAD wird ausgehend vom Maximalertrag um einen Wasserdefizitfaktor sowie um einen Salzreduktionsfaktor reduziert. Beide Faktoren werden aus nicht-linearen Gleichungen berechnet, die mit der Versickerungsrate im Boden zusammenhängt. Der Salzreduktionsfaktor wird bemessen nach AYERS und WESTCOT (1985). **Abb. III.2.1-4** unterstreicht den Effekt der Modellierung von Salinität. Besonders in trockenen Jahren ist die Grundwassernutzung unter Berücksichtigung von Versalzung erheblich reduziert, da die Bewässerung mit versalztem Grundwasser unter ökonomischen Aspekten nicht rentabel ist.

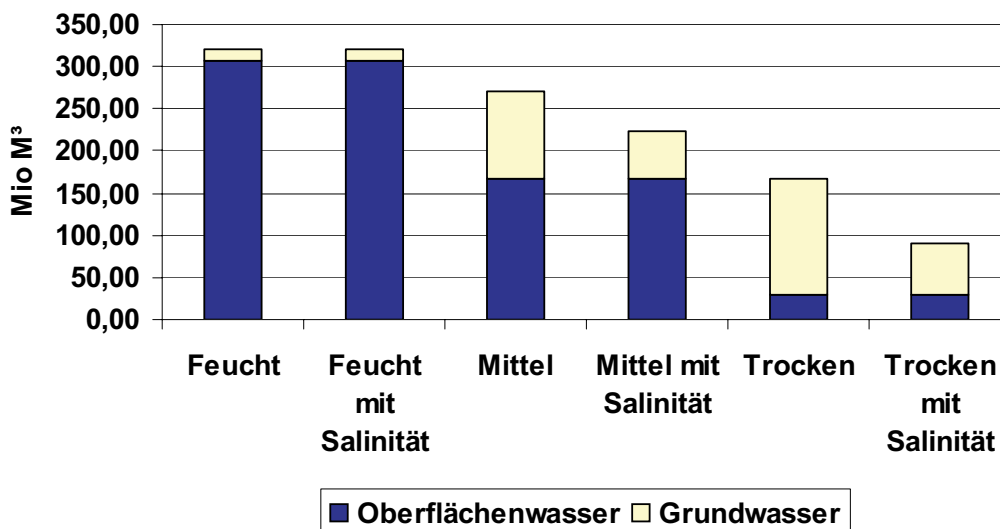


Abb. III.2.1-4: Modellergebnisse mit und ohne Salzreduktionsfaktor für feuchte, mittlere und trockene Jahre

### Grundwasserbilanzierung

Das Grundwassermodul wurde in Anlehnung an das hydrogeologische Bilanzierungsmodell BIL des PK Ma-H.2 umgestellt. Gleichungen und Parameter wurden abgestimmt und übernommen, so dass die Grundwasserbilanz im Model MIVAD mit der des hydrogeologischen BIL Modells vergleichbar ist.

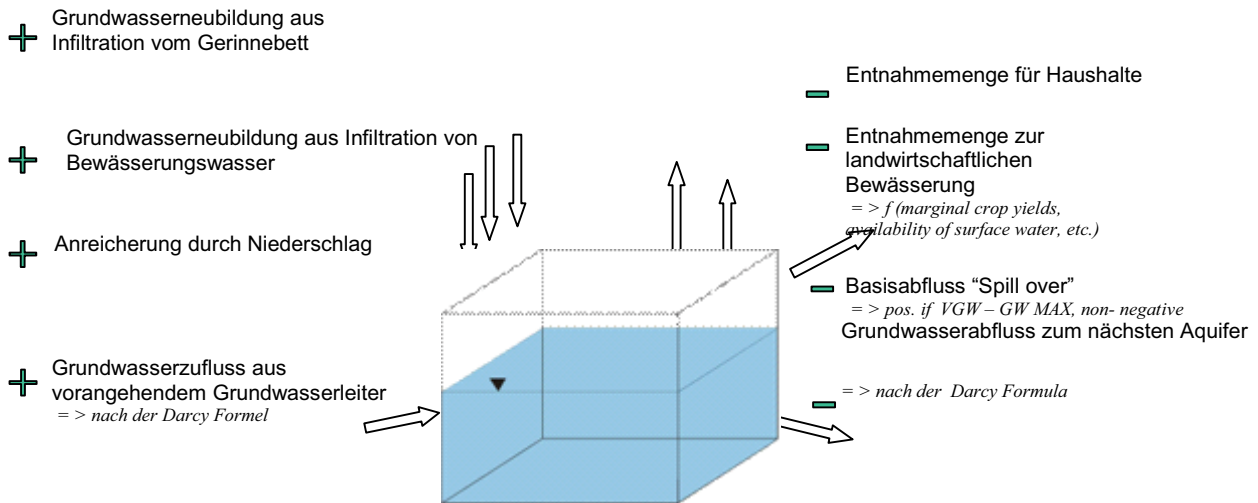


Abb. III.2.1-5: Grundwasserbilanzierung in MIVAD (vgl. PK Ma-H.2).

Der Grundwasserfluss von einem zum nächsten Aquifer wurde durch die Formel nach Darcy an die örtlichen Gegebenheiten angepasst.

$$\text{Grundwasserfluss} = \text{Hydraulische Durchlässigkeit} * \text{Hydraulischer Gradient} * \text{Durchflussfläche}$$

Die Grundwasserneubildung, speziell der Grundwasserneubildung durch Infiltration im Flussbett, wird mit Hilfe von Infiltrationskoeffizienten parametrisiert, die dem hydrogeologischen BIL entnommen wurden.

### Modellierung von verschiedenen Szenarien

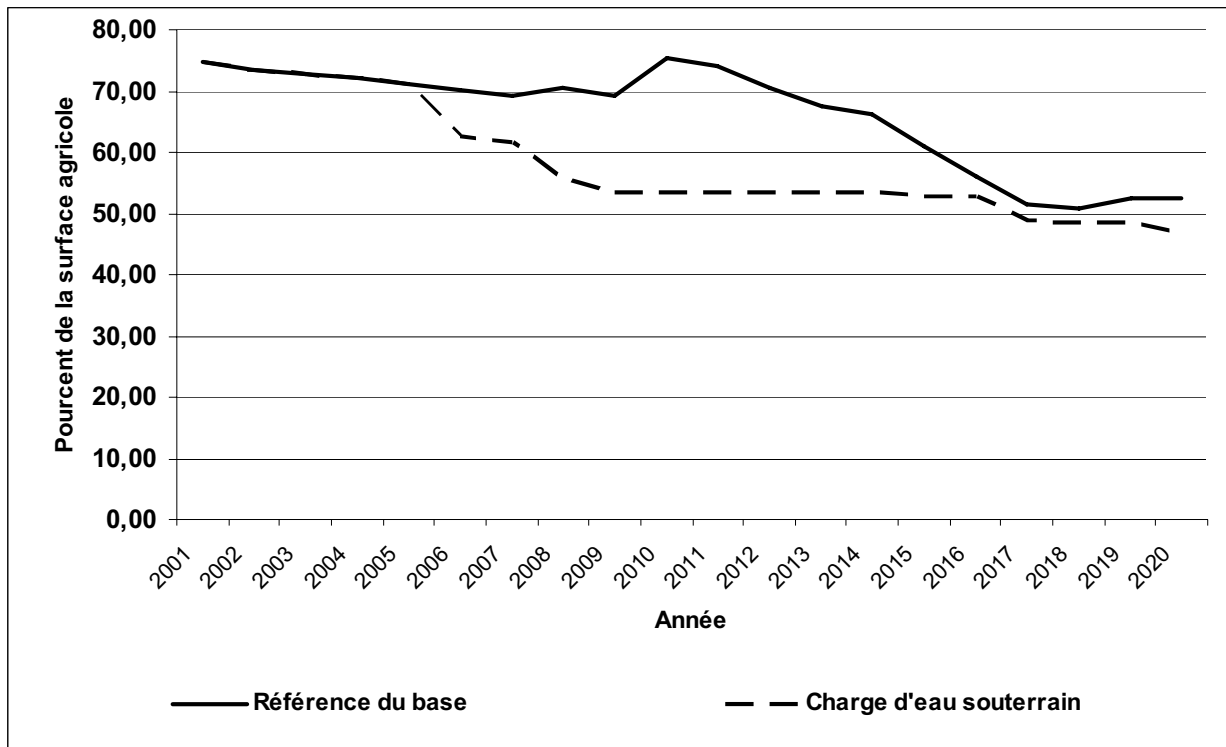


Abb. III.2.1-6: Szenariomodellierung von Grundwasserpreisen von 0.58 MAD/m³

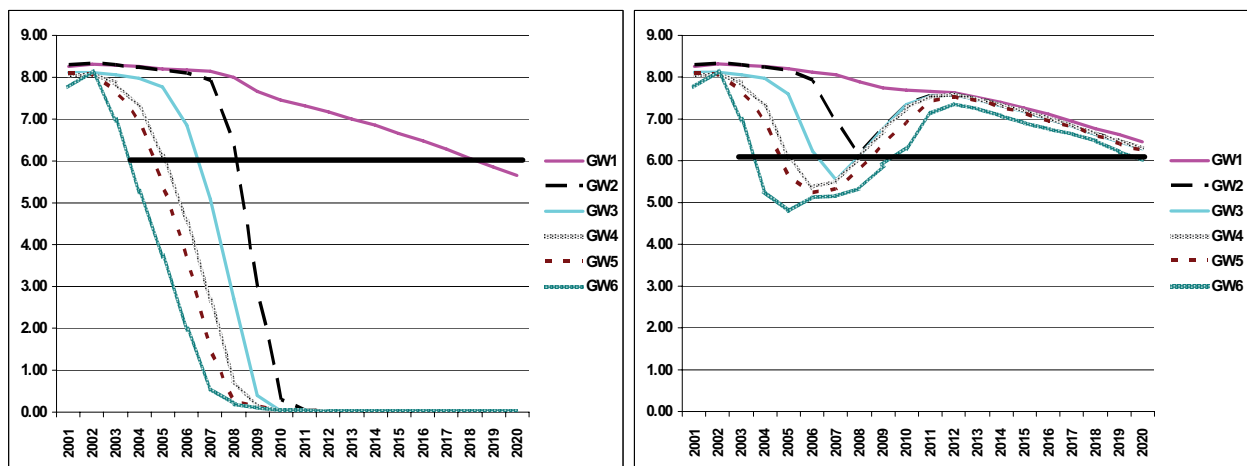


Abb. III.2.1-7: Szenariomodellierung von Grundwasserpreisen von 0.70 MAD/m³

Eine denkbare Intervention im Wassermanagement im Drâa Tal wäre die Einführung eines Wasserpreises auf die gepumpten Mengen an Grundwasser. Das Drâa Tal ist eines der wenigen Gebiete in Marokko, in dem Landwirte keine zusätzlichen Abgaben für die Nutzung von Grundwasser zahlen müssen (Doukkali, 2005). Dies führt zu einer Übernutzung und Ausbeutung der Ressource. Aber auch wenn die Landwirte keine administrativen Kosten für die Nutzung haben, müssen sie variable



Kosten in die Produktion für Benzin und Ölkosten und die Wartung der Motorpumpen einrechnen. In der agrarökonomischen Befragung konnten diese im Durchschnitt mit 0,58 MAD pro Kubikmeter berechnet werden. Die berechneten Szenarien in den Abbildungen spiegeln den Effekt dieser Kosten wieder. In Szenario 1 wurden nur die variablen Kosten von 0,58 MAD berücksichtigt. In Szenario 2 wurde ein zusätzlicher Wasserpreis von 0,12 MAD pro Kubikmeter eingeführt, was zu insgesamt Kosten für die Nutzung von Grundwasser von 0,70 MAD führt. Die Abbildungen zeigen wie sich eine Einführung eines Preises für Grundwasser zwar positiv auf den Grundwasserspiegel, jedoch negativ auf das landwirtschaftliche Einkommen auswirkt. Dieser Zusammenhang muss in einem effizienten und nachhaltigen Wassermanagement berücksichtigt werden.

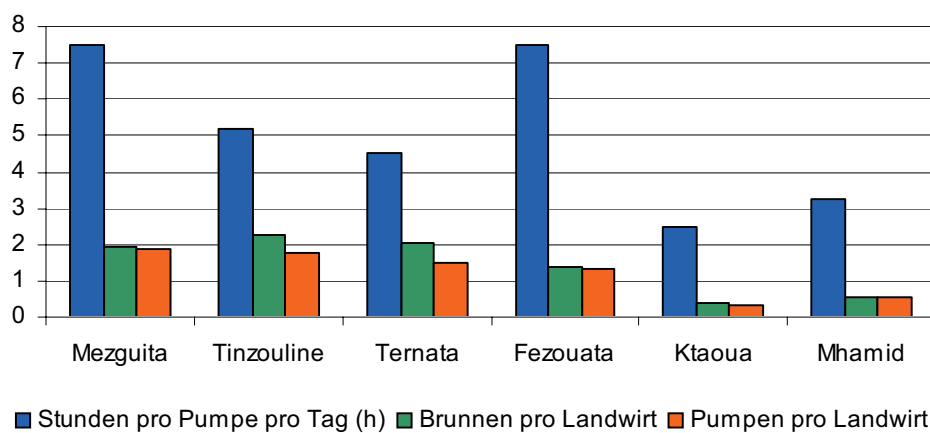
### **Zusammenarbeit mit anderen Institutionen**

Für die dritte Phase wurden weitere Kontakte hergestellt und bestehende Kontakte ausgebaut. Die Zusammenarbeit mit den marokkanischen Partnern und Institutionen konnte bisher als erfolgreich bewertet werden. Das große Interesse der Partner erleichtert den Austausch und die Diskussion der Forschungsergebnisse. Im Einzelnen wurde Kontakte mit folgenden Institutionen vertieft:

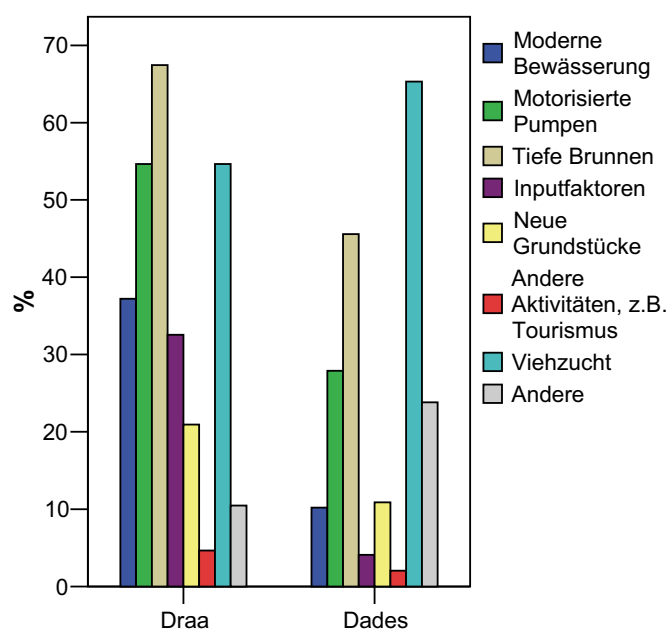
1. Universität Hassan II. Professor Rachid Mohammed Doukkali. Professor für Agrarökonomie. Hier werden in der dritten Projektphase zwei Masterstudenten mitbetreut. Forschungsaufenthalte in Deutschland zur intensiven Modellierung sind vorgesehen. Da die Studenten mit der Programmierung in GAMS bereits erste Erfahrungen während des Studiums machen konnten, ist die Nutzung und weitere Anwendung des Modells MIVAD durch die Studenten und die Universität sehr viel versprechend. Durch die Ausbildung der Studenten und die Übergabe des Modells MIVAD an die Universität ist die Implementierung nachhaltig gewährleistet.
2. Direction Generale Hydraulique. M. Lahmouri. A. Benbouziane. Insbesondere steht hier der inhaltliche Austausch in Form eines Politikdialogs im Vordergrund. Dieser sieht vor, Beratungspapiere mit verschiedenen Interventionsszenarien im Wassermanagement bereitzustellen, diese zu diskutieren und zu überarbeiten. Dabei ist es wichtig, dass die Interventionsmöglichkeiten, die simuliert werden, von den marokkanischen Experten vorgeschlagen werden. So wird direkt auf Problemstellungen und relevante Fragen für marokkanische Experten eingegangen. In der Vergangenheit ist die Durchführung dieses Politikdialogs auf sehr großes Interesse gestoßen und soll zukünftig weiter ausgebaut werden.
3. Agrarministerium. Abteilung der ländlichen Entwicklung. Experten für Bewässerungstechniken und Bewässerungsmanagement. Auch hier soll ein Politikdialog geführt werden. Bisher wurde ein erster Kontakt aufgenommen.
4. ORMVAO, (Agence du Basin). Als lokaler Partner vor Ort in Ouarzazate wurden weiterhin intensive Gespräche, Datenaustausch und Diskussionsrunden geführt, die auch zukünftig beibehalten werden. Jedoch wird das Modell MIVAD auf dieser Ebene erst durch eine neue Wasserbehörde (ABH) nützlich werden.

### Feldarbeiten

Im Jahr 2006 wurde eine umfangreiche Befragung großflächig im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Dies diente insbesondere zur Überprüfung der Sekundärdatenlage, Ausbesserung vorhandener Daten im Model, und der Analyse des Strategieverhaltens der Landwirte. Die Menge an Grundwasser, die zur Bewässerung verwendet wird, ist in den letzten Jahren immer weiter gestiegen und ist ein wichtiger Faktor für das Model MIVAD wie auch für andere Problemkomplexe. Jedoch gibt es keine Daten oder Abschätzungen über die gepumpte Menge im Drâa Tal. Anhand der Befragung konnte zumindest eine Annäherung der Anzahl der Motorpumpen über Mittelwerte erreicht werden. Mit Hilfe der Messungen von gepumpten Grundwasserentnahmemengen im Rahmen der PK Ma-H.2 und PK Ma-E.2 konnten Rückschlüsse auf die gesamte Entnahmemenge im Drâa Tal gezogen werden. **Abb. III.2.1-8** zeigt Ergebnisse für die sechs Oasen im Drâa Tal.



**Abb. III.2.1-8:** Ergebnisse der Befragung im Drâa Tal vom Oktober 2005: Gepumpte Stunden Grundwasser pro Tag (h), Durchschnittliche Brunnen pro Landwirt, Durchschnittliche Pumpen pro Landwirt in den Drâaoasen



**Abb. III.2.1-9:** Prioritäten für Investitionen nach einer ertragreichen Ernte im Drâa und Dades Tal

Das Verhalten der Landwirte unterscheidet sich zwischen dem Drâa und dem Dades Tal. **Abb. I-II.2.1-9** zeigt die unterschiedlichen Prioritäten für neue Investitionen der beiden Gebiete sehr deutlich. Während im Drâa Tal ein Schwerpunkt auf der Bewässerung liegt, wird im Dades Tal verstärkt in Tierkauf investiert. Durch die agrarökonomische Befragung konnten verschiedene offene Fragen mehrerer PK Mitarbeiter beantwortet werden. Eine ausführliche Auswertung der Befragung und der Daten wird den Stakeholdern und den lokalen Landwirtschaftsbehörden zur Verfügung gestellt.

### Literatur

Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Irrigation and Drainage Paper 29.

Doukkali, M.R. (2005): Water institutional reforms in Morocco. Water Policy 7.pp 71-88.

## PK Ma-E.2 Landwirtschaftliche Anbaustrategien in den Drâa-Oasen bei Wasserknappheit



### Problemstellung

Die zeitliche und räumliche Variabilität der Niederschlagsgaben sowie die Tendenz zu singulären Starkregenereignissen führt zu einem schwierigen Wassermanagement des Stausees "Barrage el Mansour Eddahbi" bei Ouarzazate, mit der immer häufigeren Folge von verminderten *Lachergaben*. *Lacher* sind staatlich gesteuerte Bewässerungsgaben aus dem Stauseereservoir. Es stehen geringere Mengen Wasser für die Bewässerung zur Verfügung. Die Landwirtschaftliche Produktion in den Drâa-Oasen wird unzureichend und risikoreicher. Um einen ausreichenden Erntertrag zu erwirtschaften, müssen die meisten Landwirte zunehmend auf individuelle Brunnenbewässerung zurückgreifen, welche als Folge das Grundwasserreservoir negativ beeinflusst. Aus diesen Gründen ist die Modellierung von Szenarien der zukünftigen Entwicklung der Wasserversorgung für die Landwirtschaftliche Grundversorgung essentiell.

### Mitarbeiter

**Andreas Roth**, Anna Zeyen, Stephan Klose, Christina Rademacher, Claudia Heidecke

### Zielsetzung

Die Zielsetzung im Berichtszeitraum 2006 war die Weiterführung der Modellarbeiten innerhalb der Module (vgl. **Abb. III.2.1-10**), d.h. die Modellierung des häuslichen Wasserverbrauchs, der Bodenversalzung, der Wasserbedarf der Kulturen und der Grundwasserverfügbarkeit. Diese sind als integrative Einflussfaktoren der zukünftigen Wasserverfügbarkeit für die agrarische Produktion anzu-

sehen. Ziel der Modellierung ist die Szenarientwicklung auf der Grundlage des Prozessverständnisses der Einflussfaktoren. Der wichtige Folgeschritt war der konzeptionelle Beginn der Konstruktion des Fachinformationssystems (IS) im Spätsommer 2006. In ihm sollen in enger Modulverknüpfung mit dem PK Ma-H.2, wichtige Ausgabeparameter für die Landwirtschaftliche Produktion, u.a. Ernte, Bodengüte in Abhängigkeit ihrer Wassergaben erfasst und dem Nutzer zur Entscheidungsunterstützung präsentiert werden. Hinzu kamen die Diskussion und Modifikation unserer Parameter und Zielsetzungen mit marokkanischen Partnerinstitutionen im Laufe dieses Jahres. Aus diesen Diskussionen heraus wurden teilweise die Zielvorgaben der Modellierungen und einige Parameter erneut modifiziert.

### **Methodik**

Die Grundlagen für die Modellierungen stellen Datensammlungen aus Kartenmaterialien, Befragungen und eigenen Erhebungen innerhalb des Bearbeitungsschwerpunktes der Oase Yaouled Oueb (Oase Tinzouline) dar. Aufgrund der Datenfülle für diesen Bereich ist es die Zielvorgabe dieses PK's diese Daten mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems räumlich explizit zu analysieren und in einem Fachinformationssystem zur Verfügung zu stellen. Dieses Fachinformationssystem wird gespeist durch (Interventions-)Szenarien der verschiedenen angewandten Modelle, die jeweils einer Disziplin zuzuordnen sind. Das analytische Modell C.E.M. Drâa wurde eigens hierzu entwickelt (Rademacher), um vor ethnologischem Hintergrund, den jährlichen häuslichen Wasserverbrauch pro Kopf zu simulieren. Das look up table basierte CROPDEM simuliert auf der Basis von kc Werten, des von der FAO 1986 entwickelte CROPWAT Modells, den jährlichen Wasserverbrauch der Kulturen. In einem eigens entwickelten konzeptionellen Speicher-Kaskaden Modell (Klose) wird die jährliche Grundwasserbilanz pro Oase errechnet. Die numerische Grundwasserströmungsmodellierung wird exemplarisch auf der lokalen Skala durchgeführt. Das numerische Modell SAHYSMOD (Zeyen) simuliert den Salzgehalt als elektrische Leitfähigkeit in den Oasenböden in jährlichen Zeitschritten.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Im Berichtszeitraum bestand der Fokus der Arbeiten innerhalb des PK Ma-E.2 in der Analyse und Parameteroptimierung der verwendeten Modelle. Dies ist zwingend notwendig um die Modelle auf die spezifischen Fragestellungen hin auszubauen und entsprechend Szenarien berechnen zu können. Um diese Anforderungen zu erreichen wurden konstruktive Gespräche, beispielsweise im Rahmen des „Comité de pilotage“, geführt. Bei dieser Gelegenheit wurden die Ziele des PK erörtert und mit marokkanischen Partnern eingehend diskutiert. Darüber hinaus wurde mit dem Teilprojekt C2 die Konzeption eines zielgerichteten Fachinformationssystems dieses PK für die Beispieloase Ouled Yaoub/ Oase Tinzouline vereinbart und begonnen.

Dem Aufbauschema des PK Ma-E.2 folgend lassen sich die Zwischenergebnisse im folgenden fachspezifisch darstellen:

### ***Modul Agrarmodellierungen***

1. Kalibrierung und Validierung eines Anbausystems von Mais (*Zea mays*) und Gerste (*Hordeum vulgare*) in einer Hochoase im Hohen Atlas Gebirge in SE Marokko mit dem Agrar-Modell DSSAT v. 4.0 (ICASA 2004)

Auf der Grundlage von zwei Feldkampagnen, davon eine (Sommer 2005) im Rahmen dieser Diplomarbeit (Fehling 2006) zur Generierung der Datenbasis zu Mais. Die andere im Rahmen eines fachspezifischen Praktikums (Frühling 2004) zu einem Minimum Datensatz zur Modellierung der Gerste. Dabei wurde der erforderliche Datensatz zur Phänologie von Gerste und Mais erarbeitet, um das Pflanzenwachstum, die Wassernutzungseffizienz und den Ertrag dieser Früchte angemessen modellieren zu können. Diese Feldfrüchte tragen den Hauptanteil der angebauten Früchte (~ 60-80%) und sind somit ein typisches Agrarsystem dieser Region bestehend aus Obstbäumen, Gemüse und Plantanen.

Die Oasen Tichki und Ameskar (2300m bzw. 2150m ü. N.N:) wurden als repräsentative Hochgebirgsoasen in charakteristischen Ausprägung gewählt. Wobei die Oase Tichki pedologisch als limnisch-basaltische Falte angesprochen werden. Diese Fläche zeigt einen mit dem Höhengradienten abnehmenden Bodenfruchtbarkeitstendenz, worin fünf Bodentypen unterschieden, worauf wiederum unsere hier behandelten Versuchsfelder angelegt wurden. Während verschiedener Pflanzenwachstumsphasen (plt. Growth stages) wurden, der Blattflächenindex (LAI), die Trockenmasse einzelner Pflanzenbestandteile und die Bewässerungsgaben gemessen. Die stomatäre Leitfähigkeit (stomata conductance) an *zea mays* sowie die Bodenwassergehalte in 20 und 50 cm Tiefe wurden 2005 in verschiedenen Perioden auf allen Versuchsfeldern gemessen. Die IMPETUS Klimastationsdaten der Stationen „Ameskar“, Tichki“ und „Oase Tichki“ wurden zur Witterungsgenerierung in der Kalibrierung verwendet.

Das Modell wurde durch Feldexperimente (siehe oben) nach den Richtlinien von Tsuji et al. 1998) für jede Kultur kalibriert. Modellparameter die bestimmend für die Phänologie einzelner Kulturen sind, konnten iterativ ermittelt werden, sodass simulierte und gemessene Werte eine gute Übereinstimmung erzielten. Daraufaufgehend konnten Trockenmasseakkumulation, Blattflächenindex und zuletzt der Ertrag kalibriert werden. Schwierigkeiten traten allerdings in der Bestimmung der Sortendetermination auf da keine simulierte Sorte die gemessenen Kriterienwerte (LAI, TM und Ertrag) wiedergeben konnte. Somit musste die statistische ANOVA Auswertung Auskunft über die genaueste Sorte geben.

Die ausgewählte Sorte wurde daraufhin auf den verblieben 4 Feldern getestet. Hierbei zeigte sich, dass das Modell die Variabilität zwischen den Feldern nicht wiedergeben konnte. Bei solchen Modellierungen zeigt es sich immer wieder, dass nur mit einer ausreichend großen und guten Datenbasis Simulationen, im besonderen Blattflächensimulationen, Sinn machen. Dennoch wurde der Ertrag und die oberirdische Biomasseentwicklung für beide Kulturen gut wiedergegeben. Als Schlussfolgerung aus unseren Simulationen kann in Anbetracht der beiden Beobachtungskampagnen, davon ausgegangen werden das das Oberflächenwasser hier kein limitierender Faktor ist. Dabei zeigen die beiden unterschiedlichen Bewässerungsszenarien (1) „gemessene Bewässerungsgaben“ und (2) „keine Wasserlimitierung“ keine signifikanten Unterschiede in der Simulationsgenauigkeit. Ersteres

Szenario erzielt eine geringfügig höhere Genauigkeit. Das lässt darauf schließen, dass ausreichende Bewässerungsgaben im Untersuchungszeitraum zur Verfügung standen.

Die mittleren Bewässerungsgaben während der Anbauphase auf den Beobachtungsfeldern summierten sich auf 1726mm (Mais 2005) und 2334mm für Gerste (vgl. Tab.1). Die mittleren Transpirationsraten ( $E_a$ ) von 295mm bzw. 386mm für Mais bzw. Gerste erscheinen plausibel. Sepaskhbar et al. (2006) simulierten Wassernutzung von Mais unter Wasserstressbedingungen und ermittelten  $E_{Ta}$  Werte von 250-380mm je nach Bewässerungsintervall. Cárcova et al. (2000) errechneten Wassernutzung von Mais auf 2,5-3,9mm/d in Abhängigkeit verschiedener Maishybriden. Für Gerste summierten (Eitzinger et al. 2002) die  $E_a$  auf 180-270mm. Ähnliche Resultate von 258mm ermittelte Abu Hamad et al. (2003) im Wadi el-Far'a für Gerste. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass eine große Menge des für die Bewässerung verwandten Wassers infiltriert und den tiefergelegenen Vorfluteranliegern wiederum zur Verfügung steht. Somit sind die Evapotranspirationsraten viel niedriger als die Bewässerungsmenge (Fig. 1, Fig. 2) während der Wachstumsperiode, aber immer noch höher als die eingegangene Niederschlagsmenge, 93mm (2004) und 163mm (2005). Die Water use efficiency (WUE) ergab für Mais einen Wert von 0,12 g/L bzw. 0,17 g/L (Gerste) je aufgenommenen Liter Wasser. Andresen et al. (2001) ermittelten in 100 jährigen Simulationen auf 13 Test sites mit ähnlichen Trends mit dem Modell CERES-Maize, dessen Skripte auch DSSAT v. 4.0 zugrunde liegen, WUE Mittelwertewerte von 0,02 kg/ha/yr.

**Tab. III.2-1:** Der gemessene Gerste Ertrag 2004 (a) und der gemessene Mais-Ertrag 2005 (b) der fünf untersuchten Felder in Tichki. A = Feldgröße in  $m^2$ , E = Ertrag in kg/ha, h = Höhe der Pflanzen in cm,  $V_{was}$  = Bewässerungsmenge in  $m^3/m^2$ , d = Pflanzendichte bei der Ernte pro  $m^2$ ,  $1/WUE$  = reziproker Wert der Wassernutzungseffizienz des Bewässerungswassers in  $m^3$  (Wasser)/kg (Korn). Niederschlag macht im Sommer laut Messungen zusätzlich  $0,084m^3/m^2$  aus. Auf allen 5 Feldern stand im Frühjahr in beiden Jahren Gerste. Im Sommer 2005 lag Feld 2 brach. Auf den restlichen war Mais die zweite Frucht. Feld 1-3 liegen im mittleren Hang des Seitentals, Feld 4 im unteren. Feld 5 im Haupttal „Assif ' n ' Ait Hmad.

<b>a) Gerste:</b> 2004	Bodenart	Area [ $m^2$ ]	Ertrag [kg/ha]	Höhe [cm]	$V_{was}$ [ $m^3/m^2$ ]	d [ $1/m^2$ ]	$1/WUE$ [ $m^3/kg$ ]
F1	sandiger Lehm	200	5890	92	1.66	703	2.8
F2	Schwarzer Boden	150	2770	76	2.26	617	8.2
F3	lehmiger sand	104	2930	85	3.43	614	11.7
F4	Mischboden	192	5160	92	2.26	607	4.4
F5	Steinboden	455	4740	81	2.06	606	4.3
Ø		220	4298	85	1.66	604	3.9

<b>b) Mais:</b> 2005	Bodenart	A [ $m^2$ ]	E [kg/ha]	h [cm]	$V_{was}$ [ $m^3/m^2$ ]	d [ $1/m^2$ ]	$1/WUE$ [ $m^3/kg$ ]
F1	sandiger Lehm	200	1691	91	2.82	16	16.7



220	IMPETUS					Existenzsicherung		
F2	Schwarzer Boden	150	x	x	x	x	x	x
F3	lehmiger Sand	104	2914	122	2.1	29	7.2	
F4	Mischboden	192	1067	94	1.18	15	11.1	
F5	Steinboden	455	3248	122	0.81	16	2.5	
∅		220	2230	107	1.73	16	7.8	

Diese Arbeiten dienen in der nächsten Zeit als Grundlage für die Agrar Modellierung der weitaus räumlich größer gefassten mittleren 6 Drâa Oasen. Mit dem Ziel Szenarienberechnungen der Ertragsstrukturen im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes zu gewährleisten. Wobei hier der Anbau von Mais in der Agrarstruktur im Gegensatz zum Hochoasenbau nur eine untergeordnete Rolle spielt und durch Luzerne und Weizen ergänzt wird. Diese spezifische Agrarstruktur wird nun zeitnah parametrisiert und geht als vertiefende Agrarmodellierung und mögliche Szenarienrechnungen in den PK ein.

## 2. Anwendung des Modells CROPWAT

Entsprechend der Zielsetzung im Bearbeitungsschwerpunkt der Oase Yaouled Oueb die Wassernutzung der angebauten Kulturen über das Modell CROPWAT (FAO 1986) zu bestimmen (siehe Zwischenbericht PK Ma-H.2) werden im Rahmen dieses PK's Fachkenntnisse über die angebauten Kulturen rückwirkend analysiert und stehen den Mitarbeitern zur Verfügung.

### *Modul Agrarökonomie*

Das Model MIVAD ist im Berichtszeitraum um einige Anwendungen erweitert und verbessert worden. Unter anderem wurde in Zusammenarbeit mit S. Klose Erkenntnisse aus dem Grundwasserströmungsmodell als Verbesserung der Grundwasserbilanzierungen in MIVAD Simulationen übernommen. Wichtig auch im Hinblick auf die Arbeit dieses PK's ist zu nennen die Konzeptergänzung der Ertragsmodellierung (CROPWAT) um Salzreduktionsfaktoren und Oberflächenwasserinfiltration. Dadurch wurde es möglich verschiedene Interventionsszenarien bsp. Landnutzungs- und Ressourcen, unterschiedliche Wasserverteilungsauswirkungen und den Einfluss von Wasserpreisen auf die Grundwassernutzung zu berechnen und auszuwerten. Ein weiterer Meilenstein in 2006 war die Erstellung einer SPSS Datenbank der landwirtschaftlichen Eigenerhebungen (250 Landwirten) und ihre Auswertung hinsichtlich LW Deckungsbeträge, Wassernutzung, Bewässerung und Anbaustrategien. Diese Daten werden auch im Modell MIVAD genutzt. Desweiteren werden die Daten zur Erstellung von Ergebnisberichten auf deutsch und französisch für die CMV genutzt. Weitere geplante Aktivitäten sind das Übertragen der Modellstruktur auf weitere Flusseinzugsgebiete (Lokkos und Tjadla) von zwei Masterstudenten der Universität Hassan II, der Ausbau und Erweiterung des Politikdialoges und der Aufbau des SDSS MIVAD.

### **Modul Bodenversalzung**

In den Drâaoasen stellt die Bodenversalzung ein ernst zunehmendes Problem dar. Tabelle 2 zeigt die Werte der elektrischen Leitfähigkeit im Sättigungsextrakt des Bodens, ab denen eine Reduktion der landwirtschaftlichen Erträge eintritt (Bouidida, 1990). Im Zuge der IMPETUS-Messkampagne im Herbst 2005 wurde in der Region Ouled Yaoub die Bodenversalzung gemessen. Der Mittelwert der im Oberboden festgestellten elektrischen Leitfähigkeiten beträgt 12.09 mS/cm (Minimum = 9.5 mS/cm, Maximum = 15.13 mS/cm). Die Zahlen zeigen, dass z.B. für die Weizen und Datteln bereits mit einer 25%-igen Ertragsreduktion gerechnet werden muss.

**Tab. III.2-2:** Grenzwerte der elektrischen Leitfähigkeit [mS/cm] des Bodens für die Ertragsreduktion bei den verschiedenen Kulturen (Datengrundlage: Bouidida, 1990).

% Ernteverlust Kultur	10%	25%	50%	Maximum
Gerste	10	13	18	28
Weizen	7.4	9.5	13	20
Mais	2.5	3.8	5.9	10
Datteln	6.8	10.9	17.9	32
Feigen	3.8	5.5	8.4	14
Tomate	3.5	3.4	5	12.5
Zwiebeln	1.8	2.8	4.3	7.5

**Abb. III.2.1-10** zeigt die Entwicklung der Bodenversalzung in den Draâoasen zwischen 1968 und 1980 (Bouidida, 1990). Dabei wird für jede Oase dargestellt, wieviel Prozent der Fläche von bestimmten Versalzungsgraden zu den beiden Zeitpunkten betroffen waren. Die Abbildung zeigt deutlich die zunehmende Versalzung der Böden von Nord nach Süd. Dies konnte ebenfalls für die Salzgehalte des Grundwassers nachgewiesen werden und entspricht auch heute noch der Realität, wie Grundwasserbeprobungen im Rahmen von IMPETUS zeigen. Ausserdem zeigt die Abbildung eine Verschlechterung der Situation im Lauf der Zeit. Am deutlichsten wirkt sich diese Veränderung in der Oase Ktaoua aus, wo die nicht von Versalzung betroffenen Flächen um mehr als 10% zurückgingen.

Um die zukünftige Entwicklung der Bodenversalzung abzuschätzen kommt das Modell SahysMod zum Einsatz. Das Modell bisher wurde beispielhaft für einen Garten in der Feija de Zagora parametrisiert (Breuer, in Vorb.). Die Darstellung der Ergebnisse dieser Modellierung erfolgt im Rahmen des PK Ma-H.2. Derzeit werden letzte modellinterne Probleme in Zusammenarbeit mit dem Entwickler bearbeitet. Im nächsten Schritt wird das Modell für alle Drâaoasen parametrisiert. Im Fokusgebiet Ouled Yaoub wird SahysMod aufgrund der vergleichsweise guten Datenlage in einer höheren räumlichen Auflösung angewendet. Daher werden hier im Rahmen der Feldkampagne im Frühjahr 2007 weitere Messungen der Versalzung stattfinden.

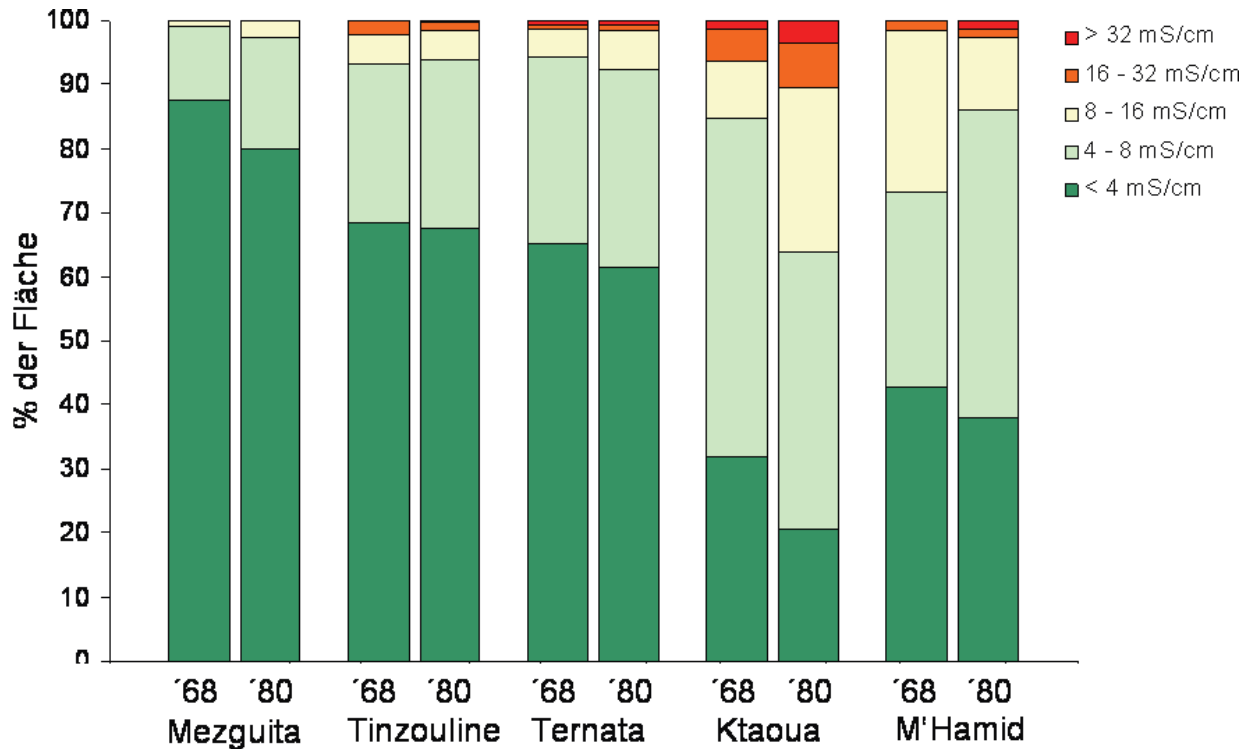
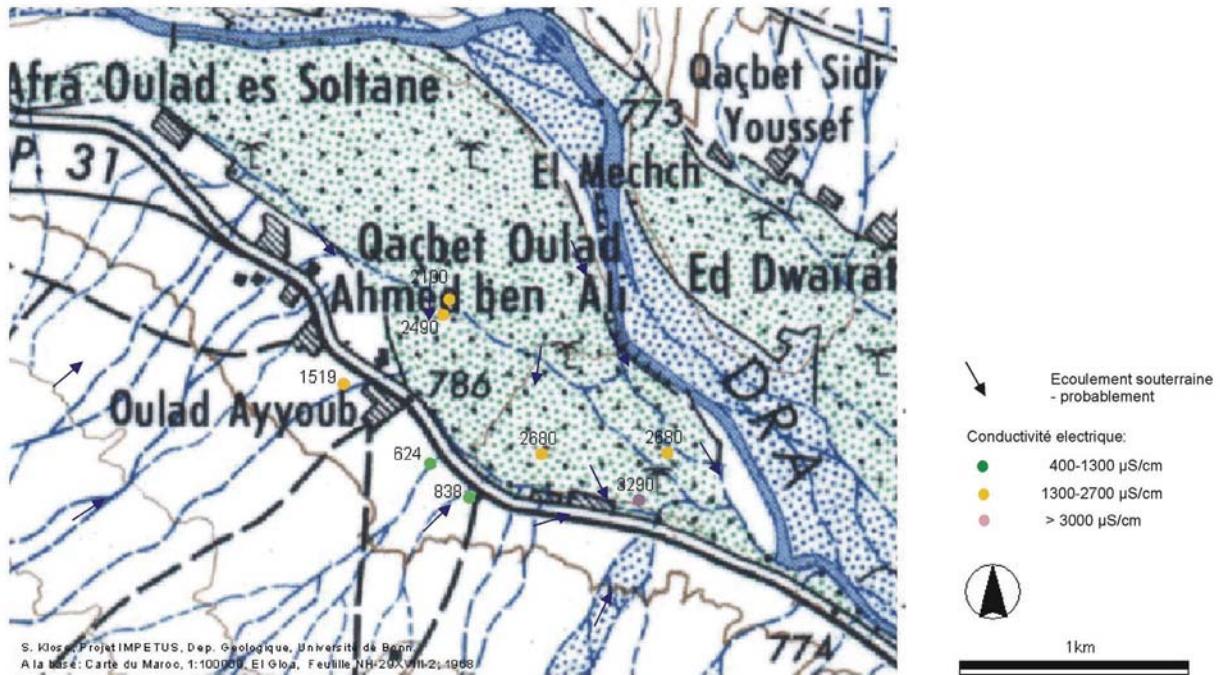


Abb. III.2.1-10: Entwicklung der Bodenversalzung in den Drâaoasen zwischen 1968 und 1980 (Datengrundlage: Boudida, 1990)

### Modul Hydrogeologie

Die Auswertung der Feldstudien 2005 sowie die anschließenden geohydrochemischen Analysen wurden in ersten thematischen Karten umgesetzt. Die bislang einmalige Grundwasserbeprobung liefert Hinweise auf die Grundwasserfließverhältnisse im Bereich von Ouled Yaoub für den Oktober 2005. Anhand der hydrochemischen Typisierung der Grundwässer nach FURTAK & LANGGUTH (1967) und den Grundwasserstandsmessungen lassen sich Belege für einen räumlich differenzierten lateralen Zufluss aus den kambrischen Sand- und Siltsteinen sammeln. Dieser laterale Zufluss ist durch geringmineralisierte, überwiegend hydrogenkarbonatische Grundwässer charakterisiert. Vergleichsweise hochmineralisierte, überwiegend sulfatische Grundwässer werden im alluvialen Aquifer unter dem Oued Drâa lokalisiert (Abb. III.2.1-11).

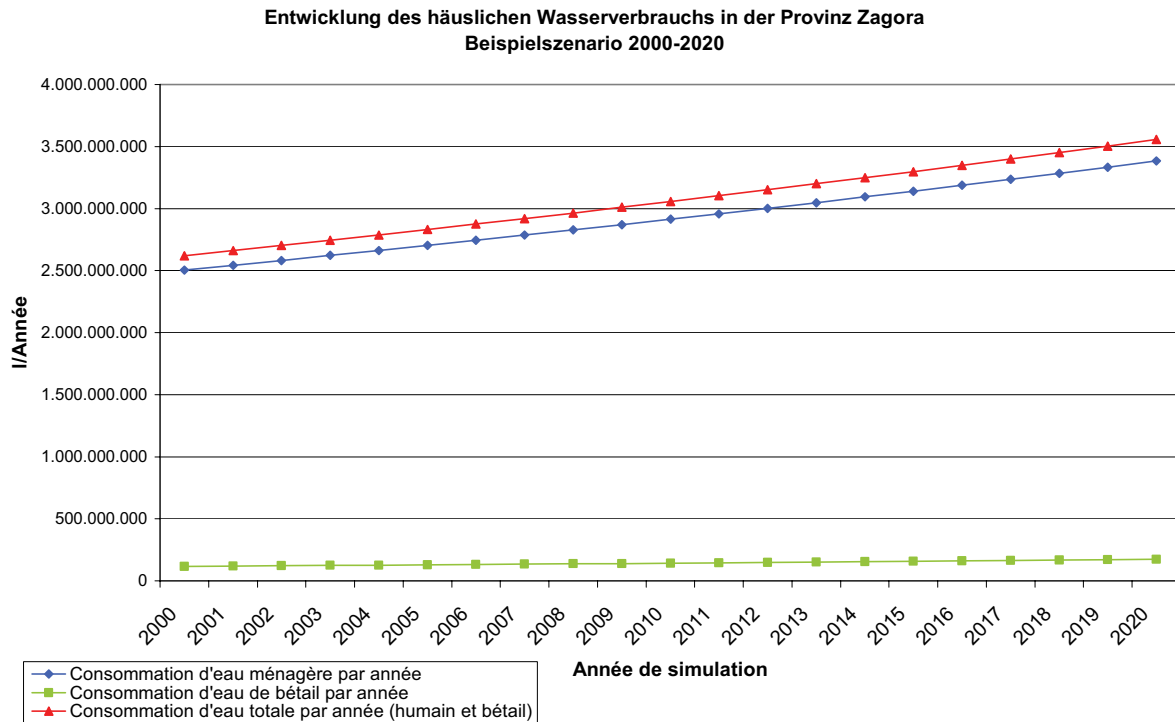


**Abb. III.2.1-11:** Elektrische Leitfähigkeiten im Grundwasser im Oktober 2005 im Bereich Ouled Yaoub.

In der Stichtagsbeprobung im Oktober 2005 zeichnet sich eine relativ schmale Mischungszone zwischen dem geringmineralisierten lateralen Zufluss und den Grundwässern im alluvialen Aquifer ab. Diese ersten Ergebnisse stützen und vertiefen die hydrogeologische Modellvorstellung für die Bilanzierung der Grundwasserressourcen (vgl. PK MA-H.2). Im Frühjahr 2007 sollen diese Erkenntnisse durch eine wiederholte Grundwasserbeprobung verifiziert werden. Zudem werden im Rahmen einer hydrogeologischen Diplom-Arbeit ab Frühjahr 2007 Daten für eine numerische Grundwasserströmungsmodellierung mit MODFLOW im Bereich Ouled Yaoub erhoben.

### *Modul häuslicher Wasserverbrauch C.E.M. Drâa*

Das analytisch-konzeptionelle Modell zum häuslichen Wasserverbrauch C.E.M. Drâa („Consumation d'eau ménagère“) wurde parametrisiert und in Visual Basic (Excel) programmiert. Es errechnet den jährlichen mittleren Wasserverbrauch pro Kopf und Tag für Mensch und Tier (Vieh im Gehöft). Zurzeit wird die Datenbasis regionalisiert, damit Berechnungen in allen 6 Oasen möglich werden. In der Folge kann dann die Entwicklung des häuslichen Wasserverbrauchs unter Berücksichtigung der verschiedenen Arten des Wasserzugangs sowie unter Berücksichtigung der Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2020 dargestellt werden (vgl. **Abb. III.2.1-12**).



**Abb. III.2.1-12:** Beispiel einer Modellrechnung des C.E.M Drâa zur Entwicklung des häuslichen Wasserverbrauchs in der Provinz Zagora (ruraler Raum) für den Zeitraum 2000-2020 mit folgenden Annahmen: Bevölkerung Provinz Zagora im Jahr 2000 (245.000 EW), jährl. Bevölkerungswachstum 1%, Veränderung des Anteils kleiner Haushalte (< 6 Pers.) von 40 auf 55%, Viehbesitz im Jahr 2000 (80.000), jährl. Wachstumsrate der Herden 2%.

### ***Entwicklung des Fachinformationssystems (ASWASOY – Agricultural strategies under water scarcity scenarios Ouled Yaoub)***

Die Entwicklung des Fachinformationssystems ASWAS begann mit der theoretischen Konzeptentwicklung mit Hilfe des IMPETUS Teilprojektes C2. Ziel dieses Informationssystems soll es sein das lokale Wissen um Feldfrucht, Dünge- und Wassergaben im Bearbeitungsschwerpunkt dem Dorf Ouled Yaoub in zukünftige Strategieberatungen mit einzubeziehen. Mit Hilfe von eigenen Felddaten, Erhebungen und der Unterstützung unserer marokkanischen Partnern werden Daten in Geografische Informationssysteme eingespeist und raumbezogen analysiert. Über enge inhaltliche Zusammenarbeit mit Ma\_H2 werden gemeinsam genutzte Daten und Modelle beispielsweise zum Wasserbedarf der Feldfrüchte iterativ analysiert und verbessert. Durch eine Verknüpfung mit einer EXCEL-Datenbank der Befragung der Landwirte über Anbau, Art der Feldfrucht, Düngegaben, Bewässerung und Erträge in der Oase Fezouata (Roth) und anderen Oasen (Heidecke) wird die IS Datenbank erweitert.

### ***Milestones***

Erste arbeitsfähige IS Version 0.1 im Sommer 2007

## **Capacity building**

Im Rahmen des geplanten Feldaufenthalts im Februar/März 2007 werden bestehende Kontakte zum Bureau de la Recherche Agricole (ORMVAO), M. Ait Bassou vertieft und eine Kooperation erörtert. Zudem soll das Interesse an einem Fachinformationssystem durch die Arbeitseinheit Production Agricole (PA), M. Hadouch innerhalb der ORMVAO durch einen Besuch intensiviert werden.

## **Literatur**

- Abu Hammad, A. & Blankespoor, B. (2003): The Wadi el-Far'a Project: An Environmental Assessment of the Wadi el-Far'a Watershed; Agricultural Land Use in Wadi el-Far'a. Final Draft. <http://www.calvin.edu/~dvr/b/>.
- Andresen, J.A.; Alagarwamy, G.; Rotz, C.A.; Ritchie, J.T., LeBaron A. (2001): Weather impacts on Maize, Soybean and Alfalfa production in the Great Lakes Region 1895-1996. In: *Agronomy Journal*. Vol 93, Sept.-Oct. 2001.1059-1070.
- Breuer, S. (in Vorb.): Einfluss der Grundwasserbeschaffenheit auf die Bodenversalzung durch Bewässerung in S-Marokko - Modellierung mit SAHYSMOD
- Bouidida, A. (1990): Salinité des eaux de la Vallée du Drâa: Situation actuelle et evolution. Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingenieur d'Etat en Agronomie. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat.
- Cárcova, J.; Maddonni, G.A.; Ghera, C.M. (2000): Long-Term Cropping effects on Maize: Evapotranspiration and grain yield. In: *Agronomic Journal*. Vol 92, Nov.-Dec. 1256-1265.
- Eitzinger, J.; Marinkovic, D.; Hösch, J. (2002): Sensitivity of different evapotranspiration calculation methods in different crop-weather models. Proc., 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, IEMSs 2002, 24-27 June 2002, Lugano, Switzerland, Vol. 2.395-400.
- Fehling, B. (2006): Kalibrierung und Validierung eines Anbausystems von Mais (*zea mays*) und Gerste (*hordeum vulgare*) in einer Hochoase im Hohen Atlas Gebirge in SE Marokko mit dem Agrar-Modell DSSAT v. 4.0 (ICASA 2004). Diplomarbeit. Universität Bonn und Universität Tübingen. Tübingen
- Furtak, H., Langguth, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. – Mem. IAH Congress, 1965; VII: 86-96, 5 Fig.; Hannover.
- ICASA 2004: DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer - v.4, Honolulu, USA
- Sepaskahbar, A. R.; Bazrafsan-Jahromi, A. R. & Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. (2006): Development and Evaluation of a Model for Yield Production of Wheat, Maize and Sugarbeet under Water and Salt Stresses. *Biosystems Engineering* 93(2): 139-152.
- Tsuji, G. Y., Hoogenboom G. & Thornton P. K. (Eds.) 1998: "Understanding options for agricultural production", Dordrecht, NL



## **PK Ma-E.3 Tourismus: Integration eines neuen Wirtschaftsbereichs bei knappen Ressourcen in den Schwerpunktregionen Ouarzazate, Dadestal und Zagora-M'Hamid**



An der Straße der Kasbas

### **Problemstellung**

Seit den 60er Jahren hat sich die Forschungsregion von IMPETUS - anfangs mit massiver Unterstützung durch den Staat – zu einer wichtigen Reiseetappe in Marokko entwickelt. Touristische Infrastruktur wurde nach internationalem Standard aufgebaut. Vor allem im Hinblick auf die zunehmenden wirtschaftlichen Schwierigkeiten in der Landwirtschaft, wird der Tourismus heute als wirtschaftlicher Hoffnungsträger der Region gesehen. Dass diese Hoffnung zu Recht besteht und vor allem lokale Akteure als Ausgleich für schwindende Einkommen in der Landwirtschaft an dieser Entwicklung partizipieren, muss jedoch für einige Regionen angezweifelt werden.

Die Tourismusteilstudie im IMPETUS-Projekt, deren Fragestellung der des hier dargestellten **PK Ma-E.3** entspricht, untersuchte in der bisherigen Form das wirtschaftliche Potential des Tourismus, vor allem in Bezug auf die bereitstehenden und zu erwartenden Arbeitsplätze sowie den gesamtwirtschaftlichen Effekt für die Region. Aus Gründen, die unten näher erläutert werden, wird die Arbeit an diesem PK in der bisherigen Form nicht weiter geführt. Mit dem Ausscheiden der Mitarbeiterin Claudia Frank Ende April 2006 kann die im Folgenden zusammenfassend dargestellte Arbeit als abgeschlossen betrachtet werden.

### **Mitarbeiter**

**Claudia Frank**



### **Zielsetzung**

Zentrales Anliegen des **PK Ma-E.3** war es, die Beziehung zwischen Wassereinsatz und wirtschaftlichem Nutzen für die Untersuchungsregion herauszuarbeiten, sowie Prognosen im Hinblick auf die mögliche Wasserverknappung zu erstellen.

Im Einzelnen wurden die Bedingungen herausgearbeitet, unter denen touristische Gewerbe wirtschaftlichen Erfolg verzeichnen. Hierzu gehören die Erhebung der Besitzverhältnisse, Beschäftigungs- und Einkommenseffekte und die Analyse der angebotenen touristischen Produkte sowie der lokalspezifischen Bedingungen.

Auch potentielle Wechselwirkungen zwischen Tourismus und Landwirtschaft wurden untersucht.

Das Potential des Tourismus als sichere Einnahmequelle muss akteursorientiert und regional differenziert betrachtet werden. Viele Kleinunternehmer äußern sich betreffend der Zukunft der Tourismuswirtschaft ausgesprochen skeptisch. Vor allem in den wasserarmen Regionen des Südens kann der Tourismus die Konkurrenz um die knappen Wasservorräte verschärfen. Durch Einsatz von Pumpen in Großhotels wird zunehmend auf die Grundwasservorräte zurückgegriffen. Allerdings muss das Verhältnis von Wassereinsatz und Gewinn im Tourismus in Relation zum landwirtschaftlichen Sektor gesehen werden.

### **Methodik**

- Erhebungen in Gestalt standardisierter Befragungen in den Bereichen Ökonomie, Arbeitsplätze und Wasserverbrauch im Tourismus sowie in der Landwirtschaft. Ergänzt werden diese Kerngrößen durch Erhebungen zu den Reiserouten (Verkehrszählungen, Reisebudget, Interviews).
- Einarbeitung von Daten der regionalen Verwaltungsebene, besonders des „Ministère du Tourisme“. Durch diese Daten können die selbst erhobenen sozialwissenschaftlichen Daten mit größeren regionalen Informationen verglichen werden.
- Kartierung der touristischen Infrastruktur mit GPS, Einspeisung der Ergebnisse in die GIS-Datenbank. Die wirtschaftlichen Potentiale und Entwicklungen im Tourismus können dann in Beziehung zu naturräumlichen und landwirtschaftlichen Prognosen gestellt werden.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Die touristische Nutzung in der Untersuchungsregion deckt sich weitgehend mit der naturräumlich definierten Dreiteilung der IMPETUS-Projektregion in die Bergregion des Hohen Atlas, das Dadès-Becken mit den Städten Ouarzazate und Boulmane und in die Drâa-Oasen, die bis in die Randzone der Sahara hinein reichen. Neben Parallelen bei den Strukturen der Tourismuswirtschaft, den touristischen Angeboten und den Entwicklungspotentialen zwischen den drei Regionen gibt es auch Strukturen und Entwicklungen, die speziell an nur eine dieser Regionen gebunden sind.

Vor allem im Hinblick auf die zunehmenden wirtschaftlichen Schwierigkeiten in der Landwirtschaft wird der Tourismus als wirtschaftlicher Hoffnungsträger der Region gesehen. Der Problemkomplex hat das wirtschaftliche Potential des Tourismus vor allem in Bezug auf die aktuellen und

zu erwartenden Arbeitsplätze sowie den gesamtwirtschaftlichen Effekt für die unterschiedlichen Teilregionen des Dadès und Drâa untersucht.

Hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit und der potentiellen ökologische Probleme der Wassernutzung gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Regionen. Außerdem führen Moden im Tourismus dazu, dass Entwicklungsdynamik und -möglichkeiten in den Regionen unterschiedlich ausgeprägt und von relativ kurzfristigen Trends geprägt sind.

Charakteristisch für den Tourismus in der IMPETUS-Forschungsregion sind:

1. Die wenigen großen Hotels, die – einmal gut eingeführt – durch ihre internationalen Geschäftsbeziehungen regelmäßig Pauschaltouristen anziehen. Hier konnte vor allem das Produkt Rundreisetourismus etabliert werden. Besuche in der Region wurden als fester Bestandteil in viele Marokkotouren integriert. Diese Sparte ist in der Hand von Großinvestoren.
2. Neue Gewerbe in anderen Geschäftsfeldern in der Nähe dieser Großhotels. Hierzu zählen Souvenirgeschäfte, Restaurants und Cafés, Reiseagenturen, Transportunternehmen und Fahrzeugvermietungen. Internationale Agenturen und marokkanische Entrepreneurs teilen sich dieses Geschäft.
3. Übernachtungsmöglichkeiten in bisher unerschlossenen Gebieten und damit verbundene Dienstleistungen im Gaststätten- und Servicebereich. Dies bildet eine Sparte des Tourismus, durch die verstärkt auch Marokkaner als Geschäftsgründer wirtschaftlich an diesem Wirtschaftszweig partizipieren.

Zum dritten Punkt zählt auch der eigenständige Tourismus in den Bergen und vor allem in der Wüste, der in letzter Zeit immer vielfältigere Formen annimmt. Im Gegensatz zum etablierten Rundreisetourismus in luxuriösen Großhotels bieten diese neuen Formen des Tourismus Kleingewerben die Chance, mit überschaubaren Investitionen interessante Einkommensmöglichkeiten aufzubauen. Mitunter gelingt hier eine Integration des touristischen Gewerbes in die bestehende familiäre Landwirtschaft. Vor allem in diesen Kleingewerben haben sich Arbeitsplätze für Menschen aus der Region entwickelt.

Die erzielten Gewinne werden großteils wieder in der Region investiert. Aus diesem Grund lag ein besonderer Schwerpunkt der Studie auf lokalen Kleingewerben. Weiterhin standen der Wasserverbrauch und die Möglichkeiten eines Ressourcen schonenden Tourismus im Blickpunkt.

### ***Touristische Nutzung der Projektteilregionen***

Die naturräumliche Dreiteilung im IMPETUS-Projekt in Bergregion Hoher Atlas, Dadès-Becken und Drâa-Oasen deckt sich mit der Einteilung in den touristischen Angeboten.

Tab. III.2-3: Verkehrszählung, eigene Erhebung Mai 2005

	Touristenfahrten ins Dadès-Tal	Touristenfahrten ins Drâa-Tal	Touristenfahrten nach Marrakesch
durchschnittliche Anzahl von Busreisenden / Tag	ca. 655	ca. 570	ca. 950
durchschnittliche Anzahl von geführten Kleingruppen / Tag	ca. 75	ca. 85	ca. 95
durchschnittliche Anzahl von Individualreisenden / Tag	ca. 280	ca. 140	ca. 300
Verhältnis Pauschalreisende zu Individualtouristen	2,6 : 1	4,7 : 1	3,5 : 1
Tagesdurchschnitt Fahrzeuge	146	110	181
Tagesdurchschnitt Touristen (Schätzung)	1010	798	1347

**Bergregion:** In der Bergregion überwiegen zahlenmäßig noch immer kleine Wandergruppen und Einzelreisende, die ein Naturerleben suchen. Eine zentrale Rolle kommt hier der Dadès-Schlucht zu. Die meisten Touristen besuchen den Atlas nur bei der Weiterfahrt nach Marrakesch, jedoch nicht als gezielten Besuchspunkt. (siehe **Tab. III.2-3**)

**DADÈS-Tal:** Ouarzazate ist im Dadès-Becken der zentrale Punkt der Tourismuswirtschaft. Als Ausgangspunkt für Ausflüge in die Wüste und das Dadès-Tal weist es eine große Zahl von Hotels mit internationalem Standard, den einzigen Flughafen der Region und eine Vielzahl von Autovermietungen, Souvenirläden, Restaurants und einige Supermärkte auf.

**Drâa-Tal:** Für den Wüstentourismus ist Zagora wichtigster Ausgangspunkt. Hier ist der Stützpunkt der meisten Reiseveranstalter für Wüstentouren. Die Region zwischen Zagora und H'Hamid erlebte den jüngsten touristischen Boom der Region. Der Wüstentourismus hat sich in unterschiedlichste Formen aufgefächert, wird jedoch zunehmend auch von Pauschalreiseanbietern vermarktet.

### *Tourismuswirtschaft in Südmarokko*

Eine sorgfältige Bestandsaufnahme der touristischen Infrastruktur in der Region bildete den Ausgangspunkt der Untersuchungen. Zentrale Punkte waren Hotels und Pensionen (Besitzverhältnisse, Vernetzungen, Arbeitsplätze, Preise und Ausstattung) und Souvenirläden (vor allem Besitzverhältnisse, Arbeitsplätze), sowie die Vernetzung der bestehenden Gewerbe mit Landwirtschaft und zwischen den touristischen Gewerben. Interviews mit Basarverkäufern, Hotelmitarbeitern, Absolventen der Hotelfachschule, Mitarbeitern der lokalen Tourismusadministration und Reiseleitern lieferten vertiefende Einblicke in Strukturen, Karrieren, wirtschaftliche Entwicklungen und Potentiale touristischer Wirtschaft.

Obwohl der Agrarsektor die dominante Wirtschaftsform in der Region bleibt, nimmt die Vielfalt der wirtschaftlichen Aktivitäten im familiären Rahmen zu: Erhebliche Teile des Lebensunterhalts

stammen von wenigen in der Arbeitsmigration lebenden Familienangehörigen. Auch bei Angestellten im Tourismussektor bildet ihr Gehalt nur selten die Haupteinnahmequelle einer Familie.

In den touristisch erschlossenen Orten des Projektgebietes wurden touristische Kleingewerbe in Form von Familienunternehmen gegründet. Auch hier existiert ein Nebeneinander unterschiedlicher Einnahmeformen. Bei kleinen Hotels und Restaurants an touristisch stark besuchten Orten und Straßen lebt die Familie zumeist hauptsächlich vom Tourismus. Souvenirverkauf und -herstellung ist dagegen nur selten die Haupteinnahmequelle einer Familie und wird i.d.R. auch nur saisonal ausgeführt.

Von den Kleinunternehmern und ihren mitarbeitenden Familienangehörigen sind nur wenige formal als im Tourismus Beschäftigte registriert. Die Zahl der „*faut guides*“, d.h. der Reiseleiter ohne Ausbildung und staatliche Registrierung ist besonders im Wüstentourismus sehr hoch und kann kaum geschätzt werden. Das gilt auch für die Menschen, die als „Agenten“ von Herstellung und Verkauf von Souvenirs leben.

Die im Tourismus erzielten Gewinne lassen sich kaum erheben. Großunternehmen geben ihre Zahlen nicht preis. Die in der Studie befragten Kleinunternehmer investieren ihre Gewinne meist direkt wieder in den Tourismus. Nicht selten findet man Hotels mit zehn bis zwanzig Zimmern, von denen sich eine erhebliche Anzahl noch im Rohbau befindet. Dadurch, dass die Unternehmer zusätzliche Einnahmen aus dem nichttouristischen Bereich verzeichnen – etwa durch die Bewirtschaftung der Familienfelder, das Betreiben eines Kiosks oder Überweisungen von Familienmitgliedern –, lässt sich der im Tourismus erwirtschaftete Teil des Einkommens nur sehr unzureichend schätzen; dies gilt auch für die Befragten selbst. Darüber hinaus sind offene Auskünfte über Geldangelegenheiten gegenüber Fremden nicht üblich.

### ***Aufbau lokaler Kleingewerbe im Tourismus***

Zwar äußern die meisten Angestellten im Tourismus den Wunsch, eines Tages ein eigenes touristisches Unternehmen aufzubauen. Befragungen von Kleinunternehmern zeigen jedoch, dass diese in der überwiegenden Zahl aus tourismusfremden Gewerben kommen. Wichtiger als Marktkenntnisse sind Startkapital und lokale Verankerung. Die wenigen Kleinunternehmer, deren Karriere mit einer formellen Ausbildung samt Berufspraxis im Tourismus begann, investieren in der Regel an strategischen Orten und bauen von Anfang an Kontakte zu nationalen und internationalen Reiseagenturen auf. Kleinunternehmer aus touristischen Boomregionen – wie derzeit dem unteren Drâa-Tal oder im Dadès-Tal – investieren in ihrer Heimat.

In Zagora sind die meisten Kleinunternehmer Anbieter von Wüstentouren und verkaufen ihre Ortskenntnisse, die von internationalen und nationalen Reiseagenturen in dieser Form nicht vorgehalten werden können. Sie bleiben daher zumeist im Status eines Subunternehmers mit geringen Expansionsmöglichkeiten.

### *Tourismus als lokaler Wirtschaftsbereich*

Im Gegensatz zu den Beschäftigungsverhältnissen in den wenigen Großhotels sind die Beschäftigungsverhältnisse in den touristischen Kleingewerben extrem heterogen. In einfachen Hotels, die zunächst als Nebeneinkommen begründet wurden, stellen Familienangehörige das Gros der Beschäftigten. Häufig entstehen solche Gebäude nur sukzessive, indem z.B. erst eine Etage ausgebaut und genutzt wird. Eine Aufwertung der fertig gestellten Objekte durch verbesserte Ausstattung erfolgt selten.

Hotels nationaler und internationaler Investoren werden dagegen von Beginn an nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten errichtet und betrieben. Die wichtigen Positionen sind durch Angestellte mit formaler Ausbildung besetzt.

Bei Hotels, die als Klein- oder Nebengewerbe entstehen, sind oftmals Gelder aus der eigenen Arbeitsmigration oder von migrierten Familienangehörigen Grundstock des touristischen Wirtschaftens. Die Investition in ein Hotel oder eine Pension korrespondiert mit der Investition von Migrationseinkommen in den Bau eines repräsentativen Hauses für die Eltern oder die im Heimatdorf lebende Familie, das je nach verfügbarem Kapital ständig erweitert oder ausgebaut wird. Auch Gebäude, die als Ruhesitz nach der Rückkehr aus Europa gebaut wurden, werden gelegentlich als Pensionen zwischengenutzt.

Die Pioniere des Tourismus in diesen Teilregionen erwirtschafteten ihr Geld also meist über die Arbeitsmigration, wodurch sie auch wichtige überregionale und teilweise auch internationale Kontakte knüpften und professionelle Wirtschaftsweisen erlernten. Der Auf- und Ausbau erfolgt nach Marktbeobachtung und daher meist nicht einzig in der Erweiterung des bereits bestehenden Gewerbes, sondern in der Diversifizierung und Vernetzung verschiedener touristischer Gewerbe oder Wirtschaftsstandorte. So besteht für Mitglieder der Großfamilie und teilweise sogar für weitere Dorfbewohner die Möglichkeit, durch Investitionen, eingeholte Aufträge oder eine Anstellung am Erfolg des Objektes zu partizipieren.

Die Wertschöpfung bei diesem nachfrageorientierten Engagement im Tourismus ist – wegen der niedrigeren Standards der Einrichtungen und des kleineren Volumens der Übernachtungen – zu meist erheblich geringer als im etablierten oder im staatlich gesteuerten Tourismus. Die Gelder verbleiben dafür aber im Wirtschaftskreis der Region.

Beispielhaft für diese Entwicklung sei ein in vielen Reiseführern genanntes Familienhotel in der Dadès-Schlucht genannt. Das Hotel existiert seit nunmehr zehn Jahren. Es wird seit Beginn kontinuierlich weitergebaut. Es hatte zunächst vier, mittlerweile achtzehn Zimmer. Das Hotel liegt an einem Aussichtspunkt auf mehrere gut erhaltene Kasbahs und imposante Felsformationen. Es wird von zwei Brüdern geführt; formal ist der Vater Hotelbesitzer. Die Gelder zur Grundinvestition stammen jedoch von drei weiteren Brüdern, die in Meknes, Casablanca und Marrakesch arbeiten. Außer den beiden geschäftsführenden Brüdern gibt es keine weiteren Mitarbeiter.

Dieses Familienhotel in einfacher Ausstattung ist ein Beispiel für ein durch Nachfrage initiiertes Investment im Tourismus. Die Familie wohnt im angrenzenden Ort und nahm die durchfahrenden und am Aussichtspunkt rastenden Touristen bereits seit längerem wahr. Die Kombination aus vorhandener Infrastruktur (asphaltierte Straße, Stromanschluss und Wasserversorgung), Nachfrage von

Touristen und Investitionsmittel führte zur Gründung eines mittlerweile erfolgreichen touristischen Gewerbes.

Im Gegensatz zu diesen durch Nachfrage initiierten Investitionen in den Tourismus gab es in ländlichen Gebieten in Südmarokko bereits seit den 60er Jahren einen staatlich gesteuerten Tourismusausbau. In der Anfangszeit des internationalen Tourismus in den 60er Jahren wurden auf der Karte Orte mit touristischem Potential festgelegt, die durch Hotelbauten an verkehrsgünstig gelegenen Orten gefördert wurden. Diese wenigen, großen und gut eingeführten Hotels wurden in den ersten Jahrzehnten ihres Bestehens staatlich geführt, in den 90er Jahren dann privatisiert. Meist wurden sie von Investoren von außerhalb der Region aufgekauft.

In den Städten kam es zu einer anderen Entwicklung. Beispielhaft hierfür steht Ouarzazate. Staatliche Entwicklungspläne in den 80er Jahren wiesen einige Städte als touristische Knotenpunkte oder Zentren aus. Es wurden Planungen, im Fall von Ouarzazate von einer deutschen Beratungs-Firma, durchgeführt und anschließend realisiert. Eine ausgewiesene Fläche der Stadt wurde der touristischen Nutzung zugeführt. Es entstanden mit staatlichen Mitteln für Infrastruktur und Erschließung etliche Luxushotels für den internationalen Rundreisetourismus. Die Planungen waren auf erhebliche Zuwächse ausgelegt, die aber nur teilweise erzielt wurden. In Ouarzazate zeugen einige Hotelrohbauroinen davon. Die großen Hotelprojekte wurden gleich in maximaler Ausdehnung realisiert und die Investitionen in einem begrenzten Zeitraum getätigt.

Deshalb profitieren vom staatlich geförderten Tourismus nur wenige Akteure direkt. Diese stammen fast ausschließlich von außerhalb der Region. Auch die Angestellten sind nur in einer unterrepräsentativen Zahl aus dem Umland, da die Hotels meist Teil großer, auch internationaler Hotelketten sind und ihre Angestellten landesweit von den etablierten Hotelfachschulen rekrutieren. Für die meisten abhängig Beschäftigten im Tourismugewerbe gilt, dass sie in der Regel Kurzzeitverträge, oft ohne schriftliche Fixierung, erhalten. Das führt zu einer weiteren Erhöhung der sowieso schon großen Mobilität der Angestellten, die häufig zwischen den Hotels hin- und her wechseln.

Selbst bei Beschäftigungen in Luxushotels mit hoher Wertschöpfung bewegen sich die Gehälter auf dem gleichen Niveau wie die von Angestellten in der Industrie oder dem Handwerk. Die hohen Gewinnspannen bei relativ niedrigen und unsicheren Arbeitsverhältnissen münden in den sehr weit verbreiteten Wunsch nach Selbstständigkeit in einem eigenen Kleingewerbe oder im Tourismus, die, wie oben erwähnt, allerdings wegen fehlender finanzieller Ausstattung oft nicht realisiert werden kann.

### ***Verteilung der wirtschaftlichen Bedeutung des Tourismus***

Von wirtschaftlicher Bedeutung ist der Tourismus in der Untersuchungsregion, d.h. dem Einzugsgebiet und Verlauf des Drâa, nur in wenigen Orten. Dies sind die strategische Orte auf Rundreiserouten (Ouarzazate + Zagora), das touristische Highlight (Ait Benhadou) und die Regionen mit besonderem Naturerlebnis (die Dadès-Schlucht oder Trecking Routen im Hohen Atlas und Jebel Saghro, sowie das untere Drâa-Tal).

Die beiden größten Städte der Region, Ouarzazate und Zagora, sind für den Tourismus wichtige Übernachtungs- und Versorgungszentren. Hier sind es daher die Hotels, Pensionen und Camping-

plätze, Restaurants, Souvenirläden, Supermärkte, Autovermietungen und Tankstellen, die vom Tourismus profitieren.

In Zagora haben sich wegen seiner Bedeutung als Ausgangspunkt von Wüstentouren zudem lokale Reiseagenturen und Biwakbetreiber sowie die Vermieter von Jeeps und von Dromedaren etabliert.

In Ait Benhadou profitieren verglichen mit den hohen Besuchszahlen relativ wenige Menschen vom Tourismus. In wachsender Zahl werfen die Travellerhotels, die Restaurants und einige der vielen Souvenirläden Gewinne ab.

In der Dadès-Schlucht sind es in erster Linie die Travellerhotels, die eine feste wirtschaftliche Basis im Tourismus haben, jedoch auf einem relativ gleich bleibenden Niveau.

Betrachtet man neben den Hotels auch andere Gewerbebereiche und Beschäftigungsmöglichkeiten im Tourismus der Region, so fällt auf, dass auch hier oft Investoren und Tourismusunternehmen aus anderen Teilen Marokkos sowie internationale Agenturen den größten Teil der touristischen Wertschöpfung erzielen. Touristische Kleingewerbe sichern den Lebensunterhalt einer Familie meist nur unverlässlich.

### ***Wasserverbrauch und nachhaltiger Tourismus***

Ein Verbrauch von ca. 600-800 l Wasser pro Person und Übernachtung in Hotels mit drei und mehr Sternen erscheint im Vergleich zum häuslichen Wasserverbrauch in Marokko erschreckend hoch. Trotz der Belastung die weitere Wassernutzer an einigen Orten für die Versorgung der Menschen bedeuten, ist der Wasserverbrauch durch den Tourismus verglichen mit dem Wasserverbrauch durch die Landwirtschaft auf die Gesamtregion hochgerechnet relativ gering. Durch die kurze Verweildauer der Touristen in der Region von ca. 2,5 Tagen und die Konzentration der Hotels auf wenige Orte liegt der touristische Wasserverbrauch in der Forschungsregion bei deutlich unter 5%. Außerhalb der zentralisierten Wasserversorgung durch den staatlichen Wasserversorger ONEP sind genaue Verbrauchszahlen allerdings kaum zu erheben. Vor allem die großen Hotels verfügen über eigene Tiefbrunnen und bei den in kleineren Orten in ländlichen Gebieten angesiedelten Hotels wird oftmals nicht zwischen touristischen und nichttouristischen Wasserverbrauchern differenziert. Prognosen für die gesamte Forschungsregion können daher nicht getroffen werden.

Ein direkter Zusammenhang zwischen Wasserverfügbarkeit und der Entstehung von touristischer Infrastruktur zeigt sich in der Region an mehreren Stellen. Es sind vor allem die beiden Punkte Erreichbarkeit und Verfügbarkeit von akzeptablem Trinkwasser, die über einen Aufschwung in der lokalen Tourismuswirtschaft entscheiden. Ait Benhadou ist solch ein Beispiel. Der Ort litt lange unter sehr salzigem Wasser. Der einzige Brunnen mit guter Wasserqualität im Ort wurde von einem Komitee streng kontrolliert. Seit der Verlegung von Wasserleitungen, die genießbares Wasser aus etwa 25 km Entfernung in den Ort bringen, boomt der Bau von Touristenunterkünften.

Die Heterogenität an Wasserverfügbarkeit und Wasserverbrauch zwischen den touristischen Kernregionen unteres Drâa-Tal, Ouarzazate und Dadès-Schluchten kann aber durchaus bedeuten, dass der zusätzliche Wasserverbrauch bestehende Krisensituationen weiter verschärft. Vor allem bei der Versorgung mit gutem Trinkwasser im Süden des Daa-Tals oder in Sonderlagen, wie dem oben



erwähnten Ait Benhadou, könnte in Zukunft eine Konkurrenz zwischen Hotel- und Privatnutzern entstehen.

### ***Ökotourismus***

Ökotourismus ist als Begriff und Konzept von internationalen Entwicklungsakteuren in Marokko eingeführt worden, ohne das für einen nachhaltigen Tourismus notwendige Wissen mit zu liefern. Bisher wird der Begriff überwiegend als Schlagwort in Diskussionen mit lokalen Entwicklungsakteuren verwendet. Die Tourismusakteure können diese Ideen und Ansätze aber aufgrund mangelnder Kenntnisse nicht umsetzen. Lediglich in einigen Nischen des Treckingtourismus, der vom Naturerlebnis ausgeht und in dem sowohl Zeit als auch Kontakt zur Bevölkerung vorhanden sind, versucht ein Projekt zur Biodiversität Bergführer speziell auszubilden, um den Touristen die biologischen Zusammenhänge und ihre Verantwortung als „Verbraucher“ bewusst zu machen. In der Realität scheinen die Schulungen kaum über den Bereich der Naturbeobachtung hinaus zu gehen. Für den wirtschaftlich weitaus bedeutenderen Bereich des Rundreisetourismus gibt es weder Ideen noch Ansätze eines naturverträglichen Tourismus in Südmarokko.

### ***Resümee/Ausblick***

Insgesamt ist das wirtschaftliche Potential im Tourismus der IMPETUS-Untersuchungsregion vergleichsweise klein und zeigt nur geringes Wachstum. Obwohl zweiter Devisenbringer des Landes, spielt der Tourismus in der Untersuchungsregion weder im Hinblick auf sein wirtschaftliches Potential noch als Arbeitgeber eine herausragende Rolle, und eine bemerkenswerte Steigerung ist derzeit nicht absehbar. Trotz des nur geringen Wachstums des Tourismus in den letzten fünf Jahren setzt die Regierung auf steile Zuwachsraten durch nationale Fördermaßnahmen. Sie verspricht sich von einer Förderung des Tourismus eine nachhaltige Entwicklung der gesamten Region des Dadès- und Drâa-Einzugsgebietes.

Vergessen werden oftmals die enormen Infrastrukturkosten, die der Staat aufbringt – wie der Bau und Unterhalt des Flughafens in Ouarzazate oder die Konstruktion und der Unterhalt der Straßen. Auch erlassene Steuerabgaben oder die Bereitstellung von staatlichem Bauland für internationale Hotelbauprojekte, wie sie auch in der Provinz Ouarzazate und Zagora üblich sind, werden oft nicht als Kostenpunkt betrachtet. Die momentanen Entwicklungen im unteren Drâa-Tal sind hierfür exemplarisch. Man versucht Investoren anzuziehen und sichert die notwendigen Infrastrukturmaßnahmen von staatlichen Stellen zu. Die geförderten Projekte gehören in der Regel nationalen oder internationalen Investoren. Unternehmer aus der Region erhalten für ihre bescheidenen Vorhaben zumeist keine Sonderkonditionen.

Die Einseitigkeit im Aufbau der Wirtschaft wird von Vertretern der Tourismusverwaltung und der Politik unkritisch gesehen. Große Hotels gehören in der Regel zu einer Kette oder einem Hotelverbund. Bleiben Touristen an einer Stelle aus, gleichen sich die Gewinne im Schnitt meist wieder aus. Ihr unternehmerisches Risiko bleibt daher überschaubar.

Viele lokale Kleinunternehmer äußern, auf die Zukunft der Tourismuswirtschaft angesprochen, Skepsis und Angst. Die Auswirkungen ausbleibender Touristen zeigen sich bei ihnen immer unmittelbar und werden als Existenz bedrohend erlebt, wie in den letzten Jahren etwa nach einem Anschlag in Casablanca oder dem Anschlag auf das World Trade Center. Manchmal erlebt eine ganze Volkswirtschaft durch einen Wandel der Reisetrends, politische Krisen etc. einen Einbruch, von dem sie sich erst nach Jahren wieder erholt. Prognosen für die Zukunft des internationalen Tourismus wagen nur wenige Wissenschaftler. Vor allem seit den Anschlägen vom 11. September 2001 werden die Angst vor Anschlägen auf Touristen und die politische Instabilität als Hauptgründe für die zögerlichen Prognosen genannt. Gerade der arabische Raum und der Maghreb gelten dabei als besonders sensibel. Eine Abschätzung der Entwicklung ist aus heutiger Sicht aufgrund der Datenlage und der Unvorhersagbarkeit von terroristischen Anschlägen, touristischen Modetrends und den Investitionsstrategien internationaler Konzerne für das Projektgebiet nicht möglich.

Selbst auf dem Status Quo basierende Prognosen über die Entwicklung des Tourismus im IMPETUS-Projektgebiet sind durch die enorme Heterogenität der Region und der touristischen Aktivitäten kaum durchführbar. Die Heterogenität bezieht sich hierbei einerseits auf die touristischen Gewerbe selbst mit ihrer Ausrichtung, ihren Strukturen und ihrer ungleichen Verteilung in der Region, und andererseits auf die parallel existierenden Ebenen innerhalb der Tourismuswirtschaft, die von international operierenden Konzernen bis hinunter zu den Landwirten reichen, die gelegentlich ein Zimmer an einen Wanderer vermieten.

Dies hat zur Folge, dass die im IMPETUS-Projekt von der Tourismusteilstudie gewünschten generalisierenden Aussagen über das wirtschaftliche Potential des Tourismus nicht realisiert werden können und Prognosen oder auch nur Schätzungen zu den Chancen der Region durch den Ausbau im Tourismus daher kaum möglich sind.

Ein weiteres Handicap ist, dass das ethnologische Tourismusteilprojekt erst seit der zweiten Forschungsphase besteht. Man versprach sich von seiner Etablierung vor allem für die Region des Dàdès-Beckens wichtige Hinweise zur Wirtschaftskraft. Die Erkenntnisse aus der zweiten Forschungsphase sollten dann in der dritten Phase durch Prognosen und Schulungsmaßnahmen an lokale Akteure weitergegeben werden.

Nach anfänglichen optimistischen Einschätzungen zeigten sich jedoch immer mehr die Schwierigkeiten, mit einem sozialwissenschaftlichen Ansatz weit reichende Prognosen zu treffen, so dass dieser Auftrag des Forschungsprojekts für die dritte Phase im Bereich der Tourismusforschung nicht realisierbar scheint. Aus der Forschung ergaben sich keinerlei Projekte oder Erkenntnisse, die für marokkanische Organisationen und Institutionen methodisch oder thematisch nutzbar gemacht werden könnten, und auch keine lokalen Institutionen, an deren Engagement Schulungen hätten angebunden werden können.

Eine Entwicklung hin zum nachhaltigen Tourismus kann nur gelingen, wenn politische, privatwirtschaftliche Akteure, Nichtregierungs- und Selbsthilfeorganisationen und Touristen gemeinsam angesprochen und aktiv werden. Nur dann ist es möglich, Rahmenbedingungen zu schaffen, die der Realität von Hotels und Reiseveranstaltern entsprechen, diese aber auch auf den Ressourcen schonenden Tourismus zu verpflichten.

Auch wenn die wirtschaftlichen Entwicklungen im Tourismusgeschäft den staatlichen Erwartungen nicht immer entsprechen, haben sie, vor allem im Einzugsgebiet der Mittelstädte und im Süden des Drâa-Tals, spürbare Auswirkungen auf Migrationsströme und auf Prozesse der Verstädterung. Diese Prozesse können in Zukunft eine verstärkte Eigendynamik entwickeln, indem sich vermehrt Migranten im formellen und informellen Sektor in den wachsenden Zentren engagieren und so Impulse für eine wirtschaftliche Entwicklung geben, die über die bloßen Einnahmen aus dem Tourismusgeschäft hinaus gehen. Die Untersuchung dieser Thematik im direkten Zusammenhang mit den Studien zur Bevölkerungsentwicklung im Drâa-Einzugsgebiet ist deshalb geboten.

### III.2.2 Hydrologie

Im Themenbereich „Wasserdargebot, Wasserverbrauch, Wasserqualität“ sind alle Problemkomplexe zusammengefasst, bei denen das Wasser im Mittelpunkt des Interesses steht. Darüber hinaus ist das Thema Wasser jedoch für eine Vielzahl weiterer Problemkomplexe wichtig.

Der Themenbereich umfasst fünf Problemkomplexe. Im **PK Ma-H.1** werden die Wasserressourcen für das gesamte betrachtete Einzugsgebiet des Drâa in der Größe von ca. 30.000 km<sup>2</sup> berechnet. Der Fokus in der vergangenen Zeit lag auf dem Hohen Atlas, da er die wesentliche Quelle für die Zuflüsse zum Stausee darstellt. Durch die Arbeiten zur Hydrogeologie, zur Bodenverbreitung und zur Schneeschmelze (**PK Ma-H.3**) konnte die Parametrisierung des Modellsystems vorangetrieben werden. Das Konzept für das SDSS HYDRAA liegt vor und wird in den nächsten Monaten in einer Prototyp-Version realisiert.

Während der **PK Ma-H.1** sich auf die regionale Skala konzentriert, werden im **PK Ma-H.2** die Prozesse auf der Skala der Oasen untersucht. Die Arbeiten zum häuslichen Wasserverbrauch, zur Grundwasserbilanzierung in Oasen, der Versalzung von Böden sowie des Pflanzenwasserbedarfs werden in dem SDSS IWECS zusammengefasst. Mit dem in einer vorläufigen Version vorliegenden System kann die Auswirkung des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen und Bodenqualität der Drâa-Oasen quantifiziert werden. Derzeitige Arbeiten umfassen die Validierung der Modellergebnisse, die Weiterentwicklung des SDSS und die Schulung der Projektpartner in Marokko.

Eine wesentliche Quelle des zur Bewässerung eingesetzten Wassers ist der Schnee des Hohen Atlas. Für eine längerfristige Planung der zukünftig zur Bewässerung zur Verfügung stehenden Wasserressourcen ist somit eine Quantifikation der im Schnee gespeicherten Wassermenge notwendig, was im **PK Ma-H.3** bearbeitet wird. Im Berichtszeitraum sind die Untersuchungen zur Schneehydrologie und deren Modellierung im Einzugsgebiets Ifre abgeschlossen und es wurde mit der Regionalisierung begonnen. Für das Monitoringtool PRO-RES wurden die Vorarbeiten abgeschlossen, so dass mit der Entwicklung und Programmierung begonnen werden kann. Die Feldarbeiten werden weitergeführt, um die langjährigen Zeitreihen nicht zu unterbrechen.

Im **PK Ma-H.4** wird versucht, eine Wahrscheinlichkeitsaussage zur Vorhersage des Staudammfüllstandes auf verschiedenen Zeitskalen mittels statistisch-dynamischer Modellierung zu realisieren. Die Analyse der Niederschläge der vergangenen Jahrzehnte hat gezeigt, dass sowohl eine gewisse Erhaltungsneigung des saisonalen Niederschlags als auch eine Korrelation mit der Oberflächentemperatur des Nordatlantiks existiert. Dieser Zusammenhang soll genutzt werden, eine saisonale Vorhersage der Niederschläge zu ermöglichen. Dieses ist wichtig für die mittelfristige Planung des Managements der Wasserressourcen im Staudamm. Zusätzlich wird dabei die Temperatur betrachtet, die für die Schneeschmelze von hoher Bedeutung ist. Dieses Werkzeug ist für die hydrologische Modellierung von großer Bedeutung, da die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens von Niederschlag bzw. Temperatur mit den hydrologischen Modellen in Wahrscheinlichkeiten des Abflusses (aus Schneeschmelze oder Niederschlag) transformiert werden kann.

Der **PK Ma-H.5** untersucht die Auswirkung des Klimawandels und der veränderten Wassernutzung auf den Niederschlag und die Verdunstung. Da für klimatologische Zeiträume ( $\geq 30$  Jahre) mit gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung ( $\leq 3$ km) sind Niederschlag und Verdunstung weder aus

Messungen noch aus Simulationen für die Region verfügbar sind, werden mit dem Modellsystem FOOT3dK nach dem Verfahren der statistisch-dynamischen Regionalisierung die Wetterlagen analysiert und repräsentative Vertreter simuliert. Mit diesen Repräsentanten werden nachfolgend Klimatologien berechnet. Die Ergebnisse werden in ein SDSS integriert und stehen den Anwendern zur Verfügung.

## **PK Ma-H.1 Natürliche und anthropogene Einflüsse auf die Dynamik von Wasserressourcen im Drâa-Einzugsgebiet**



### **Problemstellung**

Der Wasserkreislauf semi-arider Wüstenrandgebiete ist in hohem Maße von variablen Niederschlägen abhängig. Neben den klimatischen Rahmenbedingungen ist die Entwicklung der Wasserressourcen auch von der Wirtschaftsweise des Menschen und seinem Bedarf an Wasser gesteuert. Die natürliche Ungunstlage des Drâa-Tals und die hohe wirtschaftliche Abhängigkeit vom Wasser, sowohl in der Landwirtschaft als auch im Tourismussektor, erfordern einen nachhaltigen Umgang mit der knappen Ressource. Ein nachhaltiges Managementkonzept muss jedoch nicht nur den aktuellen Zustand des Systems kennen, sondern auch künftige Entwicklungen, natürlich wie anthropogen, in ihren Auswirkungen abschätzen können. Daher ist es wichtig, die raum-zeitliche Variabilität der Wasserflüsse zu erfassen und Simulationsmodelle zu entwickeln, die die Auswirkung des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen quantifizieren können.

### **Mitarbeiter**

**Henning Busche**, Kai Born, Pierre Fritzsche, Stephan Klose, Andreas Roth, Oliver Schulz, Anna Zeyen

### **Zielsetzung**

Das Ziel dieses Problemkomplexes ist eine quantitative Bewertung der verfügbaren Wasserressourcen für das gesamte Drâa-Einzugsgebiet. Ausgehend von einer Erfassung und Modellierung des Ist-Zustandes, werden die verschiedenen IMPETUS-Szenarien sowie Interventionsszenarien gerechnet. Auf der vorliegenden Datenbasis (DRH, ORMVAO, eigene Arbeiten) werden mit einem konzepti-

onellen Modellansatz quantitative Änderungen in den einzelnen Subsystemen (Schneespeicher, Bewässerung, Grundwasser, Stausee) abgeschätzt. Das niederschlagsgesteuerte, relativ naturnahe hydrologische System des oberen Drâatals endet am Stausee Mansour Eddahbi, der für das Wassermanagement der Oasen des mittleren Drâatals von großer Bedeutung ist. Das anthropogen überprägte hydrologische System südlich des Stausees hingegen ist vorrangig vom Lâcher-Management und der Bewässerung in den Oasen geprägt. Die hydrologische Szenarienmodellierung, das Kernstück der Arbeit im PK Ma-H.1, berücksichtigt daher geänderte naturräumliche Bedingungen, um das künftige Wasserdargebot zu bestimmen, aber auch sozioökonomische Szenarien um die Wassernachfrage und Bewässerungspraxis zu berücksichtigen. Das Produkt dieses PKs stellt das SDSS HYDRAA (Model hydrologique sur la durabilité des ressources en eau aujourd'hui et dans l'avenir) dar, das die Auswirkungen der IMPETUS-Szenarien, der Interventionsszenarien und benutzerbestimmter Einflüsse auf die Ressource Wasser quantifizieren kann.

### **Modellierung**

Wie in **Abb. III.2.2-1** dargestellt, steht die Anpassung und Anwendung der hydrologischen Modelle im Mittelpunkt der PK-Arbeit. Das zentrale Modellsystem SWAT (Soil Water Assessment Tool) ist räumlich differenziert und kann die im Untersuchungsgebiet relevanten hydrologischen Prozesse auf täglicher Basis darstellen. Die Verwendung eines einzelnen Modells vereinfacht Handhabung und Wartung des resultierenden SDSS HYDRAA. Disziplinäre Teilmodelle werden lediglich verwendet, um die Parametrisierung des Modells effektiver vorzunehmen und die Modellgüte über Modell-Modell-Vergleiche zu bestimmen. Der Schneespeicher des Hohen Atlas stellt die bedeutendste Quelle für die Zuflüsse zum Mansour Eddahbi dar. Daher werden die schneehydrologischen Parameter in SWAT in enger Anlehnung an das UEB (Utah Energy Balance Model) bestimmt, mit dem die Dynamik des Schneespeichers bereits zufrieden stellend wiedergegeben werden kann. Ferner werden grundwasserhydrologische und geologieabhängige Parameter unter Zuhilfenahme des Grundwassermodells MODFLOW und geologischer Karten bestimmt. Die Parametrisierung der Bewässerungspolitik und Bewässerungspraxis hingegen fußt auf dem Dialog mit den marokkanischen Kooperationspartnern auf lokaler, regionaler und staatlicher Ebene.



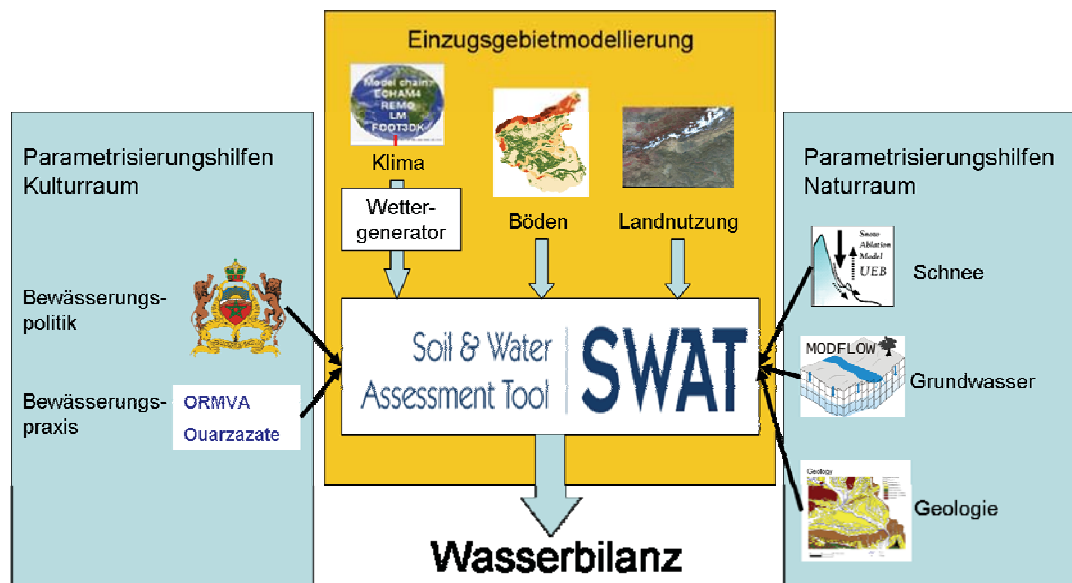


Abb. III.2.2-1: Modellierungsansatz zur Analyse der Dynamik der Wasserressourcen

### SDSS HYDRAA

Das im PK Ma-H.1 entwickelte SDSS HYDRAA (Model hydrologique sur la durabilité des ressources en eau aujourd'hui et dans l'avenir) soll die natürlichen und anthropogenen Einflüsse auf das Wasserdargebot im Drâa-Einzugsgebiet quantifizieren. Das Schema des SDSS (Abb. III.2.2-2) verdeutlicht den dabei verwendeten zweigleisigen Ansatz. Ein mit dem Modell SWAT vertrauter Nutzer kann die Gestaltung von Szenarien direkt in den Modelldateien vornehmen und die Modellierung mit den veränderten Inputdaten durchführen. Die Wahl der Szenarien kann jedoch auch über eine grafische Benutzeroberfläche erfolgen. Hier besteht die Möglichkeit auf vorgefertigte Szenarien zurückzugreifen, oder für die Anpassung freigeschaltete Parameter über Schieberegler zu verändern. Im letztgenannten Fall ist ein tief greifendes, technisches Modellverständnis nicht erforderlich. Ein grundsätzliches Modellverständnis hingegen ist bei beiden Nutzungsvarianten unabdingbar, allein um die Aussagekraft der Ergebnisse abschätzen zu können. Daher sind die im PK Ma-H.1 vorgesehenen Capacity-Building-Maßnahmen auf eben dieses grundlegende Verständnis ausgerichtet (siehe **Capacity Building**).

Zu den in HYDRAA vorgesehenen Szenarien zählen die IMPETUS-Klimaszenarien X, Y und Z, die frei kombinierbar mit den sozioökonomischen Szenarien verwendet werden können. Für eine bedarfsgerechte Implementierung von Interventionsszenarien ist der Dialog mit den örtlichen Planungsbehörden intensiviert worden. Diese Planungsbehörden sind auch die vorgesehenen Adressaten des SDSS:

Direction Générale Hydraulique (Rabat), Agence de Basin Sous Massa (Agadir), Organisation Régional de Mise en Valeur Agricole (Ouarzazate), Service Eau (Ouarzazate)

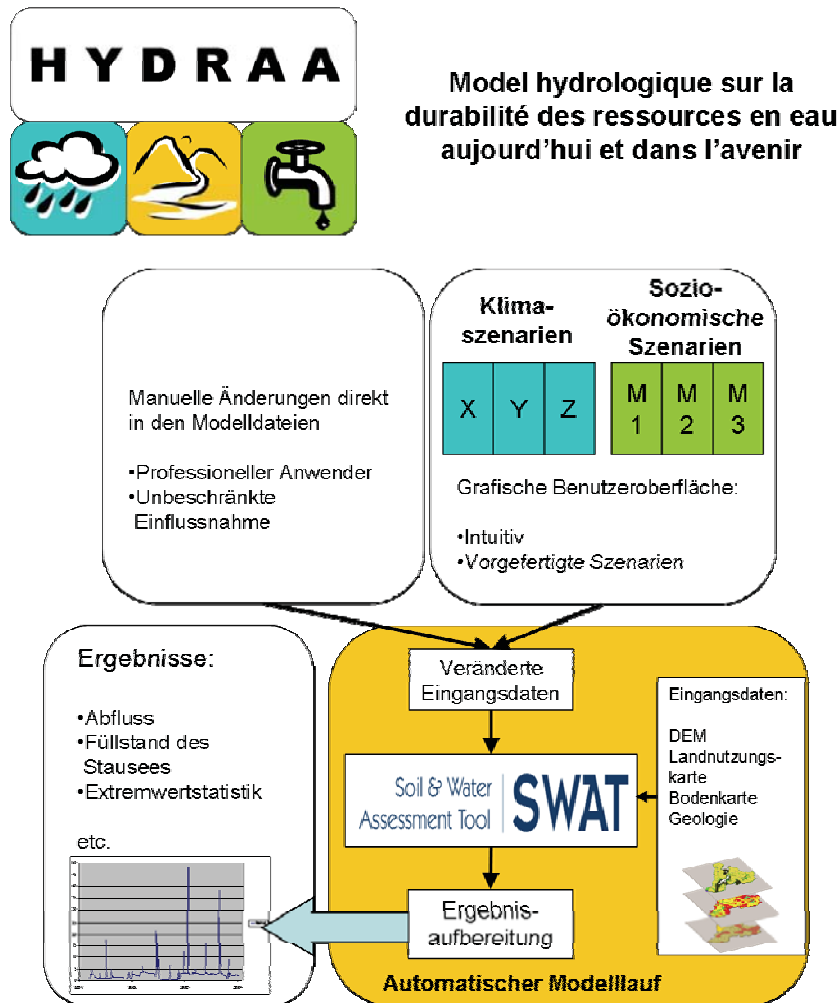


Abb. III.2.2-2: Struktur des SDSS HYDRAA

### Capacity Building

Die vom PK Ma-H.1 durchgeführten Capacity-Building-Maßnahmen sollen die Übergabe des SDSS HYDRAA an die marokkanischen Kooperationspartner vorbereiten. Entsprechend der SDSS-Struktur werden dabei zwei Ausbildungspfade verfolgt. Zum einen werden die Kooperationspartner in Hinblick auf Pflege und Anwendung von HYDRAA geschult. Die Teilnehmer sollen die grundlegende Modellstruktur verstehen, die Aussagekraft der Ergebnisse bewerten können sowie die zugrunde liegenden Datensätze aktualisieren und in das Modell einpflegen können. Zu diesem Zweck ist für März 2007 ein Workshop zu den benötigten, grundlegenden Computerfähigkeiten im Bereich der Tabellenkalkulation und der Geographischen Informationssysteme anberaumt worden. Darauf aufbauend wird im Herbst 2007 ein Workshop zu dem Modell SWAT stattfinden, in dessen Rahmen die genannten Fähigkeiten für den Umgang mit SWAT und HYDRAA vermittelt werden. Parallel zu diesem Ausbildungspfad sind Kontakte zu den Universitäten Marrakech und Oujda aufgebaut worden, in deren Rahmen die Betreuung eines marokkanischen Doktoranden vorgesehen ist.

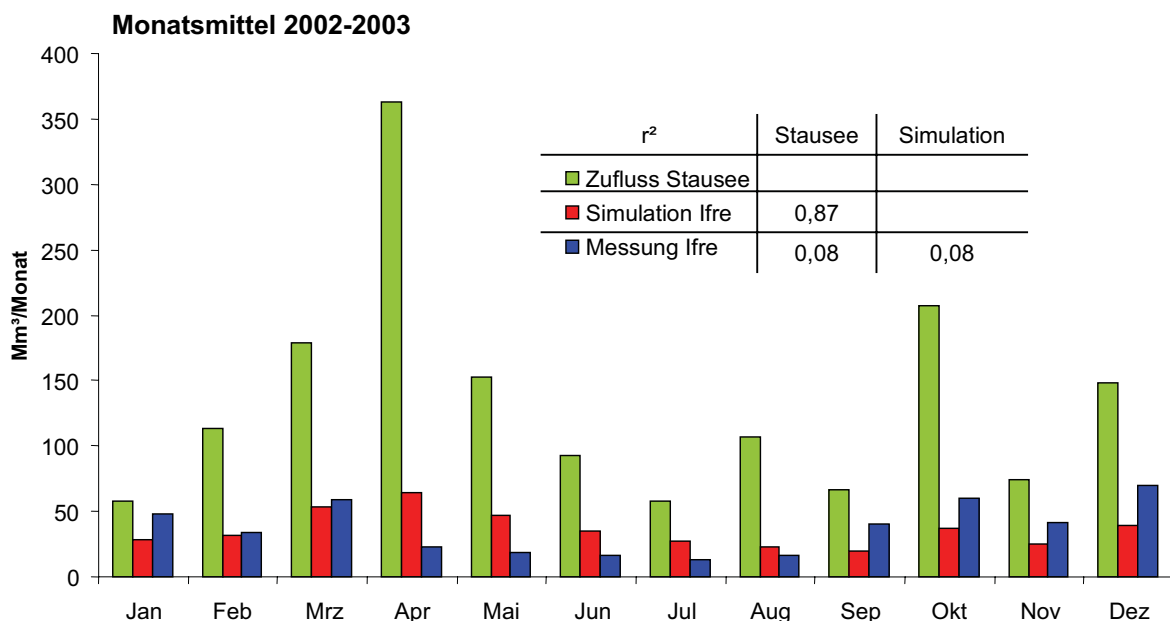
Als Thema der Doktorarbeit kommt eine SWAT-Modellierung in einem weiteren marokkanischen Einzugsgebiet in Betracht, was die Schaffung tiefer gehender Modellkompetenz in Marokko ermöglichen würde und die Nutzung der HYDRAA-SDSS Oberfläche in einem weiteren Einzugsgebiet nach sich ziehen könnte.

## Stand der bisherigen Arbeiten

### *Hydrologische Modellierung mit SWAT*

Die hydrologische Modellierung innerhalb des **PK Ma-H.1** erfolgt dreischrittig. In einer ersten Modellierungsphase werden die hydrologischen Prozesse innerhalb der Einzugsgebiete des Assif Ait-Achmed und des Oued M’Goun oberhalb des Pegels Ifre nachvollzogen. Hier verfügt das IMPETUS-Messnetz über mehrere Klimastationen und Pegel, zudem haben Vorarbeiten zur **Hydrogeologie** und **Schneehydrologie** stattgefunden. Das auf dieser Skala erlangte Prozessverständnis wird im zweiten Schritt auf das gesamte Drâa-Einzugsgebiet oberhalb des Stausees übertragen. Modell und Ergebnisse dieses zweiten Schrittes bilden die Grundlage für das SDSS HYDRAA, das vorrangig die Wasserverfügbarkeit im Stausee prognostizieren soll. Den abschließenden Schritt in der Modellierung bildet die Simulation der hydrologischen Prozesse am mittleren Drâa.

Da die Qualität der Pegeldata im Ifre-Einzugsgebiet eine direkte Validierung des Modells nicht zulassen, wird über Sekundärdaten validiert. Die ganzjährig wasserführenden Oueds Dades und M’Goun stellen die Hauptzuflüsse des Mansour Eddahbi dar. Da die Erfassung der Zuflüsse des Stausees über den Füllstand weniger Unsicherheiten unterworfen ist als die Pegelmessung am Flusslauf (Flußbettverlagerung, Pegelversandung etc.), bestätigt die hohe Korrelation des simulierten Abflusses und des Stauseezuflusses (**Abb. III.2.2-3**) die Anwendbarkeit des Modells.



**Abb. III.2.2-3:** Mittlerer monatlicher Abfluss der Jahre 2002-2003 am Pegel Ifre (1240 km<sup>2</sup>) gemessen und simuliert, verglichen mit den mittleren monatlichen Zuflüssen am Stausee

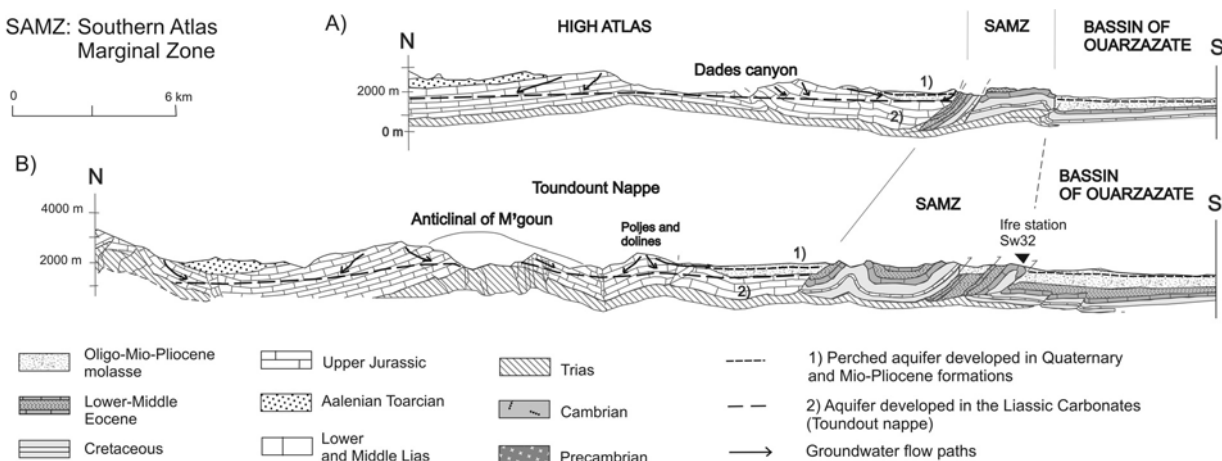
Ferner ist die Wasserbilanz, wie sie ausgehend von hydrochemischen Untersuchungen für das Ifre-Einzugsgebiet im Jahr 2003 bestimmt worden ist (siehe **Hydrogeologie**), von SWAT zufrieden stellend wiedergegeben worden. Daher ist die Abbildung der relevanten hydrologischen Prozesse in SWAT gewährleistet.

Gegenwärtig werden Klimasimulationen zur Verwendung in SWAT aufbereitet (**Meteorologie**), die, da auf Berechnungen mit einem „künstlichen Ozean“ basieren, die tatsächliche Abflussdynamik nicht wiedergeben können. Dennoch wird dieses Vorgehen eine Validierung in Bezug auf die statistische Kenngrößen des Abflusses (z.B. Dauerlinien) und die Wasserbilanz ermöglichen.

Eine erhebliche Bedeutung für die Grundwasserneubildung aber auch für die direkte Bewässerung hat die Versickerung von Wasser in den Oueds. Im Becken von Ouarzazate wurde zwischen den Pegeln Ait-Mouted, Ifre und Tinouar aus Abfluss-, Bewässerungs- und Evaporationsdaten eine mittlere jährliche Versickerung von 56 Mio. m<sup>3</sup> (1973-1994) ermittelt, dies entspricht einer mittleren Versickerungsrate von 3mm/h. Eine parallel durchgeführte MODFLOW-Modellierung ergab eine mittlere Versickerung von 48 Mio. m<sup>3</sup>. Auf Grundlage dieser Daten werden nun konzeptionelle Routing-Modelle getestet, die u.a. im **PK Ma-H.3** benötigt werden.

### Hydrogeologie

Ein konzeptionelles hydrogeologisches Model wurde für das Aquifersystem im südlichen zentralen Hohen Atlas einschließlich der südlichen Atlas-Randzone (SAMZ) entwickelt (**Abb. III.2.2-5**). Rund 50 % des Ifre-Einzugsgebiets wird von Serien des unteren Lias bedeckt, die aus Karbonaten bestehen und den Hauptaquifer bilden. Die liegenden triassischen Siltsteine und Mergel fungieren als Aquitarde. Grundwässer der triassischen Schichten zeichnen sich durch erhöhte Mineralisationsgehalte aus, die auf das Vorkommen von Evaporiten zurückzuführen sind. Diese erhöhte Mineralisation könnte einer der Ursachen für die beobachtete Entdolomitisierung im Assif Ait-Ahmed-Einzugsgebiet sein. Hangend des liassischen Karstaquifers lagern neogene Formationen, die den obersten Aquifer ausmachen und in direkter Wechselwirkung mit den Oueds stehen. Daher stellen relativ hoch mineralisierte Wässer aus den Oueds die maßgebliche Grundwasserneubildung des oberen Aquifers dar. Zusätzlich wird dieser Aquifer durch relativ gering mineralisierte Karbonatwässer aus dem Liasaquifer gespeist. Der Grundwasserabfluss des neogenen Aquifers erfolgt über die Oueds in das Becken von Ouarzazate. Für die tieferen Aquifere stellt die SAMZ generell eine hydraulische Barriere dar (**Abb. III.2.2-4**).



**Abb. III.2.2-4:** Konzeptionelles hydrogeologisches Model des Aquifersystems im südlichen zentralen Hohen Atlas (Geologische Profile aus: JOSSEN & FILALI, 1988).

Gegenwärtig werden die in der geologischen Karte (Maßstab 1:500.000) ausgewiesenen Einheiten mit den von SWAT benötigten Grundwasserparametern attribuiert. Die Erfassung grundwasserrelevanter hydrogeologischer Kenngrößen wird mit der nun auch digital vorliegenden geologischen Karte 1:200.000 noch deutlich verbessert werden. So lassen sich nun Störungslinien als präferentielle Fließwege der Tiefenperkolation erfassen.

Für die Abschätzung der Grundwasserneubildung im Ifre-Einzugsgebiet wurde auf die Berechnung der Evapotranspiration nach der Jensen-Haise-Methode (Jensen et al., 1990) und mit den Klimadaten der IMPETUS-Station in Trab-Labied zurückgegriffen. Bei dem berechneten Evapotranspirationsanteil von 75 % des Gesamtniederschlags, ergibt sich ein Grundwasserneubildungsanteil von 11% (Abb. III.2.2-5).

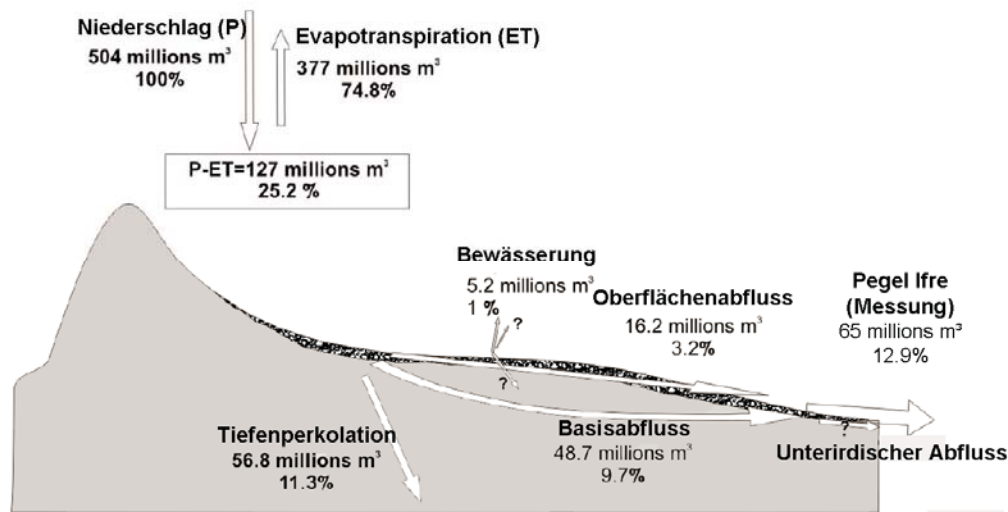


Abb. III.2.2-5: Wasserbilanz des Einzugsgebietes Ifre (1240 km<sup>2</sup>) verändert nach Cappy (2006)

### Meteorologie

Langfristige Simulationen sind mit den in IMPETUS erhobenen Klimadaten nicht möglich, da die vorliegende Zeitreihe der Klimamessungen zu kurz ist und die Daten der marokkanischen Stationen nicht ausreichen, um einen flächendeckenden Niederschlag zu generieren. Daher wurden die langfristigen REMO-Klimasimulationen als Klimadatensätze für das Ifre-Einzugsgebiet aufbereitet. Bislang wurde dafür ein Interpolationswerkzeug (*Statistical Interpolation of Climate Data in the Drâa Region*, SIClim-DRAA) verwendet, das unter Berücksichtigung der vertikalen Temperaturschichtung, der Elevation und Hangneigung aus grob auflösenden Daten von Temperatur, Feuchte und Niederschlag feiner aufgelöste Felder berechnet. Ein Wettergenerator (*Statistical Model for the Generation of Climate Data for Hydrological Applications in the Drâa Region*, SMGHydraa) ermöglicht nun ein Downscaling, das auch Wetterlagen und statistische Charakteristika der Messungen an den Stationsdaten berücksichtigt. Aus bekannten empirischen Verteilungen für die Anomalien vom mittleren Jahresgang, entweder aus Modell- oder Beobachtungsdaten, werden mit Hilfe eines Kernel-Schätzers die Parameter passender theoretischer Verteilungen berechnet, welche die Daten ausreichend gut wiedergeben (Abb. III.2.2-6).

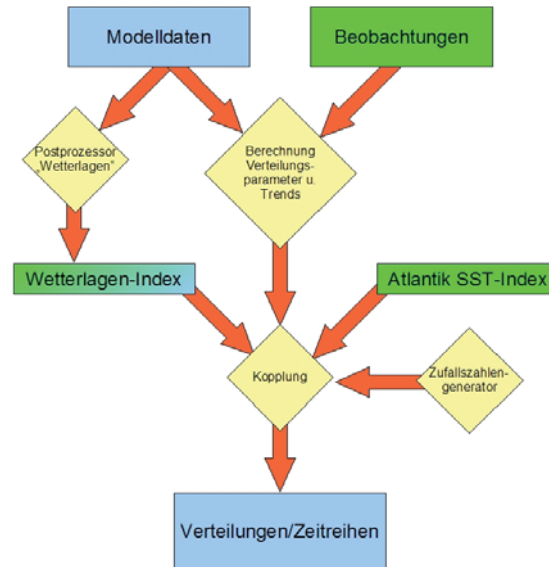


Abb. III.2.2-6: Schema des Wettergenerators SMGHydraa

Unter Berücksichtigung der Lage und der orographischen Eigenschaften der Umgebung werden die Parameter für die Fläche dargestellt. Anschließend werden aus den Klimasimulationen die langjährigen Trends – entweder als lineare Trends oder als Polynom-Fit – ebenfalls in der Fläche verteilt, dargestellt. Das statistische Modell besteht im Kern aus einem Zufallsgenerator, dessen Ausgabe auf die passenden Verteilungen transformiert wird, um so unter Kenntnis der Verteilungs-Parameter entsprechende künstliche Zeitreihen zu erzeugen. Diese Methode erlaubt, Eingangsdaten mit einem realistischen Unsicherheitsbereich im Ensemble-Mode ohne aufwendige zusätzliche Anwendung von Klimamodellen zu erzeugen. Mittelfristig ist vorgesehen, den simulierten Niederschlag per Regression an die Temperaturanomalie und an den Index der Atlantik-SST des Spätsommers im Vorjahr zu koppeln. Durch diese Kopplungen wird den Umständen Rechnung getragen, dass Regen oft mit Frontdurchgängen oder Advektion maritimer Luftmassen zusammenhängt (Knippertz, 2003), und dass die Kopplung mit der SST des Atlantiks den Vorhersage-Skill auf saisonaler Zeitskala erhöht (Hertig und Jacobeit, 2006).

### *Schneehydrologie*

Eine Sensitivitätsanalyse des unkalibrierten SWAT-Modells mit 28 variablen Parametern hat die große Bedeutung des Schneespeichers für den Wasserkreislauf im Ifre-Einzugsgebiet bestätigt. Die fünf betrachteten schneehydrologischen Parameter wiesen alle eine überdurchschnittlich hohe Sensitivität auf. Im Einzugsgebiet Ifre wurden Simulationen mit dem konzeptionellen SRM (**S**nowmelt **R**unoff **M**odel) und dem physikalisch basierten UEB (**U**tah **E**nergy **B**alance **M**odel) durchgeführt, beide bilden die beobachteten schneehydrologischen Prozesse zufrieden stellend ab (Schulz 2006, Schulz & de Jong 2004). Auf Grundlage dieser Simulationen wurden für die Simulation in SWAT der Isolationsbeiwert der Schneedecke, minimaler und maximaler Grad-Tag-Faktor der Schneeschmelze sowie die Grenztemperaturen des Schneefalls und der Schneeschmelze bestimmt. Gegenwärtig werden Schneehöhe/ Schneebedeckungs-Relationen für das Einzugsgebiet Ifre auf Basis von

MODIS-Satelliten-Daten erstellt. Diese Relationen werden für die Modellierung in SWAT und SRM benötigt. Die bevorstehende Ausweitung der SRM-Modellierung auf die Höhenlagen des gesamten Stausee-Einzugsgebietes (**PK Ma-H.3**) stellt die genannten Parameter auch für die SWAT-Modellierung des Stauseeeinzugsgebietes zur Verfügung.

### ***Pedologie***

Aufgabe der Bodenkunde in **PK Ma-H.1** ist die Bereitstellung von flächigen Bodeninformationen. Im aktuellen Modell wird die marokkanische Bodenkarte (Maßstab 1:1.500.000) verwendet. Bodenphysikalische und bodenchemische Parameter sind während der Feldkampagnen der IMPETUS-Phasen I und II an ca. 200 Bodenprofilen erfasst worden und den in der Bodenkarte ausgezeichneten Einheiten zugewiesen worden. Im Rahmen der Arbeit des **PK Ma-L.3** ist aus den erhobenen Messdaten eine detaillierte Karte der Bodenparameter generiert worden. Gegenwärtig werden Methoden der Generalisierung (u.a. Clusteranalyse) überprüft, die eine Verwendung der neuen Bodenkarte in SWAT ermöglichen sollen.

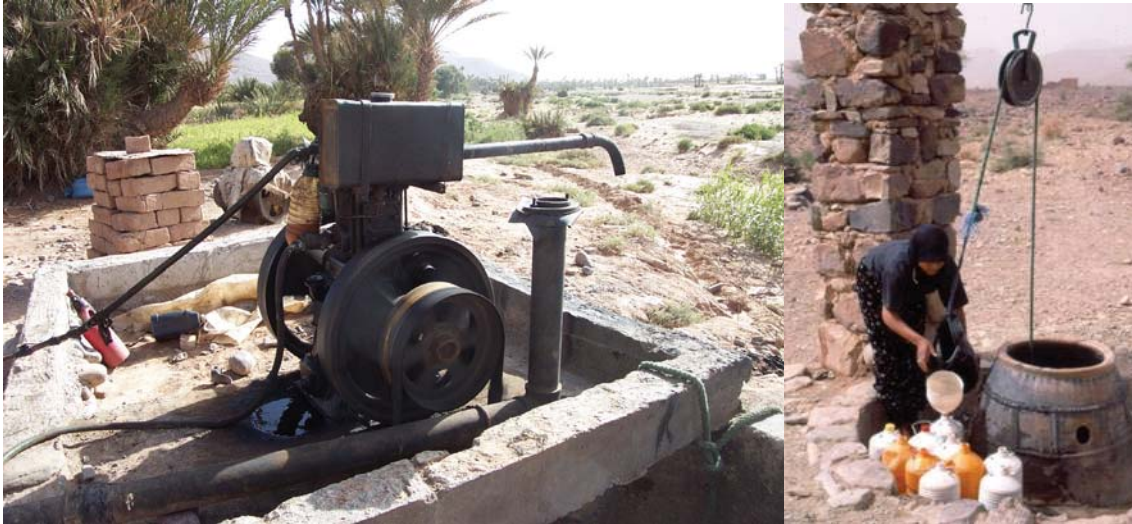
Die ersten Läufe mit dem Bodenerosionsmodell PESERA haben stattgefunden und die Anwendbarkeit des Modells im Drâa-Einzugsgebiet wurde bestätigt (siehe **PK Ma-L.3**). Da SWAT mit der MUSLE (**M**odified **U**niversal **S**oil **L**oss **E**quation) über ein Erosionsmodul verfügt, sind für die Zukunft Modell-Modell-Vergleiche geplant um die Kohärenz der Modellergebnisse zu gewährleisten.

### **Literatur**

- Cappy, S. (2006): Hydrogeological characterization of the Upper Drâa catchment: Morocco. Dissertation, Math.-Nat. Fakultät der Universität Bonn. 190 p.
- Abrufbar unter: [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/math\\_nat\\_fak/2007/cappy\\_sebastien/cappy.htm](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2007/cappy_sebastien/cappy.htm)
- Hertig, E. und J. Jacobeit (2006): Seasonal Prediction of Mediterranean temperature and precipitation anomalies by statistical ensembles. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8.
- Jossen, J.-A. and Filali, J. (1988) : Le bassin de Ouarzazate, synthèse stratigraphique et structurale.- Contribution à l'étude des aquifères profonds, 38 p., Admn. Hydraul. Direct. Rech. Planif. de l'Eau; Rabat.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. (ed). (1990): Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.- ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., 360 p, Am. Soc. Civil Engrs.; New York, NY.
- Knippertz, P., (2003): Tropical-Extratropical Interactions Causing Precipitation in Northwest Africa: Statistical Analysis and Seasonal Variations, Mon. Wea. Rev. 131, 3069-3076.
- Schulz, O. (2006): Analyse schneehydrologischer Prozesse und Schneekartierung im Einzugsgebiet des Oued M'Goun, Zentraler hoher Atlas (Marokko). Dissertation, Math.-Nat. Fakultät der Universität Bonn. 149 p.
- Schulz, O. und C. de Jong (2004): Snowmelt and sublimation: field experiments and modelling in the High Atlas Mountains of Morocco. In: Hydrology and Earth System Sciences 8 (6), 1076-1089



## PK Ma-H.2 Wechselwirkungen zwischen Wassernutzungsstrategien und den Grundwasser- und Bodenverhältnissen im mittleren Drâa-Tal



### Problemstellung

Im mittleren Drâa-Tal stellt die Bewirtschaftung des Grundwassers eine sensible Größe für den Gebietswasserhaushalts und das sozio-ökonomische Wirkungsgefüge dar.

Die Versorgung des Drâa-Tals mit Oberflächenwasser ist abhängig von behördlich geregelten Lâchers (Auslässen) aus dem Stausee Mansour Eddhabi. Die herrschende Wasserknappheit resultiert in der vermehrten privaten Entnahme von Grundwasser vor allem zu Bewässerungszwecken. Diese Entnahme wird durch den Einsatz von Motorpumpen ermöglicht und hat eine Absenkung des Grundwasserspiegels sowie eine lokale Beeinflussung der Wasserqualität und eine Versalzung der Böden zur Folge. Zudem ist die traditionelle Grundwassergewinnung an Zieh-brunnen für häusliche Zwecke von den Auswirkungen der modernen Grundwassernutzung und dem lückenhaft ausgebildeten öffentlichen Versorgungsnetz betroffen. Die lokal unterschiedlichen Nutzungsstrategien und Anschlusssituationen bergen ein dynamisches Konfliktpotential.

Die natürlichen und anthropogenen Einflüsse in diesem System werden in Ouled Yaoub (Oase Tin-zouline) auf der lokalen Ebene sowie in der Feija de Zagora und der Oase Fezouata auf der regionalen Ebene exemplarisch untersucht. In der Zusammenschau aller Erkenntnisse wird die Problemstellung für das mittlere Drâa-Tal auf der regionalen Skala bearbeitet.

### Mitarbeiter

**Stephan Klose**, Cristina Rademacher, Anna Zeyen, Andreas Roth

### **Zielsetzung**

Die Modellierung des häuslichen Wasserverbrauchs, der Grundwasserverfügbarkeit und der Bodenversalzung sowie die Berechnung des Wasserbedarfs der Kulturen sind die Hauptziele dieses Problemkomplexes. Vor dem Hintergrund der projizierten Impetus-Szenarien wird in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt C2 ein Entscheidungsunterstützungssystem entwickelt. Zudem lassen sich Handlungsoptionen für die Bewirtschaftung der Ressourcen Grundwasser und Boden in unterschiedlichen Maßstäben ableiten. In einem integrierten hydrogeologischen Informationssystem werden bestimmte Ergebnisse der Arbeiten auch für weitere Problemkomplexe und Modelle (Ma-H.2, Ma-E.1, Ma-E.2, Ma-L.3) vorgehalten.

### **Methodik**

Gestützt durch eigene Feldstudien, Recherchen und der Zusammenarbeit mit marokkanischen Partnern werden Daten mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS) raumbezogen analysiert. Im Rahmen der Modellierungen werden die Impetus-Szenarien projiziert. Dies und eine Modellkopplung stellt die Grundlage für die Entwicklung eines räumlichen Entscheidungsunterstützungssystems (SDSS) dar. An diesem Problemkomplexes nehmen vier Disziplinen teil, die durch jeweils ein Modell repräsentiert werden. Die ethnologischen Arbeiten fließen in ein eigens entwickeltes analytisches Modell namens C.E.M. Drâa ein. Mit C.E.M. Drâa wird der jährliche häusliche Wasserverbrauch pro Kopf berechnet. Die *look up – table* CROPDEM basiert auf dem FAO-Modell CROPWAT (IQ1) und gibt den jährlichen Wasserbedarf bestimmter Kulturen pro Oase aus. In einem eigens entwickelten konzeptionellen Speicher-Kaskaden-Modell wird die jährliche Grundwasserbilanz pro Oase berechnet. Eine numerische Grundwasserströmungsmodellierung wird exemplarisch auf der lokalen Skala durchgeführt. Das numerische Modell SahysMod (IQ2) errechnet den Salzgehalt als elektrische Leitfähigkeit der Böden in den Oasen in Jahresschritten.

### **Stand der Arbeiten**

Im Fokus der Arbeiten des Jahres 2006 standen die Analysen und die Parameteroptimierung für die Modellierungen und die Verfeinerungen der eigens entwickelten Modelle, um Szenarien zu berechnen. Hinzu kam die konzeptionelle und technische Entwicklung des SDSS IWEGS (*Impact of Water Exploitation on Groundwater and Soil*), in Zusammenarbeit mit dem IMPETUS-Teilprojekt C2. Ferner konnten Kontakte zu marokkanischen Partnern für die fachliche Zusammenarbeit und die zukünftig geplante SDSS-Übergabe ausgebaut werden.

Dem Aufbau des PK Ma-H.2 folgend lassen sich die Zwischenergebnisse der Arbeiten fachspezifisch darstellen.

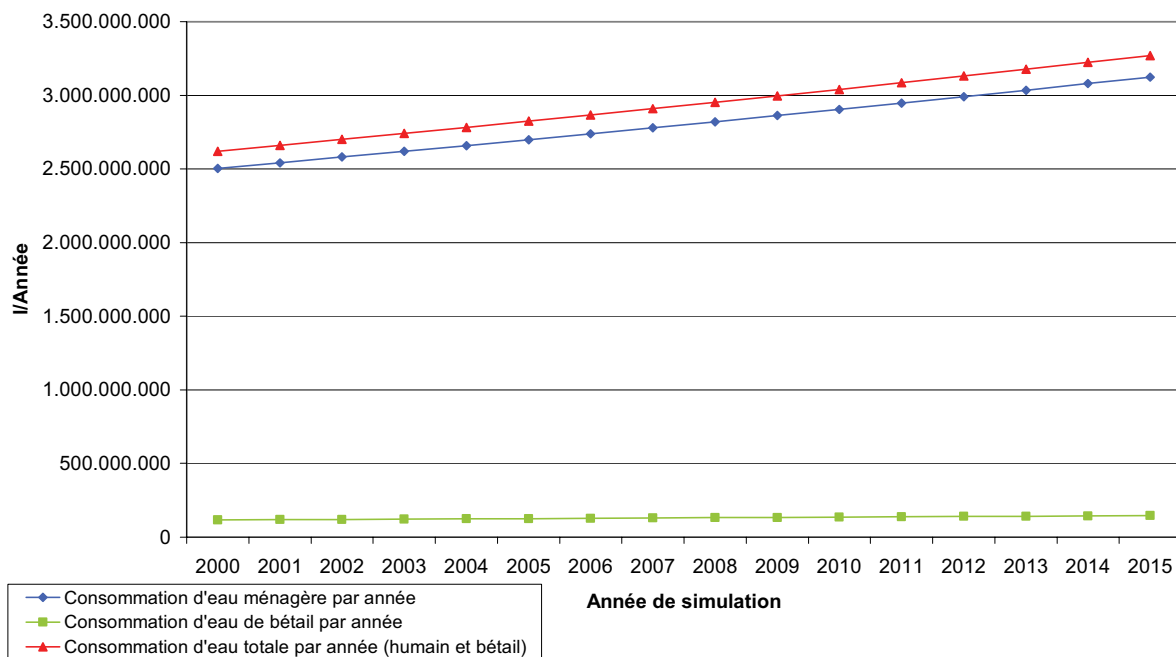
### ***Modul Ethno:***

Nach der Auswertung und Analyse der Felddaten (Interviews zu wasserrelevanten Themen und die Haushaltswasseruntersuchung (HWU) vom Winter 2005/6) wurde mit dem Aufbau des konzeptionellen Modells C.E.M Drâa („Consommation d’Eau Ménagère“) begonnen. Die Ergebnisse der lokal durchgeführten HWU flossen in die Konzeption und die spätere Parametrisierung ein.

Als Input-Parameter wurden neben den Daten zum Wasserverbrauch in Liter pro Kopf und Tag die Anzahl der Einwohner pro Dorf, die Haushaltsgröße sowie die Art und Anzahl von Vieh im Gehöft festgelegt. Ergebnissen der Untersuchung zufolge haben sowohl Haushaltsgröße als auch Viehbesitz kritische Schwellenwerte, die bewirken, dass der Wasserverbrauch pro Individuum ab einer bestimmten Haushalts- bzw. Herdengröße abnimmt. Zwar wurde dieser Sachverhalt bei der Parametrisierung berücksichtigt, doch sind bislang keine flächendeckenden Daten vorhanden.

Als Output des C.E.M. Drâa kann der jährliche mittlere Wasserverbrauch pro Kopf und Tag errechnet werden. Des Weiteren soll die mögliche Entwicklung des häuslichen Wasserverbrauchs bis zum Jahr 2020 unter Berücksichtigung der Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung dargestellt werden. Ziel ist es, diese Entwicklung auch im Hinblick auf die Art des Wasserzugangs (ONEP-Anschluss, kollektiver Wasserturm, Ziehbrunnen, gemischte Nutzung) zeigen zu können, die in Interventions-szenarien dargestellt werden soll.

Die Programmierung des Modells durch Anna Zeyen in Visual Basic (Excel) ist abgeschlossen. Es gibt eine deutsche und eine französische Version des Modells. In einem ersten Testlauf wurde das Modell auf die Provinz Zagora angewendet (**Abb. III.2.2-7**)



**Abb. III.2.2-7:** Beispiel einer Modellrechnung des C.E.M. Drâa zur Entwicklung des häuslichen Wasserverbrauchs in der Provinz Zagora (ruraler Raum) für den Zeitraum 2000-2015 mit folgenden Annahmen: Bevölkerung Provinz Zagora im Jahr 2000 (245.000 EW), jährl. Bevölkerungswachstum 0,8%, Veränderung des Anteils kleiner Haushalte (< 6 Pers.) von 40 auf 55%, Viehbesitz im Jahr 2000 (80.000), jährl. Wachstumsrate der Herden 1,5%.

Zur Überprüfung der Ergebnisse für das Dorf Ouled Yaoub werden die eigens erhobenen Wasserverbrauchsdaten den Modellrechnungen gegenübergestellt. Im Dorf Ouled Yaoub wurden im Jahr 2005 annähernd 8100 m<sup>3</sup> Wasser für häusliche Zwecke verbraucht.

Da eigene empirische Daten auf Dorfebene vorliegen, C.E.M Drâa im Rahmen der SDSS-Entwicklung aber gekoppelt worden ist und somit Daten für alle 6 Oasen als Grundlage der Berechnung dienen, steht die Regionalisierung der Daten an. Zu diesem Zweck wurde das Modell während

des Herbst/Winteraufenthaltes 2006 dem Chef des *Service Eau Ouarzazate* kurz vorgestellt. Dieser konnte uns neuere PAGER-Daten sowie weitere Sekundärliteratur zur Verfügung stellen, die derzeit gesichtet und integriert werden. Es wird in Kürze klar sein, ob die verfügbare Datengrundlage für eine Regionalisierung ausreicht oder ob eine begrenzte Untersuchung zum Haushaltswasser-verbrauch mit gemischtem Wasserzugang durchgeführt werden muss. Diese wird in Zusammenarbeit mit marokkanischen Partnern erfolgen.

### ***Modul Agrar:***

Die Auswertungen der Landnutzungskartierung die im Zuge der Feldarbeiten 2005 und 2006 durchgeführt wurde, stellen die Grundlage für ein räumliches Informationssystem (vgl. PK Ma-E.2), für die Abschätzungen der Grundwasserentnahmen zu Bewässerungszwecken und für die Ableitung von alternativen agrarischen Handlungsoptionen dar.

Die Quantifizierung der Bewässerungsmengen für den regionalen Maßstab ist aufgrund lückenhafter Datenlage nur begrenzt möglich. Daher wird der Wasserbedarf der Hauptkulturen im Drâatal mit Hilfe des FAO-Modells CROPWAT (IQ1) errechnet. Hierfür werden spezifische Kc-Werte verwendet, wie sie aus der Literatur bekannt sind (MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS, 1998). In der *look up – table* CROPDEM wird von den Einzelwerten für jede Kultur über die jeweilige Anbaufläche auf den Wasserbedarf pro Oase und Jahr bei optimaler Wasserversorgung hochgerechnet. Dieser Ansatz ermöglicht indirekt eine Abschätzung der potentiellen Grundwasserentnahmen zu Bewässerungszwecken, ohne die Versorgung der Kulturen mit Oberflächenwasser zu berücksichtigen.

### ***Modul Boden:***

Aufgabe des Moduls Boden im Rahmen des PK Ma-H.2 ist die Abschätzung der aktuellen und zukünftigen Bodenversalzung unter Annahme der IMPETUS-Szenarien und verschiedener Bewässerungsoptionen. Hierfür kommt das numerische Modell SahysMod (IQ2) zur Anwendung. Im Rahmen der Diplomarbeit von BREUER (in Vorb.) wurde das Modell für einen Garten in der Feija de Zagora parametrisiert und im Rahmen dieses Problemkomplexes weitergeführt. Die zeitliche Diskretisierung wurde von einem halben Jahr auf ein Jahr vergrößert, da sich im Fall der feineren Auflösung modellinterne Probleme ergaben. **Abb. III.2.2-8** zeigt die räumliche Diskretisierung des insgesamt 50.000 m<sup>2</sup> großen Gartens in einem Polygonnetz. Die nummerierten Kopfflächen der Säulen stellen die Polygonoberflächen dar. Die Höhe der Säulen zeigt die grundwassererfüllte Mächtigkeit in den Polygonenzellen an. Außerdem sind die Fließrichtungen des Grundwassers abgebildet, die sich nach einem Jahr Laufzeit einstellen. Das Modell umfasst sechs interne und acht externe Zellen. Den externen Zellen sind als Randbedingungen konstante grundwassererfüllte Mächtigkeiten und eine konstante elektrische Leitfähigkeiten im Grundwasser zugewiesen. Die berechneten Grundwasserfließrichtungen entsprechen den realen Verhältnissen. Die Grundwasserbilanz für das gesamte Modellgebiet ist ausgeglichen, wobei sich nach einem Jahr im Modell stationäre Verhältnisse für die Grundwasserströmung einstellen. Das System wird gemäß den Geländeuntersuchungen insgesamt plausibel wiedergegeben

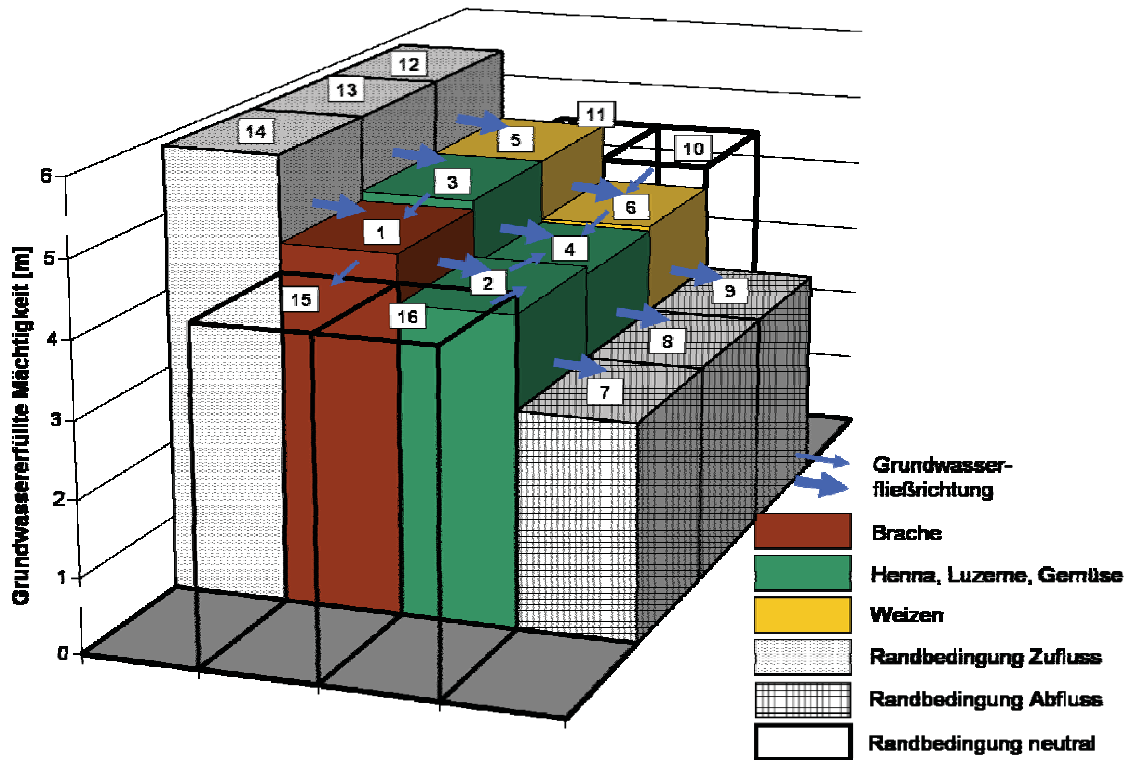


Abb. III.2.2-8: Räumliche Diskretisierung, modellierte grundwasserfüllte Mächtigkeit und Grundwasserfließrichtung

Vor dem Hintergrund der modellierten Grundwasserfließrichtungen kann die Aufsatzung des Grundwasserkörpers betrachtet werden (Abb. III.2.2-9). Polygon 1 zeigt nur einen leichten Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit. Auf dieser Brachefläche wird nicht bewässert, so dass weder Perkolatation erfolgt noch Salze aus dem Boden in das Grundwasser ausgewaschen werden. Außerdem stammt der Hauptzufluss der Zelle 1 aus dem externen Polygon 14, für welches eine konstante elektrische Leitfähigkeit als Randbedingung festgelegt wurde. Zelle 1 erhält also einen Zufluss von „Frischwasser“. Die Polygone 2 und 3 erfahren eine gemäßigte Aufsatzung durch die Perkolatation von Bewässerungswasser. Hier fließt lateral nur „Frischwasser“ aus den Polygonen 1 und 16 bzw. 13 zu. Anders verhält es sich bei Polygon 4, wo ein extremer Anstieg der Salzkonzentration verzeichnet wird. Der Grundwasserzufluss erfolgt hier nur aus Zellen, die ihrerseits bereits eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit erfahren haben (Zellen 2, 3 und 6). Die Zellen 5 und 6 dagegen werden nur leicht aufgesalzen, da der Weizen weniger bewässert wird und somit weniger Perkolatationswasser den Aquifer erreicht.

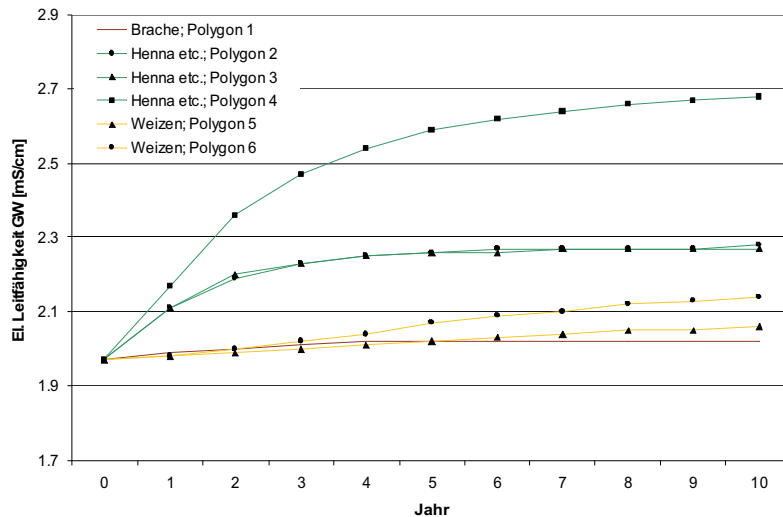


Abb. III.2.2-9: Modellierte elektrische Leitfähigkeit im Grundwasser.

In der zeitlichen Entwicklung der Bodenversalzung zeichnen sich ebenfalls räumlich differenzierte Verhältnisse ab (Abb. III.2.2-10). In Polygon 1 verändert sich die Leitfähigkeit aufgrund der fehlenden Bewässerung nicht. In den Polygonen 2 und 3 steigt die elektrische Leitfähigkeit nach einem zunächst steilen Absinken der Kurve an. Der anfängliche Einbruch ist auf Auswaschung der Salze aus dem Boden mit der beginnenden Bewässerung zurückzuführen. Der folgende gemäßigte Anstieg folgt dem Anstieg der Salzkonzentration im Bewässerungswassers und somit dem, des Grundwassers in den Polygonen 2 und 3. Die Entwicklung der Grundwasserversalzung erklärt auch die deutlich stärkere Versalzung in Polygon 4, da hier ein „Frischwasserzufluss“ wie bei Polygon 2 und 3 fehlt. Dem entgegen steht der starke Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit der Zellen 5 und 6. Hier wird weniger stark bewässert, daher werden die Salze in geringerem Maße ausgewaschen, akkumulieren also im Boden. Dies bedingt einerseits die geringe Aufsatzung des Grundwassers, andererseits die starke Bodenversalzung.

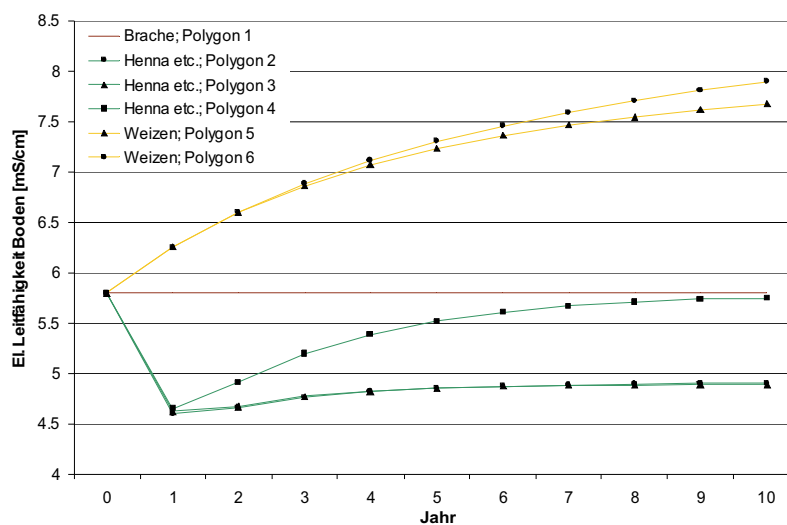


Abb. III.2.2-10: Modellierte elektrische Leitfähigkeit im Boden.



Die Modellierung mit SahysMod liefert nachvollziehbare und plausible Ergebnisse. Zurzeit wird in Zusammenarbeit mit dem Modellentwickler versucht, verbleibende Modellprobleme, z.B. das der zeitlichen Diskretisierung, zu lösen. Der nächste Schritt ist die Parametrisierung der gesamten Drâa-Oasen und die Kopplung des Modells an das SDSS IWECS.

### Modul HydGeo:

Die hydrogeologischen Arbeiten konzentrierten auf die Entwicklung eines analytisch-konzeptionellen Modells namens BIL zur Berechnung der jährlichen Grundwasserbilanz im regionalen Maßstab. Hinsichtlich der numerischen Grundwasserströmungsmodellierung mit MODFLOW bestehen für den regionalen Maßstab erhebliche Datenlücken. Demnach kann eine hochparametrisierte Grundwasserströmungsmodellierung im vorgesehenen Projektrahmen als nicht zielführend angesehen werden. Da für den lokalen Bearbeitungsschwerpunkt in Ouled Yaoub (Oase Tinzouline) eine vergleichsweise gute Datenlage vorhanden ist, wird die Modellierung mit MODFLOW dort weitergeführt.

Der regionale Modellierungsansatz BIL basiert auf einer sechsgliedrigeren Aquifer-Kaskade, in der für jeden Aquifer die Grundwasserbilanz berechnet wird. Diese Aquifer-Kaskade bildet die Oasenkette entlang des Oued Drâa ab (Abb. III.2.2-11). Da am unteren Ende jeder Oase geringdurchlässige Festgesteine und tektonische Elemente eine hydraulische Barriere bilden, repräsentieren die überwiegend alluvialen Lockergesteine unter jeder Oase einen nahezu eigenständigen Aquifer. Über die Barrieren der quarzitischen Sand- und Siltsteine hinweg besteht stromabwärts des Drâa eine hydraulische Verbindung zwischen den Aquiferen. Die jeweilige Durchflussfläche wird im Wesentlichen durch geringmächtige fluviale Ablagerungen in den schmalen Durchbrüchen zwischen den Oasen (Foums) bestimmt. Der Zu- und Abfluss durch diese Foums wird in der Grundwasserbilanzierung für jeden Aquifer berücksichtigt und mittels der Darcy-Formel berechnet (Abb. III.2.2-12).

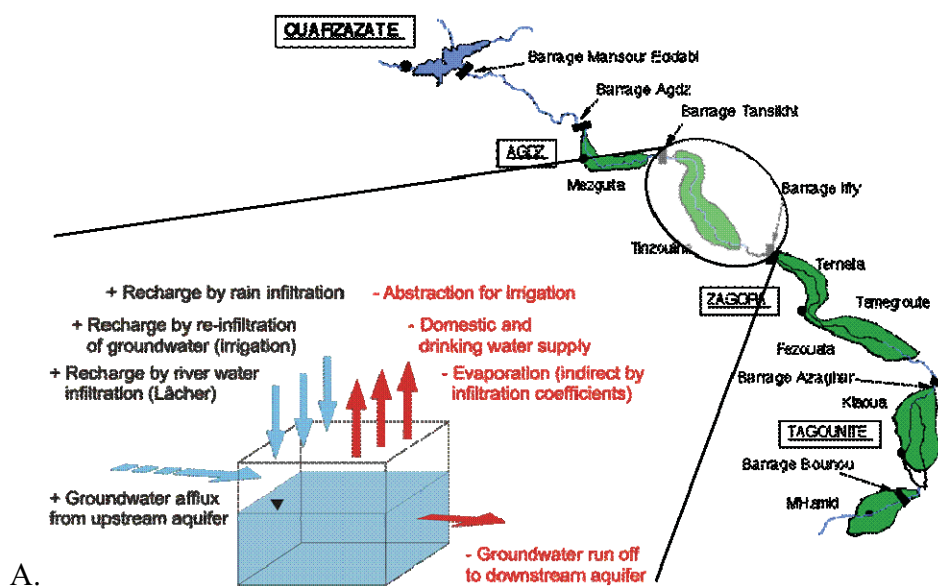


Abb. III.2.2-11: Grundwasserbilanz in BIL pro Aquifer.



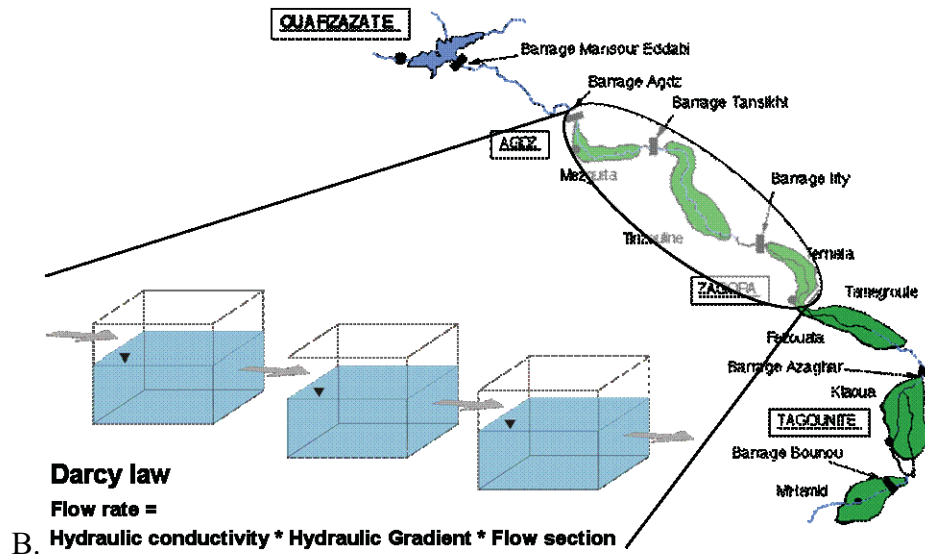
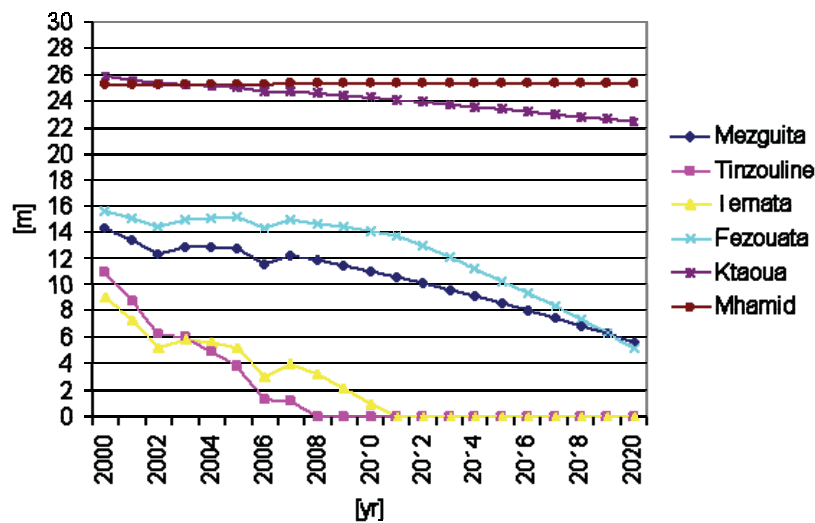


Abb. III.2.2-12: B: Aquiferverbindung in BIL entlang des Drâa.

Das Modell BIL rechnet in Jahresschritten und gibt unter anderem das verfügbare Grundwasservolumen für jeden Aquifer aus. BIL wird eingesetzt, um das Systemverständnis zu erhöhen, Langzeitabschätzungen der Grundwasserverfügbarkeit anzustellen und Sensitivitätsprüfungen einzelner Parameter vorzunehmen. In Verbindung mit einem Geographischen Informationssystem stützt es die Vorbereitung der numerischen Grundwasserströmungsmodellierung. Die ersten Versuche einer Modellkalibrierung anhand des Vergleichs der Grundwasserstandsdifferenzen zwischen den Jahren zeigen gute Übereinstimmungen. Als Kalibrationsparameter wurden die Grundwasserneubildungskoeffizienten für den Niederschlag, für die Gerinneversickerung und für die Versickerung von Bewässerungswasser sowie die Grundwasserentnahmen angepasst. Zukünftig soll die Modellkalibrierung und -validierung mit zusätzlichen Daten durchgeführt werden, die freundlicher Weise von marrokanischen Institutionen (z.B. *Service Eau Ouarzazate*) bereitgestellt werden. Zudem sind bestimmte Nachuntersuchungen im Gelände zur Grundwasserneubildung und weitere Datenakquise nötig.

In den ersten Modellläufen und Szenarioprojektionen mit BIL (Abb. III.2.2-13) zeigt sich, dass die Parameter der Grundwasserneubildung, der Grundwasserspeicherung und der Grundwasserentnahmen sehr sensibel reagieren.



**Abb. III.2.2-13:** Szenarienberechnung mit dem Model BIL: Darstellung der gesättigten Mächtigkeiten pro Aquifer für die Jahresschritte 2000 bis 2020 bei 10% Rückgang des jährlichen Niederschlages und zunehmenden Grundwasserentnahmen (nach DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION DE L'EAU, 1994).

Die Kopplung des Modells BIL im SDSS IWECS kann als Parameteroptimierung und erweiterten Abbildung des Systems verstanden werden. Das Modell C.E.M. Drâa soll zukünftig flächendeckend für das Drâatal den häuslichen Wasserverbrauch berechnen, der als Grundwasserentnahme eine negative Größe in der Grundwasserbilanz darstellt. Die durch C.E.M. Drâa errechnete Grundwasserentnahme wird als Eingabeparameter an BIL übergeben. Ähnliches gilt für die Kopplung zwischen der *look up – table* CROPDEM und BIL. CROPDEM gibt den jährlichen Wasserbedarf der Kulturen pro Oase aus, der als Grundwasserentnahme für die Bewässerung in die Grundwasserbilanzierung von BIL eingeht (vgl. Abb. Ma-H.2-7).

#### **Entwicklung des SDSS IWECS:**

Die Entwicklung des SDSS IWECS begann mit der theoretischen Konzeptionisierung eines Entscheidungsbaums. Mit dem IWECS sollen Entscheidungen unterstützt werden, wann und in welcher Oase spezifische Untersuchungen zur Grundwasserverfügbarkeit und Bodenversalzung im Hinblick auf Interventionsmaßnahmen nötig werden.

Folglich wurden die Arbeiten im PK Ma-H.2 an das SDSS-Konzept angepasst und eine Modellkopplung zugrunde gelegt. Diese spiegelt sich in der Entwicklung eines Flussdiagramms in Zusammenarbeit mit dem Impetus-Teilprojekt C2 wider (**Abb. III.2.2-1**). In der laufenden technischen Entwicklung des SDSS und der Anpassung der Modelle werden C.E.M. Drâa, CROPDEM und BIL dynamisch gekoppelt. Das vierte Modell SAHYSMOD soll in einem nächsten Schritt lose gekoppelt werden. In dem Flussdiagramm wird die Option für den Nutzer berücksichtigt, bestimmte Randbedingungen zu modifizieren, um eigene Szenarien projizieren zu können. Die vorgesehenen Ausgabeoptionen umfassen eine plakative Entscheidungshilfe durch eine Ampel, die auf einer Schwellwertabfrage basiert. Ihr liegen definierte Schwellwerte für kritische Grundwasservolumina und Bodensalzgehalte zugrunde. Die Nutzung dieser Ampel stellt eine plakative Erstinformation

dar, die zu einer umfassenden Ergebnisstabelle hinleitet. Diese Ergebnisstabelle enthält alle relevanten Parameter und Zwischenergebnisse der Berechnungsgänge sowie eine definiert Diagrammausgabe. Das SDSS IWEGS bietet somit die Möglichkeit in einem regionalen Maßstab die Notwendigkeit bestimmter Untersuchungen und Gutachten abzuschätzen und die Sensitivität einzelner Systemgrößen modellhaft zu testen.

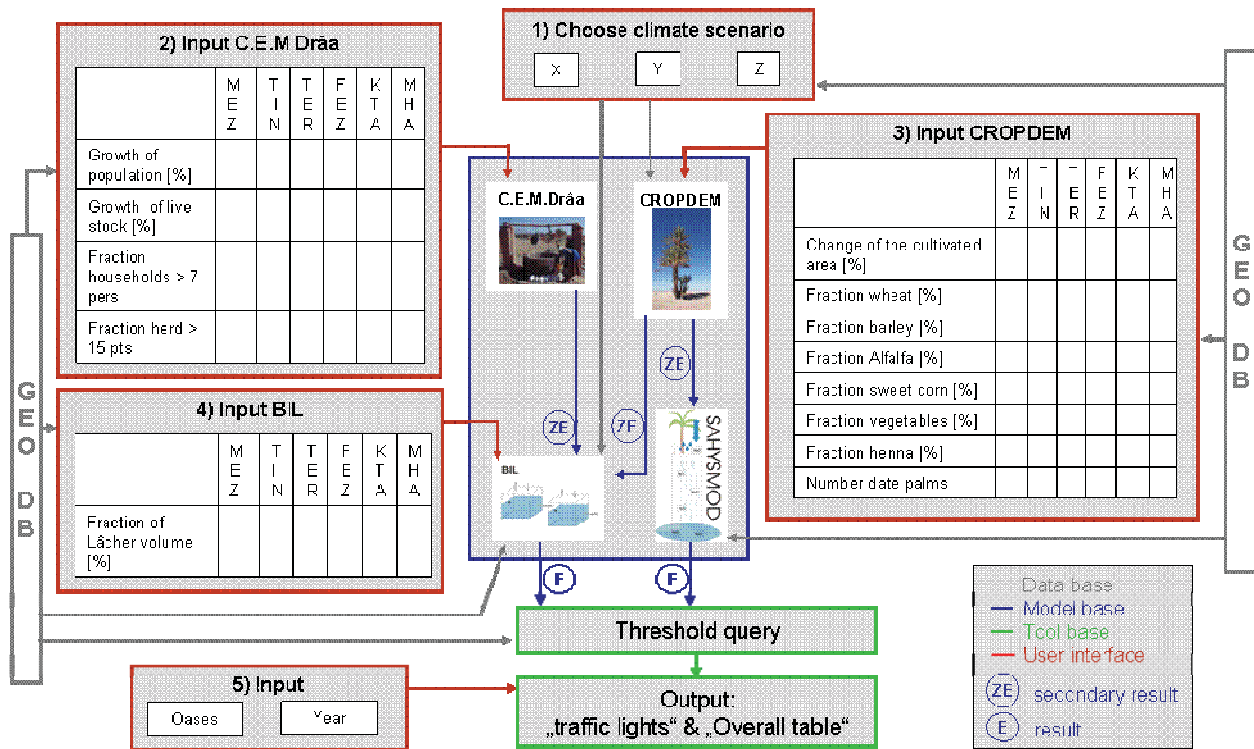


Abb. III.2.2-14: Flussdiagramm des SDSS IWEGS (Stand: Januar 2007; in Zusammenarbeit mit Rainer Laudien (C2).

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Die Zusammenarbeit mit marrokanischen Institutionen fördert die Nachhaltigkeit und Verankerung der Projektarbeit in verschiedenen Bereichen und konnte im Laufe des vergangenen Jahres ausgebaut werden. In Fachvorträgen im Rahmen des *Comité de Pilotage* sowie auf wissenschaftlichen Tagungen in Marokko (ISCO 2006/Marrakech; DSS-Workshop 2007/Rabat) wurde wiederholt der aktuelle Stand der Arbeiten dieses Problemkomplexes vorgestellt und kritisch diskutiert. Die zu meist positive Rezeption und das anhaltende Interesse seitens marokkanischer Institutionen bestätigten die Vorgehensweisen in diesem Problemkomplex.

Die ethnologischen Arbeiten bringen eine intensive Zusammenarbeit mit marokkanischen Institutionen bis auf die Familienebene mit sich. In diesem Falle sind die Arbeiten im Dorf Ouled Yaoub, mit der *Office de Mise en Valeur Agricole Ouarzazat (ORMVAO)* und den *Centre de Mise en Valeur (CMV)* hervorzuheben. Als Ansprechpartner in einem guten Austausch zu ethnologischen Sachverhalten fungierten der Chef des Service Eau, M. Sabbar, und seine Mitarbeiterin Fatima Sabib. Als Zielgruppen für zukünftige Capacity Building - Maßnahmen konnten die *CMV* und der *Service Eau Ouarzazate* ausgemacht werden.

Für das Thema Boden erwiesen sich die Kontakte zur Abteilung Bodenkunde der ORMVAO, M. Tazi, und zu der Projektleitung von ROSELT/OSS, M. Yassin, als sehr nützlich und konstruktiv. M. Yassin stellt darüber hinaus einen wissenschaftlichen Kontakt zum *Haut Commissariat des Eaux et Forêts et la Lutte contre la Desertification* dar. Diese Zusammenarbeit wird auch im Sinne des Capacity Building weitergeführt.

Im Bereich Hydrogeologie besteht enger Kontakt zum *Service Eau Ouarzazate*, M. Sabbar. Diese Zusammenarbeit gestaltet sich zielorientiert im Sinne des gemeinsamen Aufbaus eines Grundwasser-Monitoring-Netzwerkes, mit dem bereits begonnen werden konnte. Zudem werden Kontakte zur *Agence de Bassin du Souss-Massa* und dem *Secretariat d'Etat Chargé de l'Eau* (Rabat) gepflegt. Mit diesen marokkanischen Partnern sind Arbeitstreffen sowie Capacity Building – Maßnahmen in Planung.

### **Literatur**

- Breuer (in Vorb.): Einfluss der Grundwasserbeschaffenheit auf die Bodenversalzung durch Bewässerung in S-Marokko - Modellierung mit SAHYSMOD. Dipl.-Arbeit, Geologisches Institut, Universität Bonn.
- Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau (1994): Etude du Plan Directeur de L'Amenagement des Euax des Bassins du Guir, Ziz, Rheris et Drâa ; Mission 3 : Etude des Schemas d'menagement ; Volume II : Unites Haut et Moyen Drâa, Bas Drâa, Guelmin et Tiznit-Ifni. 86. Rabat.
- Ministère des travaux publics (1998): Etude du plan directeur de l'aménagement des eaux des bassins sud-atlasiques, Misssion 3: Etude des schemas d'aménagement. – Volume 4: Unités du Drâa, Nr. 7032.

#### Internetquellen:

- IQ1 <http://www./fao.org/AG/AGL/AGLW/cropwat.stm>
- IQ2 <http://www.waterlog.info.info/sahysmod.htm>

## PK Ma-H.3 Saisonale Abflussprognosen aus der Schneeschmelze für das Management des Mansour Eddahbi Stausees



Oued Dadès im Becken von Ouarzazate vor schneebedecktem Hohem Atlas

### **Problemstellung**

Der Stausee Mansour Eddahbi bei Ouarzazate vereint die Zuflüsse aus dem südlichen Hohen Atlas. Ein Teil der Niederschläge fällt hier im Winter überwiegend als Schnee. Für die Wasserversorgung des Drâatals (Qualität des Trinkwassers, Quantität des Bewässerungswassers, Anzahl der Lâchers) sind sowohl die kurz- bis mittelfristige als auch die langfristige Entwicklung dieser Niederschläge und ihres Schneeanteils von Bedeutung.

Die beiden Leitfragen, an der sich die Arbeit im PK Ma-H.3 orientiert, sind:

4. Wie wirkt sich der Klimawandel auf den Schneespeicher und die Zuflüsse zum Stausee Mansour Eddahbi bei Ouarzazate aus?
5. Wie viel Wasser werden die Hochgebirgsflüsse voraussichtlich in den nächsten Monaten für den Stausee liefern?

Frage 1 hat die langfristige Entwicklung der Wasserverfügbarkeit der Region im Focus. Die zukünftig zu erwartenden Schneemengen sowie die Gesamtniederschläge im Hohen Atlas und im Becken von Ouarzazate werden in Klimaszenarien abgeschätzt, die auf Ergebnissen der meteorologischen Modellkette beruhen. Die Auswirkungen der Klimaszenarien auf den hydrologischen Kreislauf und letztlich auf die Zuflüsse zum Stausee sowie den Füllstand des Stausees selbst werden im Schneeschmelz-Abflussmodell *SRM (Snowmelt Runoff Model)* modelliert.

Eine Antwort auf Frage 2 setzt die Kenntnis der zu einem Stichtag vorhandenen Schneemenge sowie eine Abschätzung der Witterungsentwicklung in den darauf folgenden Monaten voraus. Dieser

interdisziplinäre Ansatz wird mit der Entwicklung des Monitoringtools *PRO-RES* (*PRO*nostic de la fonte de neige pour un barrage *RES*ervoir; *PRO*gnosis of snowmelt runoff for a water *RES*ervoir) beschriftet. Hier werden aktuelle Beobachtungsdaten und statistische Witterungsprognosen mit dem Schneeschmelz-Abflussmodell gekoppelt und die berechneten Abflüsse in den Stausee geleitet.

### Mitarbeiter

Oliver Schulz, Kai Born

### Zielsetzung

Ziel des PKs für 2006 waren die Validierung des Schneeschmelz-Abflussmodells *SRM* sowie die Beschaffung und Vorbereitung von Daten für die Regionalisierung des Modells im Monitoringtool *PRO-RES*, mit dem eine saisonale Abflussvorhersage für das Gesamteinzugsgebiet des oberen Drâa bis zum Stausee Mansour Eddahbi bei Ouarzazate angestrebt wird. Dazu konnten der Betreiber des Stausees sowie die übergeordnete nationale Behörde für Wasserressourcen für die Pläne des **PK Ma-H.3** gewonnen werden. Die Behörden sicherten ihre Unterstützung zu, auf deren Basis eine Einschätzung der regionalen Datenverfügbarkeit und –qualität möglich wurde. Die Grenzen der einzelnen Untereinzugsgebiete des Stausees konnten festgelegt und Abfluss- sowie Klimadaten recherchiert werden.

Ein weiteres Ziel war der Aufbau des Wettergenerators *SMGHydraa* (*Statistical Model for the Generation of Climate Data for Hydrological Applications in the Drâa Region*), der die Grundlagen für eine statistische Vorhersage der Witterung vom späten Winter bis zum Sommer liefert. Die Witterungsprognose ist notwendig für eine Abschätzung des Schmelzverlaufs einer winterlichen Schneedecke sowie der neuen Niederschläge und somit für die verfügbaren Wassermengen, die über die Gebirgsflüsse bis in den Stausee transportiert werden.

### Modellierung

Der Kern des in Java programmierten Monitoringtools *PRO-RES* besteht aus dem Schneeschmelz-Abflussmodell *SRM* (*Snowmelt Runoff Model*, Martinec 1975, Martinec et al. 1998, Kleindienst et al. 1999). Dieses wird für verschiedene Untereinzugsgebiete des Stausees betrieben, deren Einzelabflüsse über eine Channel-Routing-Funktion bis zum Stausee geleitet werden und deren Gesamtzufluss zu einer Änderung des aktuellen Stauseevolumens beiträgt (siehe **Abb. III.2.2-15**).



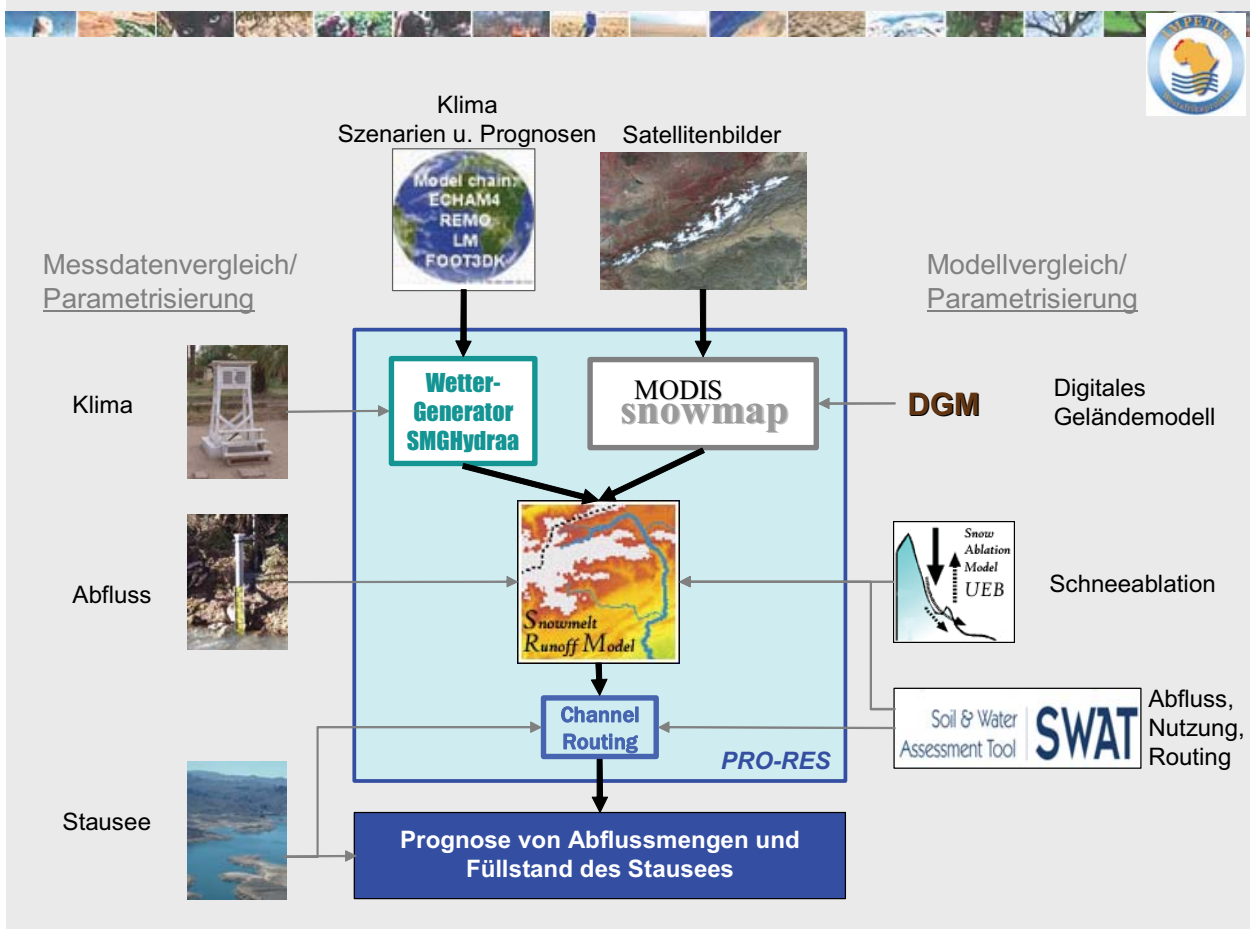


Abb. III.2.2-15: Modellierungsansatz im PK Ma-H.3 und Struktur des Monitoringtools PRO-RES

Der Quellcode des *SRM* sowie eine Programmumgebung mit Datenein- und -ausgabe und graphischer Darstellung der Ergebnisse liegen in Java vor (Kleindienst et al. 1999). Über Schnittstellen findet ein Austausch der Ein- und Ausgabedaten statt. Zu den Eingabedaten gehören Klimadaten (Atmosphärendaten, aktuelle und historische Meldungen der IMPETUS-Stationen sowie der hydrologischen Hauptstationen des Service Eau Ouarzazate), die in der Datenbank des Wettergenerators abgelegt werden. Für den Einbezug der IMPETUS-Klimaszenarien in die hydrologischen Berechnungen werden Reanalysedaten der meteorologischen Modellkette für die definierten Untereinzugsgebiete in der Datenbank abgelegt. Mit dem Wettergenerator *SMGHydraa* werden auf der Basis langjähriger gemessener Klimazeitreihen statistische Prognosen der Wetterentwicklung für wenige Monate erzeugt. Die Schneebedeckungsmasken aus MODIS-Satellitenbildprodukten des United States Geological Survey werden im Modul *MODISsnowmap* in ArcGIS Engine (Java Code) berechnet und über eine Schnittstelle direkt in das *SRM* eingegeben. Die Daten liefern die raumzeitlichen Veränderungen in der Ausbreitung der Schneedecke, die in die Schneeschmelz-Abfluss-Modellierung mit dem *SRM* eingehen. Als Validierungsdaten für die im *SRM* modellierten Abflüsse und Stauseefüllstände dienen gemessene Abflussdaten an den hydrologischen Hauptstationen des Service Eau sowie der gemessene Stauseefüllstand des Mansour Eddahbi. Eine einheitliche Programmoberfläche wird in Java programmiert. Ein Modell-Modellvergleich der Ergebnisse mit der hydrologischen Modellierung im **PK Ma-H.1** (*Soil and Water Assessment Tool SWAT*) ermöglicht



neben der Einzelmodellkalibrierung und –validierung eine weitere Basis für die Einschätzung der Modellgüte und die Einsetzbarkeit des Monitoringtools *PRO-RES*.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

#### ***Automatische Klimastationen und Abflusspegel***

Der weiterhin erfolgreiche Betrieb der Stationen und die Datenqualität sind wichtig für die Übertragbarkeit und Extrapolation der Messergebnisse auf die nun im Fokus stehenden größeren Landschaftseinheiten und auf das gesamte Drâa-Einzugsgebiet. Die Stationsdaten stellen eine stabile Basis für Monitoring und Modellierung in verschiedenen Fachdisziplinen und übergreifenden Problemfeldern dar, welche in Kooperationsarbeit mit marokkanischen Partnern angegangen werden (z.B. Niederschlags-, Schnee- und Abflussmonitoring).

Der Status der automatischen Klimastationen und der Abflusspegel konnte im Jahr 2006 weiter verbessert werden (siehe Kapitel Feldarbeit).

#### ***Wettergenerator***

Der Einsatz eines Wettergenerators wird mit dem Bedarf an räumlich hochaufgelösten Verteilungen meteorologischer Parameter auf der saisonalen bis dekadischen Zeitskala begründet. Ein Downscaling mittels der meteorologischen Modellkette ist sehr aufwendig und produziert zu große Datenmengen für den Einsatz in einem Decision Support System oder Monitoringtool. Daher wurde der Wettergenerator *SMGHYDRAA* (*Statistical Model for the Generation of Climate Data for Hydrological Applications in the Draa Region*) konzipiert, um aus den statistischen Kenngrößen von beobachteten bzw. im Rahmen der Modellkette simulierten meteorologischen Daten mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation Zeitreihen zu erzeugen. Dabei werden mit Hilfe eines Kernel-Schätzers aus bekannten empirischen Verteilungen (langjährige Trends) für die Anomalien vom mittleren Jahresgang die Parameter passender theoretischer Verteilungen berechnet. Berücksichtigt werden hierbei auch die Lage und orographische Eigenschaften der Umgebung. Der Kern des statistischen Modells ist ein Zufallsgenerator, mit dem unter Kenntnis der Verteilungsparameter künstliche Zeitreihen erzeugt werden. In der ersten Stufe werden Werte für Temperatur und Niederschlag getrennt behandelt, in der zweiten Stufe wird der Niederschlag an die Temperaturanomalie sowie an den Index der Atlantik *Sea Surface Temperature* des Spätsommers im Vorjahr gekoppelt.

#### ***MODISsnowmap***

Für die Modellierung des Abflusses aus der Schneeschmelze mit dem *SRM* werden Informationen über die aktuelle Schneebedeckung der Einzugsgebiete benötigt. Das galt für Parametrisierung und Kalibrierung des Modells im Einzugsgebiet des Oued M'Goun (Pegel Ifre) anhand historischer Zeitreihen und gilt weiterhin für die Abschätzung der Schneemengen zu einem Stichtag mit darauf aufbauender Abflussprognose in *PRO-RES*. Für den Zeitraum ab 2005 wurden daher tägliche MO-

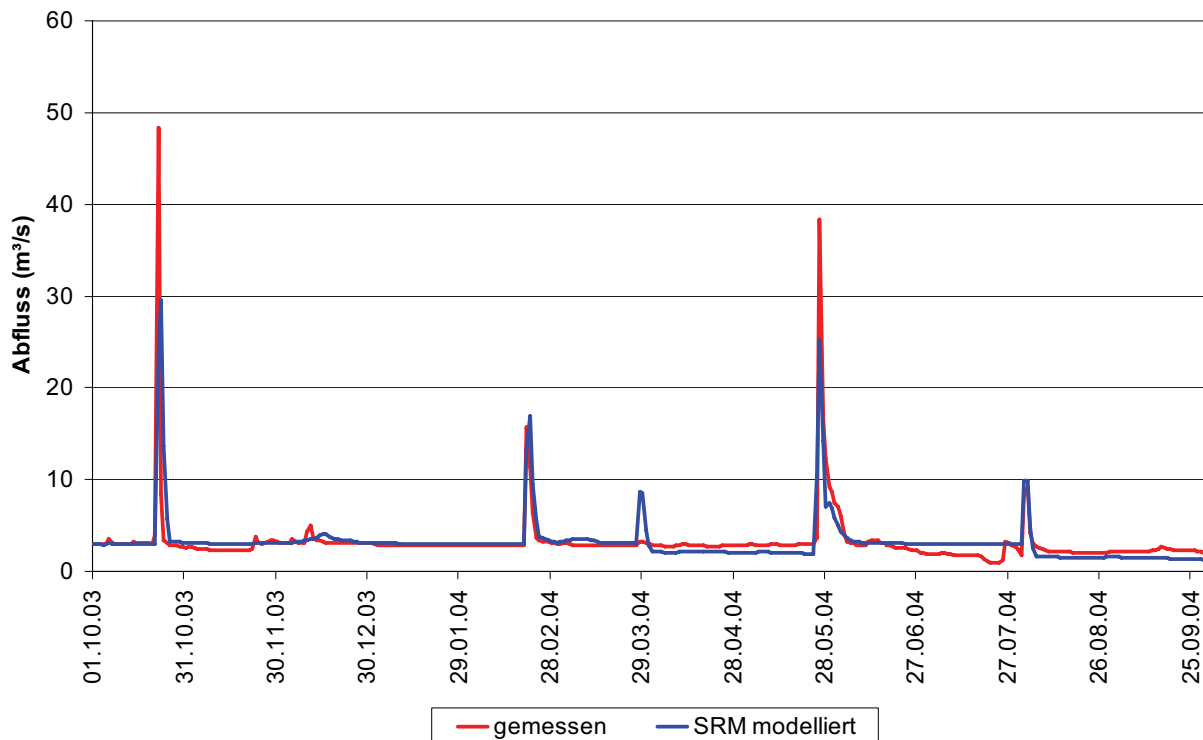
DIS-Daten (Satellitenbildprodukt MOD09 des United States Geological Survey) der jährlichen Schneedeckenperioden für das gesamte Stauseeeinzugsgebiet beschafft und auf ihre Eignung zur Weiterprozessierung überprüft (Schnee- und Wolkenbedeckung, Sensorausfälle). Im nächsten Schritt wird der bereits für die bisherigen Zeitreihen verwendete Klassifizierungsalgorithmus *Normalized Difference Snow Index (NDSI)*, Hall, D. K. and G. A. Riggs 1995, 1998) zur Berechnung von Schneebedeckungskarten auf die neuen Daten angewendet. Eine Routine für das Modul *MODISsnowmap* wurde definiert, welche nun mit ArcGIS Engine für das Monitoringtool *PRO-RES* programmiert wird.

### **Schneesmelz-Abflussmodellierung**

Das konzeptionelle *SRM* berechnet mit nur wenigen Eingangsdaten und Parametern für einzelne Höhenzonen den Abfluss aus Schneeschmelze und weiteren Flüssigniederschlägen. Für das M'Goun-Einzugsgebiet bis zum Pegel Ifre konnte das Modell für das hydrologische Jahr 2003/04 validiert werden (**Abb. III.2.2-16**). Eingangsdaten für die Höhenzonen wurden wie bisher aus Messungen an den automatischen Wetterstationen (Lufttemperatur, Niederschlag) und MODIS-Schneekarten (prozentuale Schneebedeckung) berechnet und extrapoliert. Das Bestimmtheitsmaß für die Modellergebnisse 2003/04 lag bei  $R^2=0,59$ , die Model Efficiency bei 0,59 und der Index of Agreement bei 0,86. Die Modellergebnisse sind somit als zufrieden stellend zu bewerten. Messdaten und Simulation der Abflüsse für 2003/04 zeigen wie schon für die Vorjahre, dass nur nach wenigen großen Niederschlägen und der Schneeschmelze kurzfristig erhöhter Abfluss auftritt, während die meiste Zeit des Jahres der Basisabfluss dominiert. Die Abflussspitzen werden im Modell unterschätzt. In Anbetracht der für längere Perioden unklaren Messungen und Berechnungen der Niedrigwasserstände bzw. des Basisabfluss am Pegel Ifre konnte für 2004/05 keine Validierung der Modellresultate vorgenommen werden.

Für die Integration des *SRM* in das Monitoringtool wurde die Java-Version des *SRM* beschafft (Kleindienst et al., 1999). Dateneingabe über eine Datenbank sowie Schnittstellen mit dem Modul *MODISsnowmap* und dem noch in der Planung befindlichen Modul *Channel Routing* können dadurch einfacher und schneller programmiert werden. Zudem ist die Handhabung des *Java-SRM* deutlich komfortabler als in der Microstation-Version, die bisher genutzt und nun ersetzt wird. Das *Java-SRM* wurde für die bisherigen Simulationen des M'Goun-Einzugsgebiets aufgesetzt und wird nun bei der Modellierung der weiteren Teileinzugsgebiete des Stausees verwendet.

Abflussberechnungen aus der Schneeschmelze mit dem Snowmelt Runoff Model (*SRM*, Martinec 1975, Martinec et al., 1998) liegen für das M'Goun-Einzugsgebiet bis zum Pegel Ifre (1250 km<sup>2</sup>) für die Monate November bis Mai der hydrologischen Jahre 2001/02 und 2002/03 vor (**Abb. III.2.2-16**). Die Zonierung im Einzugsgebiet wurde in 500 m-Höhenschritten zwischen 1500 m und 4000 m vorgenommen und die mittleren Höhen in einem Digitalen Geländemodell bestimmt. Die Eingangsdaten für die Zonen wurden aus den Messungen an den automatischen Wetterstationen (Lufttemperatur, Niederschlag) und aus den MODIS-Schneekarten (prozentuale Schneebedeckung) mit Höhengradienten berechnet und extrapoliert. Nach Anpassung der Parameterwerte an die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet wurden die Modellergebnisse mit gemessenen Abflussdaten an der amtlichen hydrologischen Station Ifre validiert.



**Abb. III.2.2-16:** SRM-Modellergebnisse für das M'Goun-Einzugsgebiet und das hydrologische Jahr 2003/04 (Pegel Ifre).

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Es besteht ein enger Kontakt mit der Direction Générale de l'Hydraulique (DGH), die beim Umweltministerium in Rabat angesiedelt ist. Die DGH ist für die Planung der Wasserressourcen in Marokko zuständig und hat die technische Aufsicht über die marokkanischen Stauseen. Die Zusammenarbeit zwischen der DGH und dem **PK Ma-H.3** begann 2006 mit einem Gedanken- und Datenaustausch. Mittlerweile werden regelmäßige Treffen in Rabat und Ouarzazate abgehalten und die Schulung für das Monitoringtool *PRO-RES* und seine Komponenten vorbereitet. Es ist geplant, dass Mitarbeiter des DGH in 2007 in Marokko und in Deutschland im Umgang mit den Modulen des *PRO-RES* (*SRM*, *MODISsnowmap*) geschult werden.

Der Service Eau in Ouarzazate als Betreiber des Stausees Mansour Eddahbi sowie der Wetter- und Pegelstationen in dessen Einzugsgebiet wird ebenfalls Abnehmer des *PRO-RES* sein. Über den fortgeführten Datenaustausch hinaus fand hier eine logistische und fachliche Unterstützung bei der Geländearbeit statt. Bei der Planung des Stausee- und Lâchermanagements werden IMPETUS-Mitarbeiter inzwischen zu Rate gezogen. Das geplante räumlich verteilte Schneedeckenmonitoring im Umfeld der hydrologischen Hauptstationen des Service Eau in der Hochgebirgsregion des oberen Drâa-Einzugsgebiets wurde mit Vertretern des Service Eau diskutiert und soll im Frühjahr 2007 konkretisiert werden.

Das Office Régionale de Mise en Valeur Agricole in Ouarzazate (ORMVAO) ist für die Wasserverteilung im mittleren Drâatal zuständig, insbesondere wirkt sie an der Planung und Durchführung der

Lâchers mit. Dem Interesse der ORMVAO an einer Abschätzung der zukünftig zur Verfügung stehenden Wassermengen aus der Schneeschmelze wird durch einen intensiveren Kontakt Rechnung getragen. Eine detaillierte Studie der ORMVAO über die Verteilung der Lâchers auf die einzelnen Oasen des mittleren Drâatals erbrachte für mehrere PKs die Schließung einer Informationslücke und eine wichtige Modellierungsgrundlage.

Im Laufe des Jahres wurden die Kontakte zu Universitäten und ihren angeschlossenen Forschungszentren ausgebaut. So konnten am Centre Oriental des Sciences et Technologie de l'Eau (COSTE) in Oujda sowie an den Universitätsinstituten für Hydrogeologie in Rabat und Marrakesch Wissenschaftler für die Arbeit von IMPETUS, insbesondere für die hydro(geo)logische Modellierung im Drâatal interessiert werden. Die während gemeinsamer Workshops begonnene Zusammenarbeit soll nun weiter konkretisiert werden. Dies ist ein Start für die Verankerung der hydro(geo)logischen Arbeitsgruppe von IMPETUS in der marokkanischen Forschungslandschaft und bedeutet eine Stütze für die Nachhaltigkeit der in IMPETUS entwickelten Werkzeuge zum Wassermanagement.

### Feldarbeiten

Der Betrieb des Messnetzes der automatischen Klimastationen im Projektgebiet wurde fortgeführt. Die Stationen befinden sich in einem guten Zustand, es mussten nur wenige kleine Reparaturen durchgeführt werden. Im Herbst 2006 wurden die beiden Hochgebirgsstationen Tounza und Imeskar mit Bodenfeuchtesensoren ausgestattet. Hierdurch soll das Wissen um die Zusammenhänge zwischen Niederschlagsintensitäten und der Versickerung des Niederschlagswassers in den Hochgebirgsböden erweitert werden. Ziel ist, die Auswirkungen der in Klimaszenarien prognostizierten höheren Niederschlagsintensitäten abzuschätzen und die hydrologische Modellierung zu unterstützen.

Mehrere der von IMPETUS im Hohen Atlas betriebenen Abflusspegel waren teils durch Vandalismus teils durch extreme Abflussereignisse beschädigt und außer Betrieb. Im Herbst 2006 wurde das Messkonzept überarbeitet, die Pegel repariert und die Abflussmessung im Ouzighimttal wieder aufgenommen. Somit stehen neben den Daten aus dem Ameskartal zukünftig wieder Messdaten aus dem nördlichen und für die Gesamtabflussmenge wichtigsten Teil des M'Goun-Einzugsgebietes zur Verfügung. Um eine gelegentlich beobachtete Anfälligkeit der Messtechnik an den Schwimmerpegeln auszugleichen, wurde mit den Wächtern der beiden Hauptpegel Cascade und Ouzighimt die tägliche Ablesung und Dokumentation des Wasserstands an Messlatten vereinbart.

Die hydrologische Modellierung in den **PKs Ma-H.1** und **Ma-H.3** stützt sich auf Zeitreihendaten der hydrologischen Hauptstationen (Klima- und Abflussmessungen) des Service Eau im oberen Drâa-Einzugsgebiet. Im Herbst 2006 fand auf Initiative von IMPETUS eine Begehung und Bestandsaufnahme von sieben Hauptstationen (Ifre, Ait Mouted, Tinuar, Aguillal, Agouim, Amane-n-Tini, Assaka) statt. Beteiligt waren Mitarbeiter der regionalen und nationalen Wasserbehörde (DGH Rabat; Service Eau Ouarzazate) sowie von IMPETUS. Der technische Zustand der Abflusspegel war als kritisch zu bewerten, da es wenige Tage zuvor durch ein extremes Niederschlagsereignis mit folgendem extremen Abflussereignis zu Schäden gekommen war. Der Zustand der Wetterstationen war mit gut zu bewerten. Mit den Verantwortlichen der Wasserbehörden wurden nötige Maßnahmen diskutiert und Empfehlungen ausgesprochen. Der gewonnene Einblick in die lokale Situa-

tion (Lage der Messanlagen am Gerinnebett, dessen Dimension und Struktur) sowie in den Betrieb und die Wartung der Pegel bildet eine wichtige Grundlage für eine Interpretation und Fehlerabschätzung der inzwischen mehr als 40jährigen Messreihen. Die Erkenntnisse werden in die hydrologische Modellierung der beiden PKs einfließen. Die Installation von automatischen Kameras durch IMPETUS an einzelnen Abflusspegeln wurde noch nicht umgesetzt, da die Wahl der Standorte infolge von anstehenden Sanierungs- bzw. Wiederaufbaumaßnahmen nicht abschließend getroffen werden konnte. Das Ziel der Pegelbegehung ist erreicht worden, da es direkt zu einem regen Wissensaustausch zwischen den Behörden und IMPETUS kam, der lokale Kenntnisstand aller Seiten angeglichen wurde und eine gemeinsame Basis für die zukünftige Arbeit in den beiden PKs gelegt wurde.

### **Literatur**

- Hall, D. K. and G. A. Riggs (1995): Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. *Remote Sensing of Environment* 54, 127-140.
- Hall, D. K. and G. A. Riggs (1998): Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. <http://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/atbd.html>
- Kleindienst, H., Pfister, M. and M.F. Baumgartner (1999): Pre-operational snowmelt forecasting based on an integration of ground measurements, meteorological forecasts and satellite data. In: Tranter, M. et al.: Interactions between the Cryosphere, Climate and Greenhouse Gases. IAHS Publication 256, 81-89.
- Martinec, J. (1975): Snowmelt-Runoff Model for stream flow forecasts. *Nordic Hydrology* 6(3), p. 145-154.
- Martinec, J., Rango, A. and R. Roberts (1998): Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual. Geogr. Bernensia, Series P, Vol. 35, Bern.
- Schulz, O. and C. de Jong (2004): Snowmelt and sublimation: field experiments and modelling in the High Atlas Mountains of Morocco. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), p. 1076-1089.
- Schulz, O. (im Druck): Analyse schneehydrologischer Prozesse und Schneekartierung im Einzugsgebiet des Oued M'Goun, Zentraler Hoher Atlas (Marokko). Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bonn 2006.

## PK Ma-H.4 Interannuelle Niederschlagsvariabilität und Wassermanagement



Stausee „El Mansour Eddahbi“ bei Ouarzazate.

### **Problemstellung**

Von Seiten des Wassermanagements wird oft der Wunsch nach einer saisonalen Vorhersage des Niederschlags bzw. des Abflusses vorgetragen. In den trockenen Jahren wird der im Speicherbecken „El Mansour Eddahbi“ bei Ouarzazate gesammelte Wasser-Überschuss der feuchteren Jahre zu einem Puffer für die Wasserversorgung vor allem im ariden Süden des Drâatales. Anzahl und Stärke der Lâchers könnten effizienter gewählt werden, wenn eine saisonale Vorhersage des Niederschlags vorläge. Natürlich ist eine solche Vorhersage – gerade im Einflussbereich der Nordatlantik-Oszillation (NAO) – sehr schwierig und mit großer Unsicherheit behaftet. Zwei Umstände lassen jedoch ein solches Unterfangen in günstigerem Licht erscheinen: Die Analyse langjähriger Niederschlagsreihen in Marokko hat gezeigt, dass trockene und feuchte Jahre nicht vollkommen erratisch auftreten, sondern dass der Jahresniederschlag eine Erhaltungsneigung von 2-4 Jahren besitzt. Zudem besteht ein Zusammenhang des Winterniederschlags mit der Nordatlantischen Meeresoberflächentemperatur (*Sea Surface Temperature, SST*) des vorhergehenden Spätsommers. Beides lässt erwarten, dass die Unsicherheit einer saisonalen Vorhersage ein wenig eingegrenzt werden kann. Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilung können unter Kenntnis der Niederschlagsvariabilität – und damit der Erhaltungsneigung – und der Kopplung mit externen Parametern wie der SST des Nordatlantiks in der Vergangenheit abgeleitet werden. Damit kann die Füllstandsprognose für den Stausee durch Angabe eines Unsicherheitsbereiches verbessert werden.

## Mitarbeiter

**Kai Born**, Henning Busche, Kristina Piecha, Oliver Schulz

## Zielsetzung

Das Ziel in PK Ma-H.4 besteht in der Erstellung einer Wahrscheinlichkeitsaussage zur Vorhersage des Staudamm-Füllstands auf unterschiedlichen Zeitskalen auf der Basis statistisch-dynamischer Modellierung. Als Werkzeug wird zu diesem Zweck das SDSS SRP-Draa entwickelt. Aufgrund der Nähe zu den hydrologischen Modellierungen in PK Ma-H.1 und PK Ma-H.3 ist es angestrebt, die Werkzeuge für die Anwendung zu verknüpfen. Mittelfristige oder saisonale Abflussprognosen, wie sie vor allem in PK Ma-H.3 unternommen werden, und der Nachweis eines Klimaänderungssignals in Ma-H.1 und Ma-L.3 werden durch die hohe interannuelle und auch intrasaisonale Variabilität des Niederschlags deutlich erschwert. Die Definition eines geeigneten Prädiktors, der sich aus der Verteilung der SST im Nordatlantik in der zweiten Hälfte des Vorjahres berechnet, scheint hierbei der wichtigste Fortschritt zu sein. Auf dieser Basis erfolgt mit Hilfe statistischer Modellierung (Tool SMGHydraa, s. u.) die Erstellung artifizieller Niederschlagszeitreihen, mit denen die hydrologischen Modelle in Ma-H1 und Ma-H3 angetrieben werden. Der geringe rechnerische Aufwand, der für die statistische Modellierung nötig ist, erlaubt die einfache Generierung mehrerer Zeitreihen, so dass die Modelle (SDSS HYDRAA und SDSS PRO-RESERV) im Ensemble-Modus betrieben werden können, was eine Unsicherheitsabschätzung erlaubt. Mit Hilfe der statistischen Charakteristika des Niederschlags sowohl aus den Beobachtungen als auch aus den Regional-Klimamodellierungen wird die Realitätsnähe der statistischen Modellierung gewährleistet.

## Modellierung

Die Arbeiten in PK Ma-H.4 münden in der Formulierung des SDSS *Statistical Runoff Prediction for the Drâa Region* (SRP-Draa), auf dessen Basis das Lâcher-Management des Stausees erleichtert werden soll. Hier werden die Modelle aus den bestehenden SDSS HYDRAA (Ma-H.1) und PRO-RES (Ma-H.3) integriert (s. **Abb. III.2.2-17**). Die klimatologischen Randbedingungen – Prädiktor aus Atlantik-SST, aktuelle Schneebedeckung – dienen der Erstellung eines Ensembles von Abflussprognosen. Die Anzahl und Stärke von Lâchers ist frei wählbar, Zeitreihen des Stausee-Füllstands und der Unsicherheitsbereich liefern die Entscheidungshilfe zur Auswahl eines passenden Lâcher-Managements. Die hydrologischen Modelle zur Abflussberechnung werden hierbei von statistisch erzeugten Daten entweder einer saisonalen Prognose oder eines Szenarios angetrieben. Diese Antriebsdaten werden in dem Werkzeug SMGHydraa erzeugt. Im Folgenden wird zunächst der wissenschaftliche Hintergrund, dann das Werkzeug SMGHydraa vorgestellt.



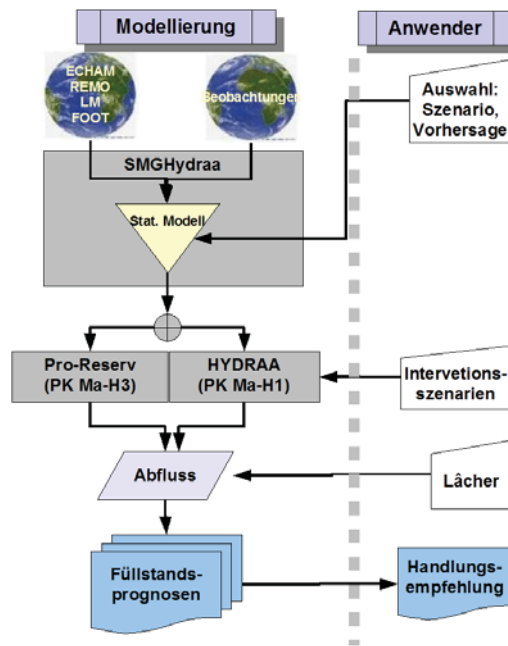


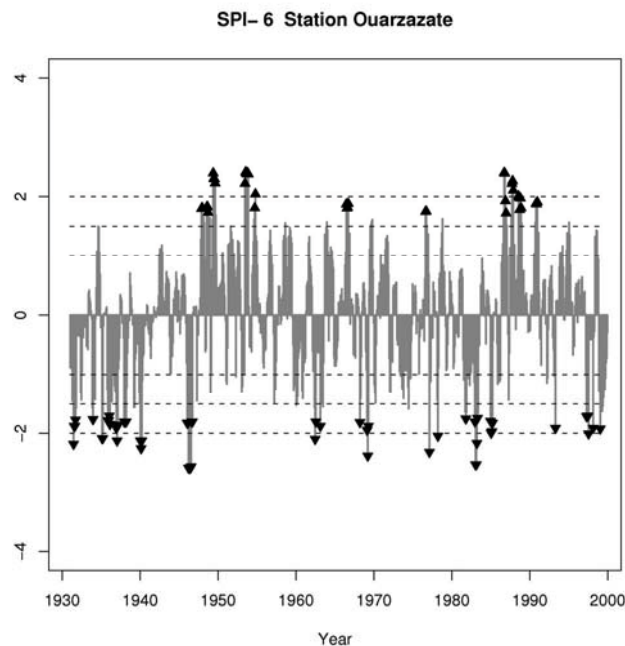
Abb. III.2.2-17: Schema zum Modellierungsansatz in Ma H4

## Stand der bisherigen Arbeiten

### *Wissenschaftlicher Hintergrund*

Saisonale Prognosen des Abflusses, die ein Wassermanagement im Bereich des Stausees „El Mansour Eddahbi“ erleichtern könnten, sind aufgrund der großen Unsicherheit solcher Vorhersagen kaum sinnvoll möglich. Allerdings ist das Potenzial einer solchen Vorhersage bisher noch nicht umfassend ausgeschöpft worden, weil Niederschlagsprognosen auf Zeitskalen von mehr als 10 Tagen nicht möglich sind. Zwei Punkte lassen die saisonale Vorhersage jedoch in günstigerem Licht erscheinen: Zunächst hängt der Füllstand des Stausees weniger von einzelnen Niederschlagsereignissen als von integralen Niederschlägen über das gesamte Einzugsgebiet und über längere Zeiträume ab. Zusätzlich liefert der Speicher in Schneedecken des Hochgebirges einen Puffer, der kurzzeitige Variabilität zumindest teilweise aufzufangen vermag.

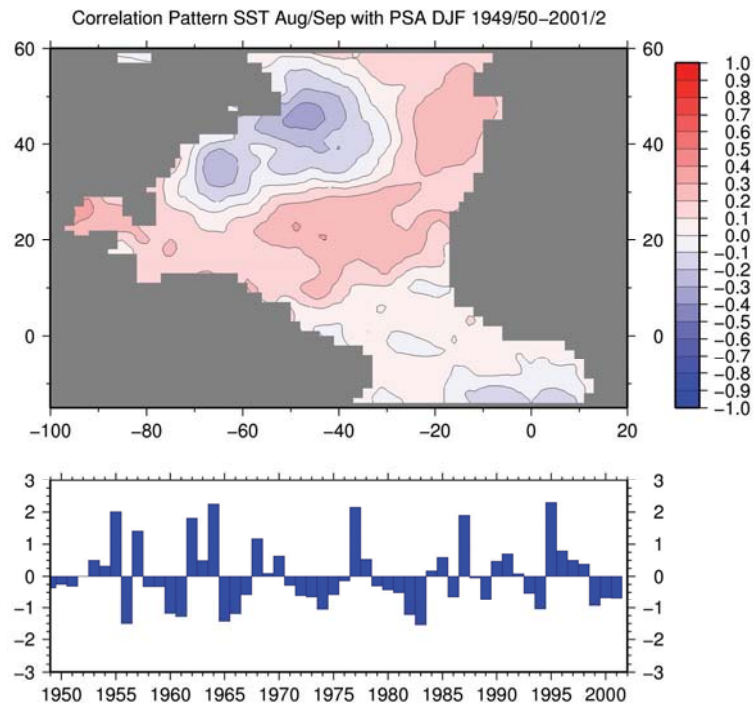
Auf der anderen Seite treten trockene und feuchte Jahre nicht vollkommen erratisch auf, so dass ein leichte Erhaltungsneigung des saisonalen Niederschlags besteht, was man unschwer an Zeitreihen des *Standardized Precipitation Index* (SPI, nach McKee et al., 1993, vielfach im Bereich von Niederschlagsklimatologie and gewandt, z. B. auch Bordi et al., 2006) für den Niederschlag an der Station Ouarzazate erkennen kann (Abb. III.2.2-18).



**Abb. III.2.2-18:** Der Standardized Precipitation Index (SPI) für die Station Ouarzazate liefert einen Index für Trocken- und Feuchtperioden. Die Abszisse zeigt Jahre, die Ordinate die Anomalie in Einheiten der Standardabweichung an. Besonders trockene Jahre sind negativ, feuchte positiv. Allgemein wird ein Jahr als Extrem angesehen, wenn der SPI mehr als 1.7 Standardabweichungen beträgt. Die zeitliche Häufung großer bzw. kleiner Werte fällt dabei ins Auge.

Zusätzlich ist ein Zusammenhang zwischen der atlantischen *Sea Surface Temperature* (SST) des Spätsommers und dem Winterniederschlag südlich des Atlasgebirges erkennbar, wie die Musterkorrelationen der SST im Aug/Sep mit dem Niederschlag südlich des Atlasgebirges für die Wintermonate belegt (**Abb. III.2.2-19**). Eine Indexreihe für das Korrelationsmuster scheint deshalb ein wirkungsvollerer Prädiktor für die Abschätzung des zu erwartenden Niederschlags als beispielsweise die Nordatlantik-Oszillation (NAO) zu sein, weil letztere trotz des deutlichen Zusammenhangs mit dem Abfluss (ABB) wegen der fehlenden zeitlichen Verschiebung und der schlechten Vorhersagbarkeit des NAO-Indexes kaum Vorhersagepotenzial besitzt. Allerdings konnte die bei Hertig und Jacobeit (2006) postulierte statistische Güte mit den vorliegenden Daten zunächst nicht bestätigt werden.

Interessant für die saisonale Vorhersagbarkeit des Winterniederschlags ist dabei die Tatsache, dass die SST-Muster der Korrelationen mit dem Winterniederschlag wesentlich deutlicher ausgeprägt sind als für die Winter-SST. Im Jahrgang des Korrelationsmusters ist zu erkennen, dass der Winterniederschlag von einem NAO-verwandten Muster im Spätsommer, aber von einem eher subtropisch-tropischen SST-Muster im Herbst determiniert wird. Eine wissenschaftliche Aufgabe in der Entwicklung dieses Problemkomplexes wird es sein, diese Informationen in einer passenden Indexreihe zu verbinden.



**Abb. III.2.2-19:** Korrelationsmuster der Meeresoberflächentemperatur(SST, oben) mit der Zeitreihe des Winterniederschlags südlich des Atlasgebirges (unten, aus CRU-Daten, Mitchell and Jones, 2005).

Trotz dieser Erkenntnisse ist eine saisonale Vorhersage natürlich mit großer Unsicherheit behaftet. Eine Quantifizierung derselben ermöglicht erst eine Einschätzung des Werts einer saisonalen Abflussprognose, den die Füllstandsprognose des Stausees für das Wassermanagement besitzen kann.

### **Das Modellierungswerkzeug SMGHydraa**

Für die Übergabe eines SDSS in programmierter Form ist es wegen der großen Datenmengen nicht praktikabel, die Modelldaten als Zeitreihen an entsprechend hoch aufgelösten Gitterpunkten vorzugeben. Vielmehr werden mit Hilfe eines Wettergenerators (*Statistical Model for the Generation of Climate Data for Hydrological Applications in the Draa Region*, SMGHydraa) aus den statistischen Kenngrößen der beobachteten bzw. im Rahmen der Modellkette simulierten meteorologischen Daten mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation Zeitreihen erzeugt. Diese Methode erlaubt zugleich, Eingangsdaten mit einem realistischen Unsicherheitsbereich im Ensemble-Mode ohne aufwendige zusätzliche Anwendung von Klimamodellen zu erzeugen. Der Programmablauf ist in **Abb. III.2.2-20** dargestellt.

Aus bekannten empirischen Verteilungen für die Anomalien vom mittleren Jahresgang, entweder aus Modell- oder Beobachtungsdaten, werden mit Hilfe eines Kernel-Schätzers die Parameter passender theoretischer Verteilungen berechnet, welche die Daten ausreichend gut wiedergeben. Als Eingabe sollen hierbei Daten aus jeder Teilstufe der meteorologischen Modellkette verwendet werden, weil die statistischen Parameter mit Hilfe der Stationsdaten angepasst werden. Dabei werden zunächst nur maximal drei-parametrische Verteilungen – sie lassen sich durch den Skalenparameter, den Formparameter und die Schiefe beschreiben – verwendet, um Anomalien von einem mittleren Jahresgang zu beschreiben. Unter Berücksichtigung der Lage und der orographischen Eigenschaften

der Umgebung werden die Parameter für die Fläche dargestellt. Anschließend werden aus den Klimasimulationen die langjährigen Trends der Parameter – entweder als lineare Trends oder als Polynom-Fit – ebenfalls in der Fläche verteilt, dargestellt. Das statistische Modell besteht im Kern aus einem Zufallsgenerator, dessen Ausgabe auf die passenden Verteilungen transformiert wird, um so unter Kenntnis der Verteilungs-Parameter entsprechende künstliche Zeitreihen zu erzeugen. Dabei ist in der Vorgehensweise die unterschiedliche Natur der modellierten Parameter zu berücksichtigen. Das lässt sich anhand zweier Beispiele erläutern:

#### Beispiel 1: Temperatur

- Bestimmung des mittleren Jahresganges
- Berechnung der Kenngrößen einer 3-parametrischen Verteilung der Anomalien vom mittleren Jahresgang
- Berechnung der Trends, maximal als Polynom 3. Grades
- Erzeugen einer Zufallszahlen-Verteilung (kontinuierlich zw. 0 und 1 verteilt)
- Transformation mit Box-Muller-Verfahren in Gauß-Normalverteilung
- Ggf. Transformation in schiefe Verteilung (Weibull, Gumbel etc.)

#### Beispiel 2: Niederschlag

- Bestimmung des mittleren Jahresganges der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Niederschlagstages
- Bestimmung der Verteilung für die Anzahl aufeinanderfolgender Regentage
- Bestimmung der Verteilung der Regensummen pro Tag
- Berechnung der Trends für die Parameter der o. g. Verteilungen
- Statistische Modellierung wie unter den Punkten 4.-6. des ersten Beispiels

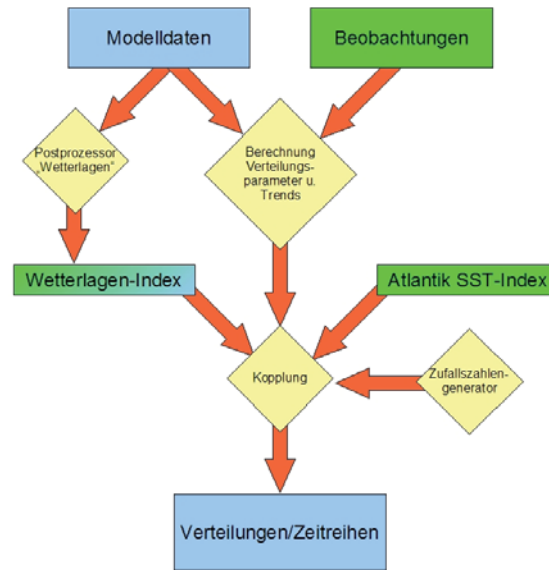


Abb. III.2.2-20: Darstellung des Programmablaufs in SMGHydraa.

In der ersten Ausbaustufe werden die Verteilungen unabhängig behandelt. In der zweiten Ausbaustufe wird der Niederschlag an die Temperaturanomalie gekoppelt (ebenfalls durch Regression), was in der endgültigen Fassung durch die Anknüpfung an die in Ma-H5 erstellte Wetterlagen-Statistik geschieht. Durch diese Kopplungen wird zunächst dem Umstand Rechnung getragen, dass Regen oft mit Frontdurchgängen oder Advektion maritimer Luftmassen zusammenhängt (Knipertz, 2003). Eine weitere Verbindung, die den Vorhersageskill des statistischen Modells für die saisonale Prognose erhöhen soll, wird mit dem Index der Atlantik-SST des Spätsommers im Vorjahr hergestellt.

### Meilensteine

Weil SPR-Draa auf die Anwendung der SDSS-Werkzeuge Pro-Reserv und HYDRAA angewiesen ist, wurde die programmbezogene Entwicklung in die zweite Jahreshälfte 2007 verlegt, so dass es Beginn 2008 zu einer Anwendungsreife kommen kann. Die Meilensteine haben sich durch diese Entscheidung etwas verlagert:

#### ***Bis Ende 2006:***

- Die Implementation der ersten Version der Klimadaten-Tabellen wurde vorgenommen. Dabei fielen allerdings noch Schwachpunkte in der Kopplung auf die behoben werden müssen.
- Sensitivitätstests des Modellkomplexes konnten bisher noch nicht vorgenommen werden

#### ***2007:***

- Entwicklung von SMGHydraa bis spätestens zur Jahresmitte
- Programmtechnische Entwicklung des SDSS SRP-Draa
- Sensitivitätstests, die im Rahmen der Entwicklung stattfinden können.

- Abschätzung der Auswirkungen von Klimaszenarien
- Abschätzung der Unsicherheiten und Anwendbarkeitsgrenzen
- Vorstellung bei Stakeholder in der zweiten Jahreshälfte (gemeinsam mit den Capacity building Maßnahmen für PK Ma-H.1 und Ma-H.3 im Herbst)

***Bis Ende 2008:***

- Anwenderschulung
- Aufbau für operationelle Einsatzfähigkeit

**Literatur**

- Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta, and A. Sutera, 2006: Extreme value analysis of wet and dry periods in Sicily. *Theor. Appl. Climat.* **87**, 61-71 .
- Hertig, E. und J. Jacobeit, 2006: Seasonal Prediction of Mediterranean temperature and precipitation anomalies by statistical ensembles. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8.
- Knippertz, P., 2003: Tropical–Extratropical Interactions Causing Precipitation in Northwest Africa: Statistical Analysis and Seasonal Variations, *Mon. Wea. Rev.* **131**, 3069-3076.
- Mitchell, T. D., and P. D. Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, **25**, 693–712.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.



## PK Ma-H.5 Auswirkung von Klimawandel und veränderter Wassernutzung auf den Niederschlag und die Verdunstung



Überschussbewässerung in der Flussoase, auch gerne als „Ozean der Palmen“ bezeichnet, in der Nähe von Agdz. Die bewässerte Fläche ist deutlich an der dunklen Färbung zu erkennen (Foto: Born).

### **Problemstellung**

Für klimatologische Zeiträume ( $\geq 30$  Jahre) mit gleichzeitig hoher räumlicher Auflösung ( $\leq 3$  km) sind Niederschlag und Verdunstung weder aus Messungen noch aus Simulationen für die Region verfügbar. Auf diesen Skalen sind jedoch präzise Informationen zum Verständnis des aktuellen Klimas und zur Abschätzung möglicher zukünftiger Entwicklungen unerlässlich. Interdisziplinäre Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen z.B. Bevölkerungswachstum, Landnutzung, Hydrologie und Klima sind notwendig, um Änderungen realistisch einschätzen zu können. Besonders für Fragen der Erosion und der Niederschlagseinträge in verschiedene hydrologische Einzugsgebiete ist eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung der meteorologischen Daten unerlässlich.

### **Mitarbeiter**

**Kristina Piecha**, Kai Born, Tim Brücher, Henning Busche, Andreas Roth, Oliver Schulz, Anna Zeyen



### Zielsetzung

Im PK Ma-H.5 war die Zielsetzung des Jahres 2006 auf die Erstellung eines Katasters für das nördliche Simulationsgebiet (Hoher Atlas) ausgerichtet, um die Anwendung des mesoskaligen Modells FOOT3DK auch in diesem Gebiet zu ermöglichen und eine Anpassung an die neu vorgesehenen 17 Landnutzungsklassen vorzunehmen. Bisher waren maximal 10 Landnutzungsklassen in FOOT3DK implementiert. Die Anpassung wird im Hinblick auf die Erstellung von Niederschlags- und Verdunstungsklimatologien für den Hohen Atlas durchgeführt, die dann ebenso, wie die Klimatologien für die Oasen des mittleren Drâa-Tals, durch statistisch-dynamisches Downscaling auf Grundlage einer Rekombination von Episodensimulationen erstellt werden.

Darüber hinaus wurde damit begonnen ein Grundkonzept für das bereitzustellende SDSS zu entwickeln, das auf den mit FOOT3DK erstellten Klimatologien basieren soll.

### Modellierung

Angetrieben durch die meteorologische Modellkette werden mit dem hochauflösenden Atmosphärenmodell FOOT3DK Episodensimulationen durchgeführt. Statistische Informationen über das derzeitige Klima, sowie über verschiedene Szenarien (Änderungen des Klimas, des Grundwasserspiegels, der Landnutzung, der Bewässerung, der Bevölkerungsdynamik oder der wirtschaftlichen Entwicklung) gehen in die Regionalisierung und in die Episodensimulationen ein. Daraus werden klimatologische Entwicklungen von Niederschlag und Verdunstung als Ergebnisse (Szenario 1 bis 4, siehe **Abb. III.2.2-21**) der verschiedenen Inputsznarien oder Kombinationen von Inputsznarien berechnet.

Die Methode der statistisch-dynamischen Regionalisierung (*engl.: „Statistical-dynamical Downscaling“*; vgl. Fuentes und Heimann, 2000; Heimann, 2001) besteht aus zwei Teilen: zunächst wird ein großskaliges Antriebsfeld gesucht, das in globalen Modellen gut wiedergegeben wird und mit der zu untersuchenden Größe auf der kleinen Skala eng korreliert ist. Im nächsten Schritt werden alle zu untersuchenden Termine in für die Fragestellung relevante Gruppen eingeteilt. Schließlich werden typische Vertreter (Repräsentanten) der Gruppen mittels dynamischen „Nestings“ mit einem hochauflösenden Modell simuliert und die resultierenden Simulationsergebnisse nach Vorgabe der statistischen Verteilung der Gruppen, für welche die Repräsentanten stehen, rekombiniert. Das Prinzip der statistisch-dynamischen Regionalisierung ist in **Abb. III.2.2-21** schematisch dargestellt.

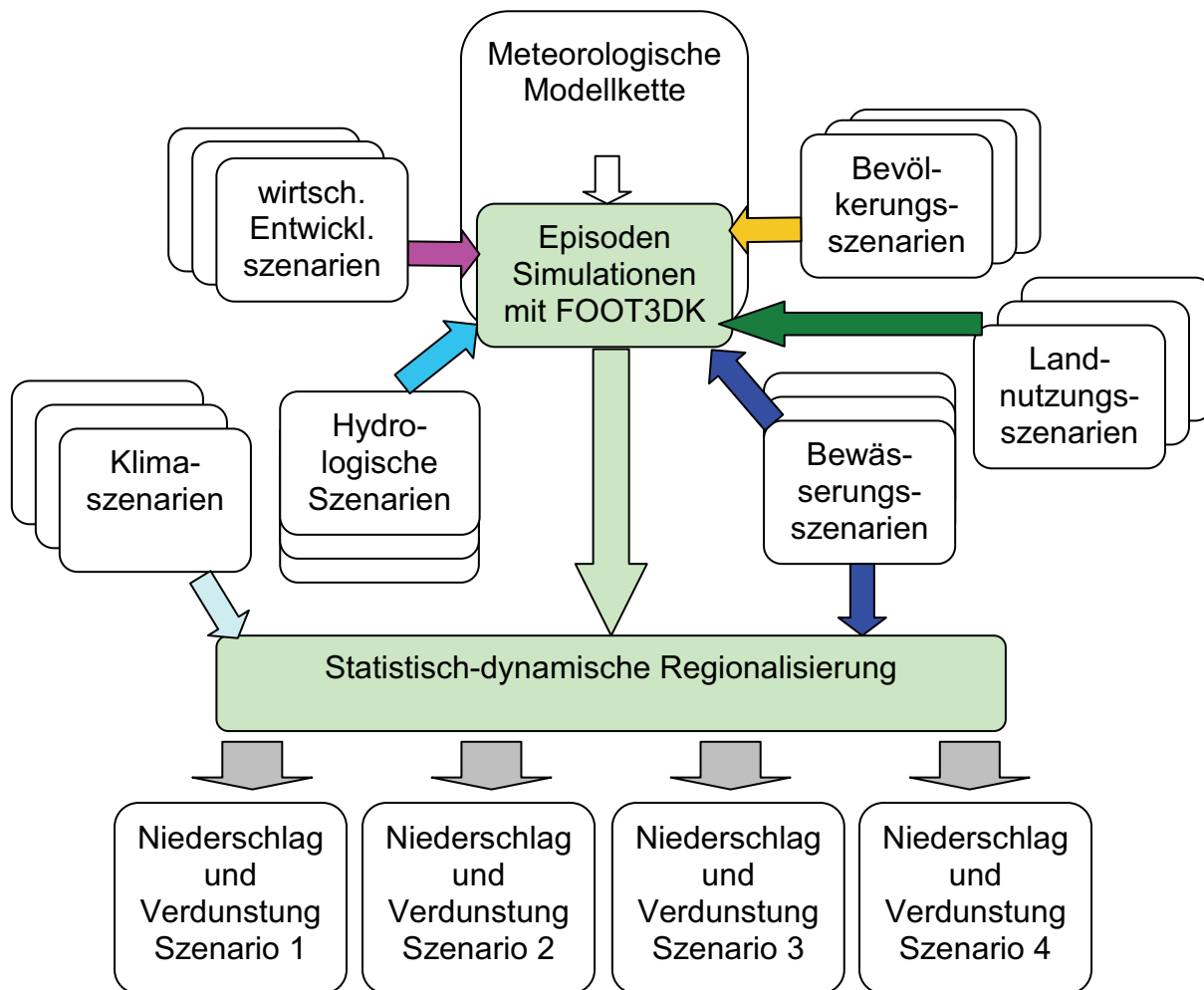
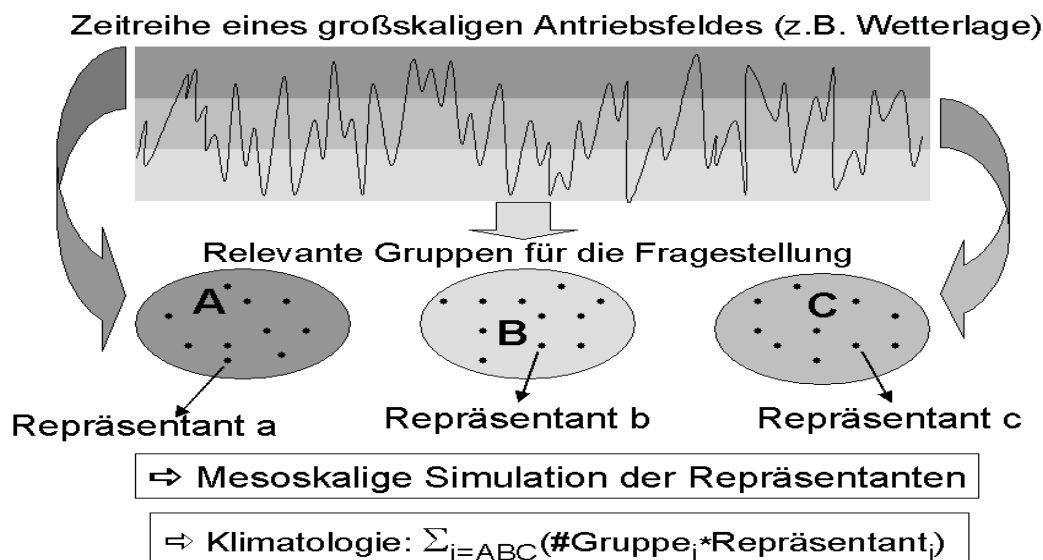


Abb. III.2.2-21: Blockdiagramm des Modellierungsansatzes

Für die vorliegende Fragestellung werden als Antriebsfelder auf der großen Skala Windrichtungsklassen aus dem Druckfeldern berechnet. Diese werden zu Gruppen zusammengefasst, die gemeinsame synoptische Charakteristiken aufweisen und typische Vertreter (einzelne Tage) der verschiedenen Gruppen werden ausgewählt. Für diese Vertreter (Repräsentanten) werden mittels einer meteorologischen Modellkette hochaufgelöste Simulationen mit dem mesoskaligen Modell FOOT3DK mit einer horizontalen Auflösung von 3 km durchgeführt. Weitere Informationen über das nicht-hydrostatische prognostische Atmosphärenmodell mit angeschlossenen SVAT Bodenmodul finden sich z.B. in Shao et al., 2001 und Hübener et al., 2007. Die nachsimulierten Repräsentanten werden gewichtet mit der Auftretshäufigkeit der Gruppe, für die sie stehen, und zu einer Klimatologie re-kombiniert.

Für das mittlere Drâa-Tal sind die notwendigen Anpassungen des Modells an die lokalen Gegebenheiten (Bewässerung in den Oasen, Grundwasser in tiefen Bodenschichten) abgeschlossen. Für das obere Drâa-Tal werden noch Sensitivitätsstudien durchgeführt und Modellanpassungen für die lokalen Gegebenheiten (sehr steile Orographie verursacht ausgeprägte Berg-Tal-Wind Systeme, Schneefall mit Einfluss auf Versickerungsdynamik und Albedo, starke konvektive Prozesse durch Aufheizung der hochgelegenen Flächen im Sommer, etc.) entwickelt und umgesetzt. Die Episodensimulationen zur Erstellung der aktuellen Klimatologie und der Klimaszenarien sind für den südlichen

Bereich bereits durchgeführt und die Klimaszenarien IS92a und SRES A1B sind erstellt. Die Auswertungen der anderen Szenarien müssen auch für den südlichen Bereich (südlich des Staudamms) noch umgesetzt werden.



**Abb. III.2.2-22:** Graphische Darstellung des Verfahrens der statistisch-dynamischen Regionalisierung

Im nördlichen Bereich (Hoher Atlas) muss überprüft werden, ob die für den Süden verwendetet Statistik auch dort angewendet werden kann. Problematisch ist dabei die vertikale Erstreckung des Hohen Atlas. Sie kann zu Störungen im großskaligen Druckfeld führen kann, was die Klassifikation der Wetterlagen verfälschen könnte. Die Klassifikation der Wetterlagen könnte für dieses Gebiet über die geopotentielle Höhe in 700 hPa vorgenommen werden. Genauere Studien dazu sind noch durchzuführen, ebenso wie sämtliche Episodensimulationen für dieses Gebiet.

### Stand der bisherigen Arbeiten

In den ersten beiden Projektphasen wurde zunächst die Modellkette etabliert und anhand von Sensitivitätsstudien die Anwendbarkeit von FOOT3DK im südlichen Untersuchungsgebiet nachgewiesen. Verschiedene Anpassungen (z.B. Einführung einer Methode die Bewässerung in den Oasen darzustellen, sowie die Implementierung eines tief liegenden Grundwasserspeichers) wurden umgesetzt, um die realen Bedingungen im Untersuchungsgebiet angemessen abzubilden. Das Modell FOOT3DK ist somit für das südliche Gebiet einsatzfähig. Für das nördliche Einzugsgebiet (Hoher Atlas) müssen noch Sensitivitätsstudien durchgeführt und ggf. notwendige Modellanpassungen realisiert werden. Die theoretischen Vorarbeiten zur Anwendung der Methode der statistisch-dynamischen Regionalisierung wurden für das Oasengebiet südlich des Atlas durchgeführt, um den Nachweis zu erbringen, dass die verwendeten großskaligen Felder (Zirkulationsklassen, engl.: „Circulation Weather Types CWTs), berechnet aus täglichen Bodendruckfeldern) tatsächlich einen relevanten Zusammenhang mit den zu untersuchenden Größen (Verdunstung und Niederschlag) im Untersuchungsgebiet zeigen. Die Analyse der CWTs und die Einordnung in niederschlagsrelevante

Gruppen ist für die Oasen des mittleren Drâa-Tals abgeschlossen und aus den zur Verfügung stehenden LM-Simulationen wurden geeignete Repräsentanten der einzelnen Gruppen mit Hilfe einer Kombination aus objektiven und subjektiven Kriterien ausgewählt. Die Eignung der Repräsentanten und der Methode wurde in einem zusätzlichen Schritt für dieses Gebiet für einzelne Jahre untersucht und (soweit möglich) mit Messdaten aus dem Untersuchungsgebiet validiert. Eine aktuelle Klimatologie für das südliche Untersuchungsgebiet wurde auf Basis von NCEP-Reanalysen für den Zeitraum 1958-1997 berechnet. Für dieses Gebiet sind auch bereits Klimatologien des Niederschlages und der Verdunstung für zwei verschiedene Klimaszenarien (IS92a und SRES A1B) erstellt. Theoretische Vorarbeiten zur Umsetzung der Szenarien der anderen Disziplinen (z.B. Bevölkerungsdynamik) sind bereits erfolgt, bei Fertigstellung der entsprechenden Szenarien kann daher direkt mit deren Umsetzung in FOOT3DK Modellparameter begonnen werden. Das Kataster für das nördliche Simulationsgebiet wurde bereitgestellt, so dass 2007 mit den Sensitivitätsstudien für den Hohen Atlas begonnen werden konnte.

### ***Kataster***

Das Kataster für den Hohen Atlas und das Becken von Ouarzazate wurde aus USGS-Daten, die mit 1km Auflösung vorliegen (**Abb. III.2.2-23**), erstellt und auf die für FOOT3DK im Hohen Atlas benötigte Auflösung von 3 km aggregiert (**Abb. III.2.2-24**). Das Kataster beinhaltet 17 Landnutzungsklassen, von denen im Modellgebiet „Hoher Atlas“ jedoch nicht alle vorkommen.

Zunächst werden die Simulationen für eine Teilregion des Hohen Atlas durchgeführt. Zu diesem Zweck wird das für FOOT3DK bereitgestellte Kataster zugeschnitten und die Simulationen wie bereits beschrieben durchgeführt. Die dem Kataster zugrunde liegenden und an FOOT3DK übergebenen Parameter sind zusätzlich auch noch in **Tab. III.2-4** dargestellt.

DGM/Vegetation Originaldaten, 1km Aufl.

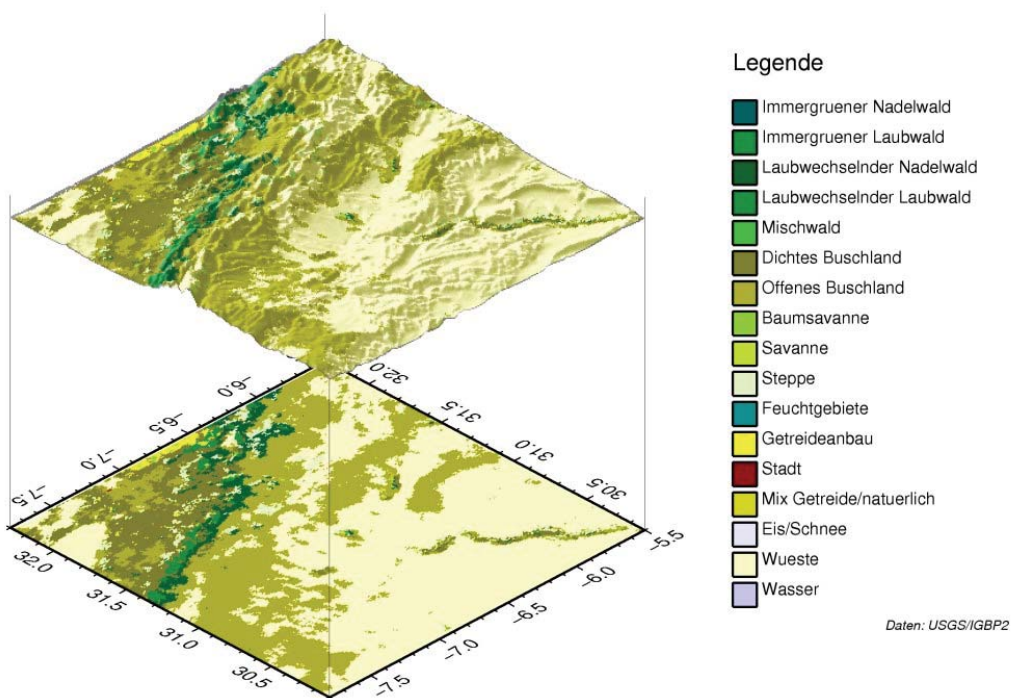


Abb. III.2.2-23: Kataster auf Basis von USGS-Daten mit der Originalauflösung von 1km

FOOT-Kataster, 3km Aufl.

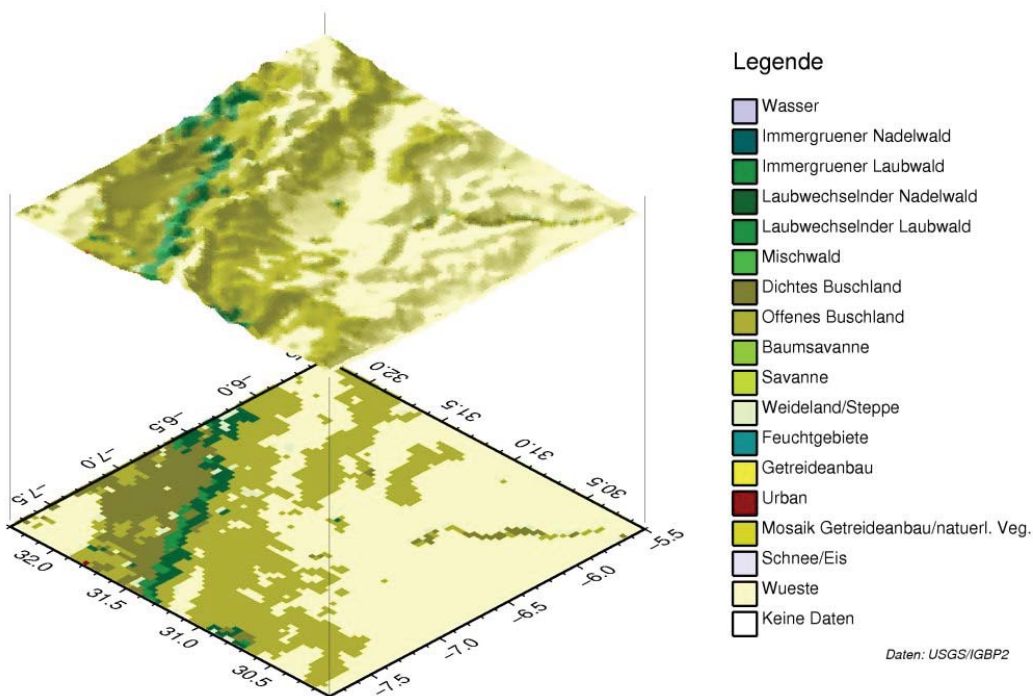


Abb. III.2.2-24: Kataster auf Basis von USGS-Daten interpoliert auf 3km Auflösung

Tab. III.2-4: Übersicht der Eigenschaften von Landnutzungsklassen in FOOT

Landnutzungs- klasse	Rauhig- keitslänge	Wärme- kapazität	Leitfähig- keit	Albedo	Versiege- lungsgrad	Vegetationsbedeckung		Blattflächenindex		Stomata- widerstand
						Sommer	Winter	Maximal	Minimal	
Einheiten	cm	MJ/(m³ K)	W/(mK)							s/m
Wasser	0.001	4.2	100.	0.10	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Nadelwald (immergrün)	1.	2.2	1.3	0.15	0.	0.96	0.86	9.2	9.2	100.
Laubwald (immergrün)	0.68	2.2	1.3	0.15	0.	0.99	0.89	9.9	9.9	150.
Nadelwald (saisonal)	1.	2.2	1.3	0.15	0.	0.96	0.66	3.6	0.01	100.
Laubwald (saisonal)	1.	2.2	1.3	0.15	0.	0.88	0.58	5.2	0.01	150.
Mischwald	0.68	2.2	1.3	0.15	0.	0.93	0.73	7.	0.01	130.
Dichtes Buschland	0.26	2.0	1.3	0.15	0.	0.80	0.60	1.71	0.01	150.
Offenes Buschland	0.005	2.0	1.3	0.18	0.	0.50	0.20	0.83	0.01	150.
Baumsavanne	0.5	2.0	1.3	0.18	0.	0.80	0.50	5.1	0.01	150.
Savanne	0.3	2.0	1.3	0.20	0.	0.80	0.50	3.	0.01	130.
Steppe	0.03	2.0	1.3	0.20	0.	0.53	0.04	1.5	0.01	80.
Feuchtgebiete	0.03	2.0	1.3	0.15	0.	0.73	0.67	3.5	0.01	100.
Getreide	0.05	2.0	1.3	0.18	0.	0.8	0.2	2.7	0.01	100.
Stadt	2.5	2.0	1.3	0.15	1.	0.	0.	0.	0.	0.
Getreide/natürlich gemischt	0.1	2.0	1.3	0.18	0.	0.8	0.4	2.7	0.01	100.
Schnee/Eis	0.001	2.0	1.3	0.75	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Wüste	0.005	2.0	1.3	0.30	0.	0.	0.	0.	0.	20.

Erste Simulationen im Hohen Atlas

Zur Modellvalidierung wurden erste Simulationen im Hohen Atlas für den nördlichsten Bereich des Einzugsgebiets des Drâa verwendet. Hierfür wurde eine Episode verwendet, in deren Verlauf es zu Niederschlägen in der fraglichen Region kam (08.03.2002, Abb. III.2.2-25: Täglicher akkumulierter Niederschlag des 08.03.02 mit FOOT3DK simuliert). Zum Vergleich wurden Niederschlagsmessungen der IMPETUS-Klimastationen für den simulierten Bereich herangezogen.

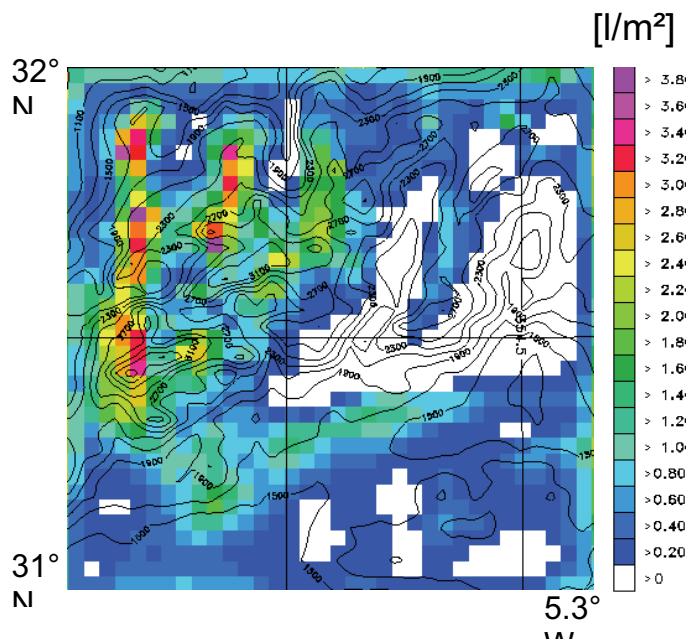
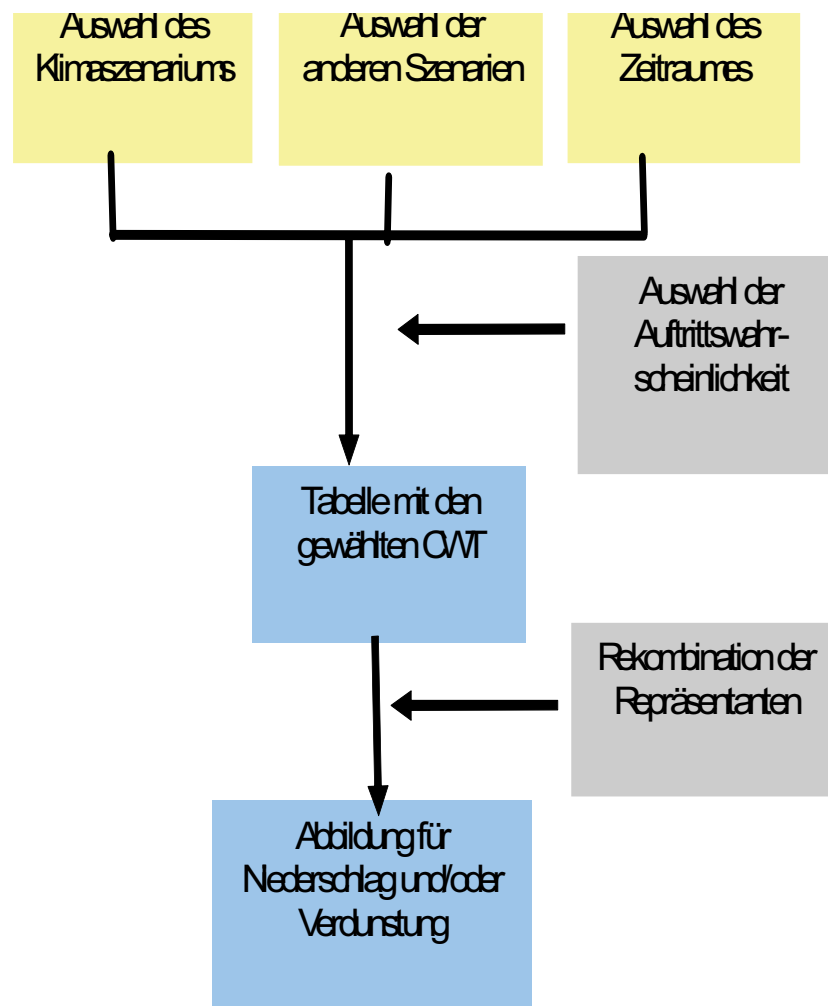


Abb. III.2.2-25: Täglicher akkumulierter Niederschlag des 08.03.02 mit FOOT3DK simuliert

Der Vergleich des modellierten und des gemessenen Niederschlags zeigt eine gute Übereinstimmung. Das Modell scheint somit für dieses Gebiet einsatzfähig zu sein. Dennoch erfordert diese Aussage noch weitere Sensitivitätsstudien. Ob das statistisch-dynamische Downscaling für dieses Gebiet auf Basis von Bodendruckdaten zur Anwendung kommt, muss noch geprüft werden.

### *Spatial Decision Support System (SDSS)*

Das hier vorgestellte Decision Support System (schematisch in **Abb. Ma-H5.6**) soll die Frage beantworten, welche möglichen Entwicklungen es unter der Berücksichtigung verschiedener Voraussetzungen für Niederschlag und Verdunstung gibt. Es trägt den Titel „Niederschlag und Verdunstung - mögliche zukünftige Entwicklungen“ (IMPETUS-Développements possibles de l'Évapotranspiration et de la Précipitation dans le Domaine du **Drâa**: IDEP-DRAA). Die erste „schlanke Version“ soll im Dezember 2007 fertig gestellt werden.



**Abb. III.2.2-26:** Schematische Darstellung des SDSS



Zu diesem Zweck sollen dem Nutzer die folgenden Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen: Zum Einen kann der Nutzer ein mögliches Klimaszenarium auswählen. Zusätzlich wird ihm die Möglichkeit gegeben, zwischen einer unterschiedlichen Anzahl von Lächers pro Jahr und einer geänderten Landnutzung zu wählen (diese Option gilt aber nur für den Oasenbereich südlich des Atlas). Außerdem wird die Wahl des zu betrachtenden Zeitraums freigestellt. Nachdem der Benutzer eine für sich optimierte Auswahl getroffen hat, werden SDSS intern die Auftrittshäufigkeiten für den gewählten Zeitraum zusammengestellt und als Tabelle und/oder Grafik ausgegeben. Auf Basis der so angegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung wird dem Benutzer dann eine Klimatologie oder Zeitreihe in Form einer Abbildung und/oder Tabelle erstellt. Dieses SDSS-Ergebnis kann bereits als Informationsquelle genutzt, oder in weitere Simulationen integriert werden.

Ein erster Kontakt mit der ORMVAO wurde durch die informelle Vorstellung des PKs in Marokko bereits hergestellt und es wurde Interesse an den Resultaten bekundet. Dieser Kontakt soll in der Folge intensiviert werden. Eine erste Maßnahme hierzu soll der geplante Werbeflyer sein, der aber auch anderen Stellen zukommen soll, um die Inhalte des SDSS bekannt zu machen.

### **Literatur**

- Fuentes, U.; Heimann, D., 2000: An improved statistical-dynamical *downscaling* scheme and its application to the Alpine precipitation climatology. *Theor. Appl. Climatol.*, 65, 119-135
- Heimann, D., 2001: A model-based wind climatology for the eastern Adriatic coast. *Meteorologische Zeitschrift*, 10, 5-16
- Hübener, H.; Schmidt, M.; Sogalla, M.; Kerschgens, M., 2005: Simulating Evapotranspiration in a Semi-Arid Environment. *Theor. Appl. Climatol.*, 80, 153-167
- Hübener, H., Kerschgens, M., 2007: Downscaling of current and future rainfall climatologies for southern Morocco. Part I: Downscaling method and current climatology. In press *Int. J. Climatology*
- Hübener, H., Kerschgens, M., 2007: Downscaling of current and future rainfall climatologies for southern Morocco. Part II: Climate change signals. Published online first. *Int. J. Climatology*, DOI 10.1002/joc.1457
- Hübener, H., Kerschgens, M., 2007: Downscaling heavy rainfall in the subtropics - A simple approach for dynamical nesting. Submitted *Advances in Geophysical Research*
- Shao, Y.; Sogalla, M.; Kerschgens, M.; and Brücher, W., 2001: Effects of land surface heterogeneity upon surface fluxes and turbulent conditions. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 78, 157-181



### III.2.3 Landnutzung

#### PK Ma-L.1 Strategien der Landnutzung unter limitierten Wasserressourcen im Zentralen Hohen Atlas



Pflügen eines Feldes im Hohen Atlas

#### **Problemstellung**

Strategien der Landnutzung im Zentralen Hohen Atlas umfassen die beiden Bereiche Anbau und Viehzucht, die in der gesamten Region von Spezialisten betrieben werden. Sie stellen sich ergänzende Wirtschaftsweisen dar, die unterschiedliche Nischen im Ökosystem nutzen. Die Attraktivität der transhumanten Weidewirtschaft hat allerdings in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen, was zu einer Veränderung der Nutzungsmuster führte (vgl. El Alaoui 2002: 8ff.). Dorfnahe Weideflächen werden heute stärker beansprucht, was sich auch auf den Umgang mit Kollektivland auswirkt. Während an der feuchteren Nordflanke des Atlas-Gebirges auf Kollektivland auch Regenfeldbau betrieben wird (vgl. Kraus 1991: 55-56 und 73-76), ist im Arbeitsgebiet des PK am Südrand des Gebirges Kollektivland fast ausschließlich Weideland.

In der gesamten Region kommt es, wie in anderen Teilen des Drâa-Einzugsgebietes auch, immer wieder zu Engpässen bei der Versorgung mit Wasser für die Landwirtschaft und Futterpflanzen für die Tiere. Neben den natürlichen saisonalen Schwankungen wirken sich vor allem die starken interannuellen Veränderungen der Wasserverfügbarkeit negativ auf Anbau und Tierhaltung aus. Die Untersuchungen im **PK Ma-L.1** gehen davon aus, dass die tatsächliche Wasserverfügbarkeit sowie die Wasser- und Weidenutzung nicht nur von naturräumlichen Faktoren bestimmt werden, sondern zu einem wichtigen Teil vom sozialen und politischen Handeln der Akteure vor Ort abhängig sind. Die tatsächlich in einem Anbaugebiet verfügbaren Ressourcen hängen also sowohl von der naturräumlich bedingten lokalen Wasserverfügbarkeit als auch von historisch gewachsenen und sozial kon-

trollierten Verfahren der Wasserverteilung ab. Letztere wurden im PK sozialwissenschaftlich untersucht und mit den Ergebnissen naturwissenschaftlicher Untersuchungen und Modellierungen korreliert.

### Mitarbeiter

**Holger Kirscht**, Andreas Roth, Anja Linstädter, Gisela Baumann, Stephan Platt, Oliver Jakoby, B. Fehling

### Zielsetzung

#### *Interdisziplinäre Arbeiten im Teileinzugsgebiet Ifre*

Fokus der Untersuchungen ist das hydrologische Teileinzugsgebiet Ifre (**Abb. III.2.3-2**). Hier werden exemplarisch die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen natürlicher Wasserverfügbarkeit und anthropogen gestalteter Wasser- und Weidenutzung untersucht. Darüber hinaus wird die Bandbreite aktueller Strategien erfasst und die Wasserverfügbarkeit, der Wasserverbrauch und der Zustand der Weideflächen im Jahresgang quantifiziert. Mit einer Simulation des Einflusses der Beweidung auf die Vegetationsdynamik soll das in dieser ökologischen und ökonomischen Nische vorhandene Potential erschlossen und für die Nutzer eines Informations-Systems aufbereitet werden. Hier zeigen sich deutliche Schnittstellen und Synergieeffekte mit den Arbeiten in anderen PKs. Vor allem die **PKs Ma-H.1** „Natürliche und anthropogene Einflüsse auf die Dynamik von Wasserressourcen im Drâa-Einzugsgebiet“, **Ma-L.2**, „Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimawandel auf die Resilienz und Regenerationsfähigkeit der Vegetation in Südmarokko“ sowie **Ma-G.2** „Wasser- und Weidenutzung im Spannungsfeld zwischen traditionellen Entscheidungsprozessen und staatlichen Institutionen“ liefern wichtige inhaltliche oder methodische Beiträge zur vorliegenden Arbeit.

Die Analyse der kulturell determinierten Techniken und Managementsysteme, die von der lokalen Bevölkerung entwickelt wurden, um mit den knappen Ressourcen umzugehen, bildet neben der Untersuchung der naturwissenschaftlichen Disziplinen die Ausgangsbasis für die durchgeführten Analysen. Neben einer klimatisch bedingten Veränderung des verfügbaren Wassers hat vor allem die Veränderung der Bevölkerungsstruktur Einfluss auf mögliche Strategien.

Durch die Kombination von naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Systemanalysen werden die vorhandenen Landnutzungsstrategien in einem GIS-basierten Informationssystem dargestellt. In einem dialogischen Prozess mit institutionellen Vertretern der betroffenen Bevölkerung sollen diese Informationen dann den lokalen Entscheidungsträgern zugänglich gemacht werden. Diese können daraus Handlungsstrategien zur Optimierung Ressourcennutzung entwickeln. Darüber hinaus werden Verfahren entwickelt, das hierfür notwendige Wissen zu transferieren.

### Modellierung

Der **PK Ma-L.1** kombiniert für lokale Fallbeispiele *Driving Forces* aus den Bereichen „Anthroposphäre“ und „Umwelt“, um unter Anwendung der Szenarien und möglichen Strategien der Be-

völkerung Aussagen über Responseindikatoren aus den Bereichen Landnutzung und außerlandwirtschaftliche Einkommensgenerierung zu treffen. (Abb. III.2.3-1)

### Methodik

Zur Erstellung des GIS-basierten Informationssystems werden die Ergebnisse verschiedener disziplinärer Modelle zusammengefasst und mit den qualitativen Ergebnissen der ethnologischen Untersuchungen gewichtet. Dazu wird ein **Expertenmodell** verwendet, das landwirtschaftliche Konzepte und lokale Entscheidungsfindung in Relation zu naturräumlichen, sozialen und demographischen Entwicklungen setzt (Abb. III.2.3-1). Zur Berechnung der Bevölkerungsdynamik wird das numerische Modell **DemProj** (Betreiber: Platt) herangezogen und für eine Verwendung auf der lokalen und kommunalen Ebene angepasst. Auf Grundlage der gesammelten sozialwissenschaftlichen Daten werden Entscheidungsmöglichkeiten der lokalen Bevölkerung in gewichteten *look up-sheets* zusammengestellt.



Abb. III.2.3-1: Strukturdiagramm der Datenintegration

Das **SWAT** (Soil Water Assessment Tool) (Betreiber: Busche) ist ein räumlich differenziertes, lose gekoppeltes Modellsystem, das die im Untersuchungsgebiet relevanten hydrologischen Prozesse auf

täglicher Basis darstellt. Ausgehend von einer Erfassung und Modellierung des Ist-Zustandes, werden die verschiedenen IMPETUS-Szenarien sowie Interventionsszenarien gerechnet. Auf der vorliegenden Datenbasis werden mit einem konzeptionellen Modellansatz quantitative Änderungen in den einzelnen Subsystemen (Schneespeicher, Bewässerung, Grundwasser, Stausee) abgeschätzt. Es wurde inzwischen erfolgreich für die naturräumlichen Gegebenheiten des oberen Drâa-Einzugsgebietes adaptiert.

Im Rahmen einer Diplomarbeit von Benjamin Fehling im Teilprojekt B3 wurde das Agrarmodell **DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)** auf die Oasen Tichki und Ameskar (Größe ca. 8 ha) im Hohen Atlas angewendet. DSSAT basiert auf Einzelmodellen für 18 agrarisch genutzte Pflanzenarten. Getreide wird mit der Modell-Familie CERES simuliert (Vgl. Hoogenboom et al. 2003; Jones, Hoogenboom, Porter et al. 2003).

Das **Pastorale Ökosystemmodell SAVANNA** (Betreiber: Roth) ist ein flächenhaft explizites, prozessorientiertes Modell zur Ökosystemanalyse. Dieses Modell dient der Modellierung der Dynamik von Pflanzenpopulationen basierend auf spezifischen Pflanzenverteilungsmustern (Habitatmustern), sowie der Modellierung ihrer Biomasseproduktion unter dem Einfluss von Beweidung und ihrer Funktion auf den Wasserhaushalt.

Mit dem **regelbasierten ökologisch-ökonomischen Modell BUFFER** (Betreiber: Linstädter, Jakob) wird das Management der natürlichen Ressourcen in Wechselwirkung mit ihrer räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit modelliert (vgl. **PK Ma-L.2**). Der Modellansatz kann postulierte nachhaltige Konzepte der Wassernutzung direkt in ihrer Auswirkung auf die natürlichen Ressourcen abprüfen. Dabei stehen die Dynamiken und die „Puffer-Qualität“ der natürlichen Ressourcen Weide und Wasser im Vordergrund.

Die Modelle sollen in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt C2 in ein **GIS-basiertes Informationssystem** überführt werden.

## Stand der bisherigen Arbeiten

### *Ethnologische Untersuchungen der Landwirtschaft*

In der zurückliegenden Projektphase wurde die Vergleichsstudie in den zur Commune Ighil Mgoun gehörenden Dörfern fortgesetzt und auf weitere Dörfer im Bereich des Dades-Tals sowie der westlichen Zuflüsse zum Mansur Eddhabi Staudamm ausgeweitet. Bei den zusammen mit C. Heidecke durchgeführten Befragungen wurde der bereits in Ifre eingesetzte standardisierte landwirtschaftliche Fragebogen verwendet. Ergänzend zu den standardisierten Erhebungen wurden qualitative ethnologische Interviews durchgeführt. Die agrarökonomische, statistische Auswertung der Befragungen erfolgte durch C. Heidecke (B4). Von ethnologischer Seite aus ging es darum, die Befragungen zur Situation der Landwirtschaft und zu Strategien der Krisenbewältigung über das Ifre Einzugsgebiet hinaus auszudehnen, um so mögliche weitere Strategien der Krisenbewältigung kennen zu lernen. Hierbei bestätigte sich allerdings lediglich, dass die im Assif Ait Ahmed und im Ifre-Einzugsgebiet gesammelten Informationen zur Oasenlandwirtschaft prinzipiell auch auf die anderen Dörfer angewendet werden können. Das betrifft sowohl die gesellschaftliche und politische Struktur der Gemeinden, als auch die verwendeten lokalen Techniken in der Landwirtschaft und die Systeme der

Verteilung von Wasser. Lediglich die Bedeutung der einzelnen Problemfelder variiert zwischen den einzelnen Gemeinden. In den relativ wasserreichen Gemeinden entlang des Dades ist es vor allem die Ober-Unterlieger Problematik, die thematisiert wurde. Probleme und Konflikte im Zusammenhang mit dem Management der Bewässerungskanäle sind in den stärker besiedelten Regionen häufiger. Auch die innerhalb des Arbeitsgebietes verlaufenden „tribalen“ Grenzen können, wie die im Zwischenbericht des PK Ma-G.2 geschilderten Fallbeispiele zeigen, auch heute noch ein Kristallisationspunkt für Konflikte um Land-, Wasser- oder Weiderechte sein.



**Abb. III.2.3-2:** Die „Commune“ Ighil Mgoun, das Arbeitsgebiet des PK Ma-L.1 im zentralen Hohen Atlas

Für die Arbeit in Ifre-Einzugsgebiet gilt weiterhin, dass trotz der beobachteten relativen Homogenität in vielen Bereichen wichtige Unterschiede bei den beobachteten Landnutzungsstrategien berücksichtigt werden müssen. Vor allem die Untersuchung von Weidenutzungsstrategien wurde forciert, da die Tierhaltung als wichtige, den landwirtschaftlichen Anbau ergänzende, Einkommen generierende Strategie angesehen werden muss. Neben der Kenntnis des Weidepotentials, das durch die Modellierung mit SAVANNA berechnet wird, sind es bewusste Strategien der Hirten, die die Beweidung, den Viehbestand und damit das wirtschaftliche Potential sowie die ökologischen Auswirkungen der Nutzung bestimmen. Zur Verbesserung der Datengrundlage wurden im Berichtszeitraum, in Zusammenarbeit mit B3, zusätzliche Gespräche mit transhumanten Viehzüchtern geführt. Die Datenerhebung, die im laufenden Jahr weitergeführt wird, dient als notwendige Grundlage für die Berechnungen mittels des neu ins Projekt integrierten regelbasierten ökologisch-ökonomischen Weidemodells **BUFFER**.

Neben den bestehenden (oder nicht bestehenden) Allianzen zwischen den verschiedenen, am gleichen Abflusssystem gelegenen Dörfern, gilt es auch, Wechselbeziehungen zu transhumant lebenden Teilen der Gesellschaft in die Analyse einzubeziehen. Die bisherigen Befragungen haben gezeigt, dass in ausreichend feuchten Jahren Allianzen weniger Bedeutung haben als in trockenen, da die verfügbaren Ressourcen auch mit geringer Regulierung ausreichen. Das gilt sowohl für Allianzen



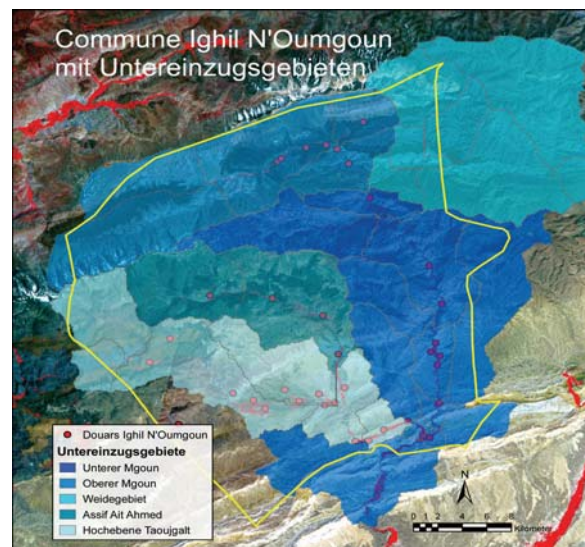
zwischen Dörfern, als auch für Absprachen mit mobilen Teilen der Gesellschaft. In Krisenjahren, mit geringen Niederschlägen, wenig verfügbarem Wasser und schlechten Weidewirtschaften, können fehlende Absprachen zu Konflikten führen (vgl. Ait Hamza 2002: 47ff).

Die Situation ist jedoch nicht in allen befragten Regionen gleichermaßen problematisch. Generell lassen sich in Ifre-Gebiet aufgrund der Befragungen drei regionaltypische Situationen der Wasserverfügbarkeit postulieren, die sowohl aufgrund unterschiedlicher Allianzstrukturen in den Gemeinden, vor allem aber aufgrund der natürlichen Verfügbarkeit von Wasser für die Feldbewässerung unterscheiden. Inwieweit solche Klassifizierungen auch für das Weidesystem gelten, müssen weitere Befragungen, sowie Modellläufe des SAVANNA-Modells ergeben.

Lage an einem großem Fluss: Gute Verfügbarkeit von Wasser, Strategien der Bauern durch fehlende Feldflächen bestimmt. Hierzu zählen die am Mgoun-Fluss gelegenen Dörfer.

Lage an einem Nebenfluss: Ausreichende Verfügbarkeit von Wasser. Häufiger Allianzen zur Wasserverteilung. Ausweitung der Anbaufläche aufgrund fehlender Flächen und nicht immer ausreichendem Wasserangebot kaum möglich. Hierzu zählt das Assif Ait Ahmed.

Lage auf einer Hochebene oder im Unterlauf der Bäche: Wasserverfügbarkeit problematisch. Wenn keine Allianzen, oft Wasserkonflikte in Trockenjahren. Oft Flächen für potentiellen Anbau vorhanden, aber die Strategien der Landnutzung werden durch Wasserknappheit bestimmt. Zu diesem Typus gehören die Orte auf der Hochebene von Tajougalt, wobei von der Wasserknappheit vor allem die Unterlieger betroffen sind.



**Abb. III.2.3-3:** Das Arbeitsgebiet mit hydrologisch definierten Untereinzugsgebieten

Auf Grundlage dieser durch Befragungen erstellten Nutzungsklassen wurden die für das zentrale hydrologische Modellsystem SWAT (Soil Water Assessment Tool) berechneten HRUs zu größeren Einheiten zusammengefasst. Diese sollen die ethnologisch definierten Nutzungsklassen möglichst genau nachbilden (Abb. III.2.3-3). Die Zonen oberer Mgoun und unterer Mgoun entsprechen dabei der Klasse „Lage an einem großen Fluss“. Das Untereinzugsgebiet Assif Ait Ahmend steht für die Klasse „Lage an einem Nebenfluss“ und die Zone Hochebene von Taoujgalt bildet die Situa-

tion „Lage auf einer Hochebene oder in Unterlauf der Bäche“ ab. Das in Nordosten des Ifre-Gebietes gelegene, als Weidegebiet klassifizierte Untereinzugsgebiet, findet in der ethnologischen Klassifizierung keine Entsprechung. Hier liegen keine permanenten Siedlungen und die vorhandenen Bergoasen sind sehr klein. Die Nutzung erfolgt überwiegend durch Pastoralnomaden.

Die so definierten Zonen dienen als Bezugseinheit für die hydrologische Szenarienmodellierung, die das Kernstück der Arbeit des hydrologischen PK bilden. Da die Modellierungen geänderte naturräumliche Bedingungen berücksichtigen, können sie das künftige Wasserdargebot bestimmen und so Ausgangspunkt für mögliche strategische Entscheidungen zur Nutzungsänderung werden. Regionalbezogene Ergebnisse des im PK Ma-H.1 entwickelten **SDSS HYDRAA** (Model hydrologique sur la durabilité des ressources en eau aujourd'hui et dans l'avenir) können dazu herangezogen werden.

Für die anwenderorientierte Umsetzung der Ergebnisse der PK über landwirtschaftliche Konzepte und lokale Entscheidungsfindung wird ein GIS-basiertes Informationssystem entwickelt. Dazu wurden auf Grundlage der gesammelten sozialwissenschaftlichen Daten Entscheidungsmöglichkeiten der lokalen Bevölkerung in gewichteten *look up-sheets* zusammengestellt. Die Veränderung naturräumlicher Parameter sowie die der lokalen demographischen Entwicklung verweisen je nach Fragestellung auf verschiedene Strategietabellen.

### ***Hydrologische Modellierung mit SWAT***

Die im **PK Ma-L.1** verwendeten hydrologischen Informationen über das verfügbare Wasser werden innerhalb des **PK Ma-H.1** modelliert. Dabei kommt dem hier dargestellten PK Ma-L.1 zugute, dass bereits in einer ersten Modellierungsphase die hydrologischen Prozesse innerhalb des Arbeitsgebietes nachvollzogen wurden. In der Region verfügt das IMPETUS-Messnetz über mehrere Klimastationen und Pegel, zudem haben Vorarbeiten zur **Hydrogeologie** und **Schneehydrologie** stattgefunden. Das auf dieser Skala erlangte Prozessverständnis soll in einem zweiten Schritt auf das gesamte Drâa-Einzugsgebiet oberhalb des Stausees übertragen werden. Da die Qualität der Pegeldaten im Ifre-Einzugsgebiet eine direkte Validierung des Modells nicht zulassen, wird über Sekundärdaten validiert. Da die Erfassung der Zuflüsse des Stausees über den Füllstand weniger Unsicherheiten unterworfen ist als die Pegelmessung am Flusslauf, bestätigt die hohe Korrelation des simulierten Abflusses und des Stauseezuflusses (**Abb. III.2.3-4**) die Anwendbarkeit des Modells.

Für das hydrologische Jahr 2002/2003 wurden bei 406 mm Niederschlag 85 mm Abfluss simuliert (durchschnittlich 3,28 m<sup>3</sup>/s), gemessener Abfluss am Pegel Ifre 51 mm (bei 1,98 m<sup>3</sup>/s). Die Evapotranspiration hat mit 304 mm, wie es aufgrund der geographischen Lage zu erwarten ist, einen großen Anteil an der Gesamtwasserbilanz.

Eine erhebliche Bedeutung für die Grundwasserneubildung, aber auch für die direkte Bewässerung, hat die Versickerung von Wasser in den Wadis. Im Becken von Ouarzazate wurde zwischen den Pegeln Ait-Mouted, Ifre und Tinouar aus Abfluss-, Bewässerungs- und Evaporationsdaten eine mittlere jährliche Versickerung von 56 Mio. m<sup>3</sup> (1973-1994) ermittelt, dies entspricht einer mittleren Versickerungsrate von 3mm/h. Langfristige Simulationen sind mit den in IMPETUS erhobenen Klimadaten nicht möglich, da die vorliegende Zeitreihe der Klimamessungen zu kurz ist und die

Daten der marokkanischen Stationen nicht ausreichen, um einen flächendeckenden Niederschlag zu generieren. Daher wurden die langfristigen REMO-Klimasimulationen als Klimadatensätze für das Ifre-Einzugsgebiet aufbereitet (siehe Meteorologie).

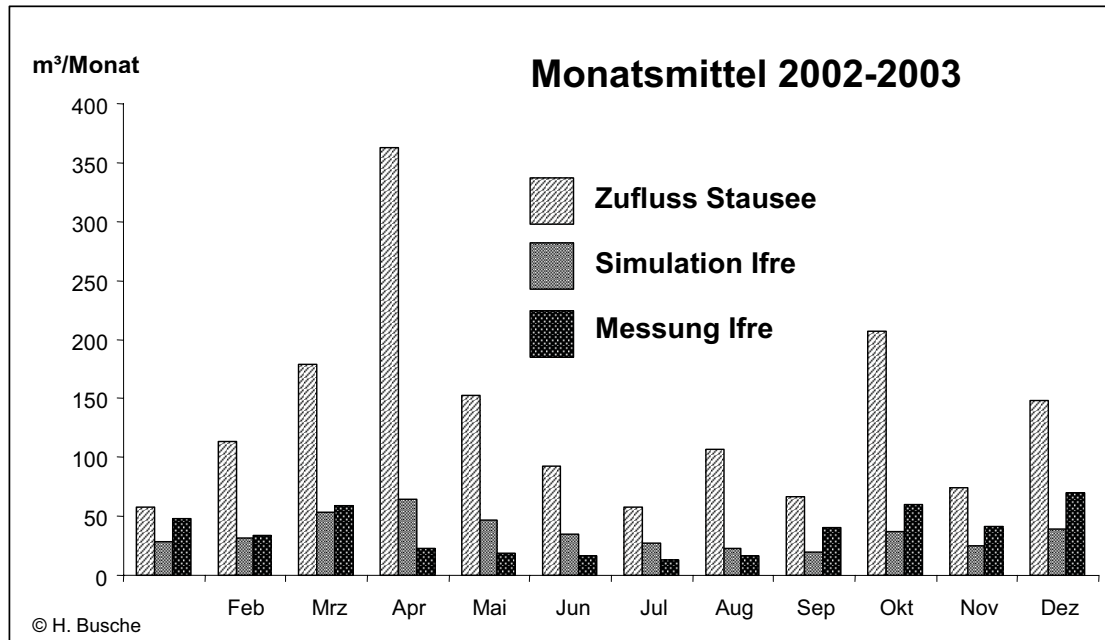


Abb. III.2.3-4: Mittlerer monatlicher Abfluss der Jahre 2002-2003 am Pegel Ifre (1240 km<sup>2</sup>) gemessen und simuliert, verglichen mit den mittleren monatlichen Zuflüssen am Stausee

Der Schneespeicher des Hohen Atlas stellt die bedeutendste Quelle für die Zuflüsse zum Mansour Eddahbi dar. Daher werden die schnee-hydrologischen Parameter in SWAT in enger Anlehnung an das UEB (Utah Energy Balance) Modell bestimmt, mit dem die Dynamik des Schneespeichers bereits zufrieden stellend wiedergegeben werden kann. Der Winterschnee geht als zusätzlicher hydrologischer Speicher in die Modellierung der Frühjahrsschmelze ein. Allerdings wird auch nach der Schneeschmelze am Ifre-Pegel am Ausgang des Ifre-Einzugsgebietes schätzungsweise nur 10 % des Inputs durch Schneeniederschläge gemessen. Die geringen oder nicht-vorhandenen Oberflächenabflüsse sind typisch für stark verkarstete Gebiete und für aride Räume mit mächtigen, breiten Wa-diflussbetten (Corripio und de Jong, 2004). Für die Abschätzung der Grundwasserneubildung im Ifre-Einzugsgebiet wurde auf die Berechnung der Evapotranspiration nach der Jensen-Haise-Methode (Jensen et al., 1990) und mit den Klimadaten der IMPETUS-Station in Trab Labied zurückgegriffen. Bei dem berechneten Evapotranspirationsanteil von 75 % des Gesamtniederschlags ergibt sich ein Grundwasserneubildungsanteil von 11%

### ***Wasserverbrauch landwirtschaftlicher Produktionsflächen***

Für die Beurteilung der Strategien der Landwirte ist es wichtig Anhaltspunkte dafür zu besitzen, welche Wassermenge tatsächlich bei der Produktion der Feldfrüchte verwendet wird. Dazu wurden Wasserverbrauchsbilanzen für die landwirtschaftlichen Produktionsflächen der Bergoasen Ameskar und Tichki erstellt. Erste Ergebnisse zeigen, dass bereits die Anbaukultur Gerste, die in der ersten

Jahreshälfte in Tichki ca. 80 % der Felder einnimmt, (im Schnitt von 5 im Jahr 2004 gemessenen Feldern) mit 25.860 m<sup>3</sup> Wasser pro Hektar bewässert wird. Hochgerechnet auf eine Gesamtanbaufläche von 21.7 ha in Tichki wurden damit für den Gerstenanbau in der Vegetationsperiode 2004 ca. 450.000 m<sup>3</sup> Wasser verbraucht. Die für Mais als Folgekultur auf den Feldern verbrauchte Wassermenge liegt in derselben Größenordnung. Bei einem nach Abflussmessungen von März bis Juli 2004 hochgerechneten ungefähren Jahresabfluss von 2.057.000 m<sup>3</sup> Wasser in den beiden für die Bewässerung verfügbaren Bächen bedeutet dies, dass knapp die Hälfte des überhaupt verfügbaren Bewässerungswassers für klassische Subsistenzprodukte verbraucht wird.

### *Agrarmodellierungen in den Oasen Tichki und Ameskar mit DSSAT*

Die Agrarmodellierungen entstanden in Rahmen einer Diplomarbeit (Fehling 2006). Ziel war die Erarbeitung von Handlungsoptionen im Hinblick auf Felderträge und Ressourcenschutz unter der Berücksichtigung agrarischer Einflussfaktoren wie (Boden-)Wasser, Kulturpflanzen, verfügbare Agrarfläche und Bodenqualität. Auf einen bereits erstellten Grunddatensatz und erste Modellläufe für die Oase Tichki aufbauend, wurden kongruente Szenarienläufe erarbeitet.

Erste Ansätze der Ertragsmodellierung für Mais in Tichki unterschätzen mit 821 kg/ha bzw. 1108 kg/ha grundlegend die gemessenen Ertragsleistungen von 1959 kg/ha (F. Gresens 2006). Zurückzuführen ist dies u.a. auf schwierige Bestimmung der Termine für die Aussaat, Bewässerungsgaben und Stickstoffdüngungen. Mittlerweile sind jedoch wichtige Parameter wie LAI („Leaf Area Index“) und phänologische Datumsangaben in das Programm eingearbeitet.

Die überwiegend sandig-lehmigen Böden der untersuchten Oase Tichki zeichnen sich durch teilweise hohen Skelettanteil, hohe Kalkgehalte und Stickstoffarmut aus. Mais und Gerste sind dort die flächenmäßig wichtigsten Anbaufrüchte. Die Modellierungsbasis bildete die aktuelle Fruchtwechselwirtschaft aus Gerste (Frühjahr) und Mais (Herbst), ergänzt durch Gemüseanbau und Brachen. Die verwendeten Sorten können allerdings nicht genau bestimmt werden.

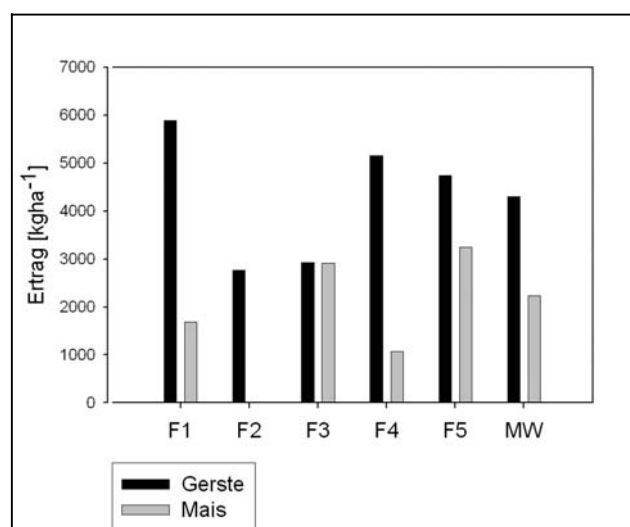


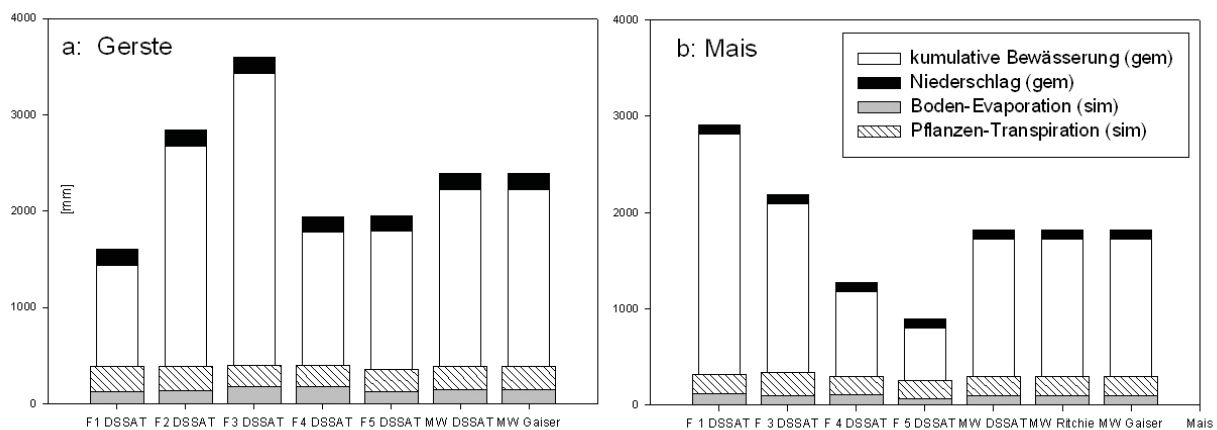
Abb. III.2.3-5: Erträge von Gerste und Mais

Gerste ist mit  $4,3 \text{ t ha}^{-1}$  ertragreicher, als der - hinsichtlich der Bodeneigenschaften - anspruchsvolle Mais ( $2,2 \text{ t ha}^{-1}$ ) (**Abb. III.2.3-5**). Während das Modell „CERES-Maize“ bezüglich der angebauten Mais-Sorte kalibriert wurde (indem schrittweise die genetischen Parameter verändert wurden), zeigte sich, dass es möglich ist, sowohl die Akkumulation der Biomasse als auch ihre Verteilung auf die Einzelorgane relativ genau zu simulieren. Dafür muss allerdings eine Überschätzung des Blattflächenindex in Kauf hingenommen werden. Bei Gerste waren im Schritt der Kalibrierung des Modells CERES-Barley anders als bei Mais keine inkonsistenten und unsystematischen Abweichungen zu vermerken. Sowohl für „Gerste“ als auch für „Mais“ wurde festgestellt, dass die natürlichen Produktivitätsunterschiede nicht abgebildet werden, wenn die Simulation vom Kalibrierungsfeld mit äquivalenten Einstellungen zur Evaluierung der Modellgüte auf die restlichen vier Felder übertragen wurde. In den Parametern oberirdische Biomasse, Ertrag, ist die Standardabweichung der gemessenen Werte größer als die der simulierten Werte. Sowohl für Gerste als auch für Mais kann das auf die mangelhafte Simulierung der Entwicklungsgeschwindigkeiten zurückgeführt werden, da so die Entwicklung relativ zum Wetter und zur Bewässerung derart verschoben wird, dass für die Pflanzen zu günstige oder ungünstige Bedingungen entstehen können und deshalb auch die anderen betrachteten Parameter falsch simuliert werden.

Auch mit einer Verbesserung der Bodenwassergehaltssimulation infolge veränderter Pedotransferfunktionen zur Berechnung der bodenhydraulischen Parameter *drained upper limit* (Feldkapazität) und *lower limit* (Permanenter Welkepunkt) geht für Mais keine wesentliche Verbesserung der Regressionsgeraden zwischen gemessenen und simulierten Maiserträgen einher. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit Stastna & Zalud 1999, die in einer Sensitivitätsanalyse keine signifikante Reaktion der Ertragssimulation auf eine Veränderung der bodenhydraulischen Parameter um  $\pm 6\%$  fanden.

### ***Bodenwassergehalt***

Der Bodenwasserhaushalt ist entgegen der ursprünglichen Annahme nicht maßgeblich für das Wachstum auf einem Feld, da überall ausreichend bewässert wird. Die Summe aus Bewässerung und Niederschlag überwiegt die durch Evapotranspiration ausgehende Wassermenge um das vierfache (**Abb. III.2.3-6**)



**Abb. III.2.3-6:** Bewässerungsmessungen und Simulationen der Gerste und Maisfelder Versuchsfelder

Die Schwankungen des simulierten Wassergehalts sind höher als in der Realität. Zu dem Ergebnis zu starker Reaktion auf eingehendes Wasser kommen auch (Eitzinger et al. 2004; Gabrielle et al. 2005). In Tichki verändert sich auf kleinstem Raum die Gesamtheit der Umweltbedingungen in solchem Maße, dass man möglicherweise von einem Feld zum nächsten eine unzulässige Modellextrapolation durchführt, wenn nur der Bodenwasserhaushalt aufgrund der Texturwerte und der Bewässerungsmengen, der Saatzeitpunkt und die Saatedichte variiert wird. Als wichtigster beeinflussender Faktor des Gersten- und Maiswachstums wird die Beschattung gesehen. Deshalb müssten, um feldgenaue Simulationen zu ermöglichen, in weiteren Kalibrierungsschritten die realen Umweltbedingungen schrittweise integriert werden. Als generelles Modellierungs-Problem stellte sich also die Extrapolation von Prozessen und Prozesszusammenhängen dar.

### **Modellierung der Biomassedynamik unter Einfluss der Weidewirtschaft**

Das Teilprojekt B3 untersucht mit Hilfe eines pastoralen Ökosystem Modells die Produktivität der Weideflächen und die Auswirkungen von Weidewirtschaft und Klimaverlauf auf die Vegetation der natürlichen Steppenökosysteme. Bisher wurden auf der Südabdachung des zentralen Hohen Atlas weideökologische Tragfähigkeitsuntersuchungen mit Hilfe des räumlich expliziten prozessorientierten Ökosystemmodells SAVANNA durchgeführt. SAVANNA wurde bisher für flächenrelevante Teilökosysteme parametrisiert und kalibriert. Das Ziel der Arbeiten liegt in der Bestimmung des Einflusses der Weidewirtschaft auf die Vegetationsbedeckung. Es soll bestimmt werden, wie und in welchem Umfang die unterschiedlichen Vegetationseinheiten unter bestimmten Szenarien auf den Gebietswasserhaushalt rückwirken. Für ausgewählte Klimaszenarien werden für den Zeithorizont 2025 Modellläufe durchgeführt, um die zukünftige Biomassedynamik unter Szenarienbedingungen abzuschätzen. Die Kalibrierung des Modells, im Hinblick auf Biomasseangebot – Biomassekonsumenten (Herden) wurde für die Taoujaght Hochebene (~ 1900m ü. NN) an der Südabdachung des Hohen Atlas Gebirges vorgenommen. Diese Hochebene bildet während des Frühjahrs und Herbstes den Durchzugsbereich für Nomadenherden. Daneben beweiden dorfeigene Schaf- und

Ziegenherden den Umkreis der Siedlungen. So wurden im Umkreis des Dorfes Tauojgalt 1020 Schafe oder Ziegen gezählt (eigene Erhebung Roth).

Anhand der erfolgreichen Validierung des Modells mittels unabhängiger Parameter konnte nun die Parametrisierung und Szenarienrechnung für das gesamte Einzugsgebiet begonnen werden. Die Validierung anhand der Populationszahlen von *Artemisia h.a.* Roth (2006a) hat, obwohl nur Daten für die Jahre 2002 bis 2004 vorliegen, gezeigt, dass das Modell mit dem Beginn der Simulation im Frühjahr 2002 schnell die artenspezifische Dynamik und somit die Blühphase von *Artemisia h.a.* im Herbst 2003 aufgreift. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Umgebung entsprechend die physiologischen Parameter zur Beschreibung der einzelnen Vegetationstypen zutreffen. Das Modellablaufschema wurde im Berichtszeitraum für das Untersuchungsgebiet weiter verfeinert. Insbesondere bei der schwierigen Parametrisierung des Energiebedarfes der zu untersuchenden Tiere. Hier waren Diskussionen und Literatur lokaler Experten von besonderer Hilfe; insbesondere des Service d'élevage der ORMVAO.

Die Kalibrierung des Modells im semi-ariden Untersuchungsgebiet zeigte im Hinblick auf das Pflanzenwachstum und die Reproduktivitätsraten eine hohe Sensibilität für Temperaturen, Strahlung sowie Stickstoff bei Sträuchern und krautartigen Pflanzen. Die Konsequenz daraus ist eine hohe Mortalitätsrate der Pflanzen während der Sommermonate, die der Realität nicht entspricht. Nach Lösung dieser Probleme wurden zwei Konditionen: „Beweidung“ und „ohne Beweidung“ für den Simulationszeitraum 2002-2012, eingeführt (Roth, 20051). Der Tierkonsum der Biomasse (Variante: „Beweidung“) weist, im Bezug auf die „Annual net primary production“ (ANNP), (Photosyntheseumsatz minus Respirationswerte) ausgedrückt in „Dry Weight Matter“ g/m<sup>2</sup> (DWT) starke interannuelle Schwankungen auf hohem Niveau für Sträucher (*Artemisia herba-alba*) und krautartige Pflanzen (*Stipa cf. parviflora*) auf. Diese Schwankungen sind auf konstante Herdengrößen (15000 Tiere bei nomadischen Tierhaltern und 5000 Tiere bei sedentärer Haltung) zurückzuführen die zur Stabilisierung eines Konsumenten-Nahrungsangebot-Systems eingeführt wurden.

### ***Weideökologische Untersuchungen***

Mit Hilfe des ökologischen Simulationsmodells **BUFFER** sollen die Auswirkungen von unterschiedlichen Beweidungsstrategien von Hirtennomaden auf Weidegebiete auch im Ifre-Untereinzugsgebiet untersucht werden. Das Modell befindet sich momentan noch in der Entwicklungsphase, da erst im letzten Herbst mit der Datenintegration begonnen wurde. Es kann als methodische und inhaltliche Ergänzung zum SAVANNA Modell angesehen werden. Die beiden Modelle SAVANNA, und BUFFER haben durchweg die Simulation von niederschlags- und nutzungsabhängigen Vegetationsdynamiken zum Ziel. Dabei arbeiten sie jedoch auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen und haben spezifische Schwerpunkte.

Im Drâa-Einzugsgebiet ist es wie im gesamten mediterranen Raum wegen der teilweise bereits Jahrtausende währenden weidewirtschaftlichen Nutzung und Überformung der natürlichen Vegetation praktisch nicht möglich, die natürliche Vegetation eines Weidegebiets als sinnvolle Referenz heranzuziehen. Aufgrund der z.T. sehr seltenen Etablierungsereignisse und der damit zusammenhängenden extrem langen Regenerationszeiträume ist es weiterhin nicht möglich, mittels eines kurzfristigen Beweidungsausschlusses eine naturnahe Vegetation auf experimentellem Wege zu erlangen und



als Referenzzustand anzusetzen. Die im PK Ma-L.1 integrierten Modellergebnisse basieren auf weideökologischen Erhebungen. Hier werden zunächst Indikatoren für den Landnutzungsdruck mit Hilfe von Pflanzenfunktionstypen (PFTs) identifiziert. Zur Klassifikation dieser Funktionstypen bedarf es eines weidespezifischen Merkmalskataloges, mit dem die Reaktion von Pflanzenarten auf Beweidung erfasst wird. Ein entsprechender Katalog ist von Oktober 2006 bis Januar 2007 von A. Linstädter und G. Baumann auf der Basis einer umfangreichen Literaturrecherche, d.h. unter Einbeziehung des aktuellen Forschungsstandes erstellt worden. Gemeinsame Befragungen mit den Ethnologen des Projektes dienen zur Ergänzung des Datenmaterials. Als Weiterentwicklung gegenüber bisher publizierten Merkmalskatalogen kann hier jedem Merkmal eine entsprechende Bedeutung für die Pflanzenantwort auf Beweidung (im Sinne einer Abwehr, Vermeidung oder Kompensation von Beweidung) zugeordnet werden.

Im Folgenden wird der momentane Stand des Modellkonzeptes des **BUFFER Modells** umrissen. Um ein allgemeines Prozessverständnis auf der Ebene der Vegetation zu erlangen, soll zuerst ein Individuenbasiertes Modell den Einfluss des Niederschlag und der Beweidungsintensität auf einzelne Individuen unterschiedlicher Pflanzenfunktionstypen (PFTs) herausarbeiten. Hierbei soll vor allem der Lebenszyklus von mehrjährigen holzigen Arten verstanden und Mechanismen herausgearbeitet werden, die die hochvariablen Umweltbedingungen in ariden Gebieten abpuffern können. Dieses Verständnis (bzw. der Output des Modells) wird zur Parametrisierung von BUFFER genutzt.

### **Zusammenarbeit mit anderen Institutionen**

Im Herbst wurde ein Workshop zur regionalen Ressourcenplanung vorbereitet. An diesem Workshop nehmen neben IMPETUS-Mitarbeitern, Vertreter des Biodiversitätsprojektes CBTHA, der Regionalplanungsinitiative PAN-Agadir, der Universität Ibn Soghr in Agadir und BIOTA-Maroc teil. Der Workshop dient der Vorbereitung der fachlichen Begleitung eines kommunalen Ressourcenplanungsprojektes im Zielgebiet. Zur Vorbereitung wurden Kontakte zur PAN-Agadir und zur Universität in Agadir durch mehrere Fachgespräche mit den lokalen Mitarbeitern vertieft. Bei einem Treffen mit dem neuen Leiter des *Projet pour la Conservation de la Biodiversité par la Transhumance dans le Versant Sud du Haut Atlas* wurde eine weitergehende Zusammenarbeit im Bereich der Weidewirtschaftsuntersuchungen angeregt, die während des Workshops im Frühjahr ausgebaut werden soll. Außerdem ist für März 2007 ein weiterer Workshop zu den benötigten, grundlegenden Computerfähigkeiten im Bereich der Tabellenkalkulation und der Geographischen Informationssysteme geplant. Ziel ist es, die Teilnehmer dabei zu unterstützen, grundlegende Modellstrukturen der in IMPETUS verwendeten GIS-Datenbanken zu verstehen und die Aussagekraft der Ergebnisse bewerten können.

### **Ergebnisse des Problemkomplexes**

Die exemplarisch durchgeführten Detailuntersuchungen zu Wasserverfügbarkeit, Ernteerträgen und Wasserverbrauch von Kulturpflanzen in Ameskar und Tichki, im Assif N'Ait Ahmed, sind auf die räumliche Ebene des hydrologischen Teileinzugsgebiet Ifre ausgeweitet worden. Da das Arbeitsgebiet so ausgewählt wurde, dass die naturräumlichen Einheiten weitgehend mit politischen Einheiten (der *Commune* Ighil Mgoun) deckungsgleich sind, können Daten zur demographischen Entwick-

lung auf *Commune* und Douar-Ebene, die von der Statistikbehörde geliefert werden, für die Modellierung verwendet werden. Besonders die in den Szenarien postulierte Veränderung bei der Bevölkerungsentwicklung, den Weidemanagementsystemen und dem Ausbau der Infrastruktur gehen in die Modellierung für den PK ein. Ziel ist es, Möglichkeiten für regulierende Eingriffe in die Entwicklung von angepassten Weidemanagementsystemen sowie den nachhaltigen Ausbau der Infrastruktur, der einer Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion ermöglicht, zu entwickeln.

Ein weiteres Endprodukt werden Trainings- und Informationsmodule für Akteure ruraler Entwicklung und deren Training zur unabhängigen Nutzung von Modellergebnissen und zur Identifizierung lokaler Dynamiken ländlicher Ressourcenentwicklung sein.

### **Literatur**

- Ait Hamza, Mohammed (2002): Etude sur les Institutions Locales dans le Versant Sud du Haut Atlas. Projet CBTHA, Ouarzazate
- Cappy, S. (2006) : Dissertation
- Cavero, J., Farre, I., Debaeke, P. & FACI, J. M. 2000: "Simulation of Maize Yield under Water Stress with the EPICphase and CROPWAT Models", *Agron J* (92) 679-690
- Corripio, J. and de Jong, C. (2005) Mountain Waters: Climate and hydrological sensitivity. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 8:6, S.. 1015 - 1089.
- Diepenbrock, W., Ellmer, F. & Léon, J. 2005: "Ackerbau, Pflanzenbau, Pflanzenzüchtung - Grundwissen Bachelor", Stuttgart
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z. & Dubrovsky, M. 2004: "Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions", *Ecological Modelling* (171) 223-246
- El Alaoui, Mohammed (2003): Etude sur le Statut Juridique des Terres Collectives au Maroc et les Institutions Coutumières et Locales dans les Versant Sud du Haut Atlas. Projet CBTHA, Ouarzazate
- Gabrielle, B., Roche, R., Angas, P., Cantero-Martinez, C., Cosentino, L., et al. 2005: "A priori parameterisation of the CERES soil-crop models and tests against several European data sets", *Agronomie* (22) 119-132
- Gresens, Frank (2006): Untersuchungen zum Wasserhaushalt ausgewählter Pflanzenarten im Drâa-Tal – Südost Marokko. *Bonner Agrikulturchemische Reihe*, Band 26. Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Bonn.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. (ed). (1990): *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.*- ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., 360 p, Am. Soc. Civil Engrs.; New York, NY.
- de Jong, C., Machauer, R., Leavesley, G., Cappy, S. Poete, P., Schulz, O. (im Druck) Integrated hydrological modelling concepts for a peripheral mountainous semi-arid basin in southern Morocco. EU proceedings "Geomatics for Land and Water management: achievements and challenges in the Euromed context". (Eds) Paracchini, M.L. & Escadafal, R.
- Jossen, J.-A. and Filali, J. (1988) : Le bassin de Ouarzazate, synthèse stratigraphique et structurale.- Contribution à l'étude des aquifères profonds, 38 p., Admn. Hydraul. Direct. Rech. Planif. de l'Eau; Rabat.
- Kraus, Wolfgang (1991) Die Ayt Hdiddu. *Wirtschaft und Gesellschaft im Zentralen Hohen Atlas*. Veröffentlichungen der Ethnologischen Kommission, Band 7; Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Langensiepen, M. 2004: "Modellierung pflanzlicher Systeme - Perspektiven eines neuen Forschungs- und Lehrgebietes", *Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät: Institut für Pflanzenbauwissenschaften*, Humboldt-Universität zu Berlin Berlin
- Roth, A. (2004): Modélisation de la rendement pour zea mays dans un oasis à l'Assif Ait Achmed en haute l'atlas avec DSSAT. presentation orale. Training Workshop on Decision Support System for Agricultural Transfer du INRA, ICASA. Settat. 2004

- Roth, A. (2005): Modélisation pastorale de la dynamique de la biomasse dans la vallée du Drâa avec SAVANNA. Vortrag  
IMPETUS & ORMVAO Workshop. Ouarazazate. Marokko. 2005
- Roth, A. (2006a): Future scenarios of biomass dynamics under pastoral conditions and regional water balance aspects for the Drâa catchment in south-eastern Morocco. Water Management and soil conservation in Semi-Arid Environments. The 14th Conference of the International Soil Conservation Organisation (ISCO). Marrakech pp. 110-111. Edition INRA, ISBN 9954-0-66653-5
- Roth, A. (2006b): Evaluation of future scenarios of biomass dynamics under pastoral conditions and regional water balance aspects for the Drâa catchment in SE Morocco. The 1 st International Symposium for Drylands Ecology and Human Security (ISDEHS) Dubai. p. 67
- Stastna, M. & Zalud, Z. 1999: "Sensitivity analysis of soil hydrologis parameters for two crop growth simulation models", Soil & Tillage research (50) 305-318
- Tollenaar, M. & Dwyer, L. M. 1999: "Physiology of Maize" in: D.L. SMITH, C. H., 169-205

## **PK Ma-L.2 Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimawandel auf die Resilienz und Regenerationsfähigkeit der Vegetation in Südmarokko**

### **Problemstellung**

Die Vegetation und ihre raum-zeitlichen Muster stehen im Zentrum dieses Problemkomplexes. Eine Herausforderung stellt dabei bereits die methodische und interpretatorische Trennung von klimabedingten und nutzungsbedingten Vegetationsmustern dar. Ein wichtiges Instrumentarium ist der Vergleich der kurz- bis mittelfristigen Dynamiken auf nebeneinander liegenden Flächen mit bzw. ohne Beweidung. Hier kann inzwischen auf einen sechsjährigen experimentellen Beweidungsausschluss zurückgegriffen werden, der Schlüsselinformationen zur Resilienz der Vegetation auf Individuen, Populations- und Artniveau liefert. Dabei lassen sich Indikatoren für Degradations- und Regenerationsprozesse auf verschiedenen hierarchischen Ebenen (Pflanzenindividuum, Population, Art) und in Bezug auf einen nutzungsspezifischen Referenzzustand identifizieren. Hierzu werden gezielt weideökologische Daten nacherhoben. Schwerpunkte liegen auf der obersten Hierarchie-Ebene der Arten sowie auf der Ebene der spezifischen Schädigung von Pflanzenindividuen durch Beweidung.

Eine weitere Datenlücke stellt die Umsetzung der Niederschläge in pflanzliche Biomasse dar. Für alle drei Modelle, die für die Beantwortung der Kernfragen des Problemkomplexes Ma-L.2 entwickelt werden (SAVANNA, MOVEG-DRÂA und BUFFER), sind verlässliche Daten mit Bezug zum analysierten Weidesystem von großer Relevanz. Hier werden ebenfalls Daten zur Beziehung zwischen Niederschlag und NPP (RUE) im Drâa- Einzugsgebiet erhoben. Sie dienen gleichzeitig einer Quervalidierung der drei Modelle. Aufgrund der Integration sozio-ökonomischer Informationen zum Weidemanagement in das Modell BUFFER ist der Problemkomplex Ma-L.2 eng mit den Fragestellungen der PKs Ma-L.1 und Ma-G.2 verwoben.

### **Mitarbeiter**

**Anja Linstädter**, Pierre Fritzsche, Peter Poete, Andreas Roth, Gisela Baumann, Oliver Jakoby, Kai Born, Stephan Klose

### **Zielsetzung**

Ein grundlegendes Verständnis der in der Problemstellung genannten Wechselwirkungen zu gewinnen ist wesentliches Ziel der Weideökologie und damit des hier vorgestellten Problemkomplexes. Die Weideökologie muss mit Hilfe geeigneter Instrumentarien die Folgen der menschlichen Nutzung analysieren und fundierte Beurteilungen ableiten. Diese können in Handlungsempfehlungen und in ein Entscheidungsfindungssystem zu ökologisch verträglichen Nutzungsstrategien umgesetzt werden.

### **Methodik**

Die weideökologische Bewertung von Weidequalität (im Sinne von Resilienz und Produktivität der Vegetation) im Drâa-Einzugsgebiet wird mit verschiedenen Methoden vorgenommen. Eine Herausforderung stellt bereits die methodische und interpretatorische Trennung von klimabedingten und nutzungsbedingten Vegetationsmustern dar. Ein wichtiges Instrumentarium ist der Vergleich der kurz- bis mittelfristigen Dynamiken auf nebeneinander liegenden Flächen mit bzw. ohne Beweidung. Hier kann inzwischen auf einen sechsjährigen experimentellen Beweidungsausschluss zurückgegriffen werden, der Schlüsselinformationen zur Resilienz der Vegetation auf Individuen, Populations- und Artniveau liefert. Dabei lassen sich Indikatoren für Degradations- und Regenerationsprozesse auf verschiedenen hierarchischen Ebenen (Pflanzenindividuum, Population, Art) und in Bezug auf einen nutzungsspezifischen Referenzzustand identifizieren.

Hierzu werden gezielt weideökologische Daten nacherhoben. Schwerpunkte liegen auf der obersten Hierarchie-Ebene der Arten sowie auf der Ebene der spezifischen Schädigung von Pflanzenindividuen durch Beweidung. Eine weitere Datenlücke stellt die Umsetzung der Niederschläge in pflanzliche Biomasse dar. Für alle drei Modelle, die für die Beantwortung der Kernfragen des Problemkomplexes Ma-L.2 entwickelt werden (SAVANNA, MOVEG-DRÂA und BUFFER), sind verlässliche Daten mit Bezug zum analysierten Weidesystem von großer Relevanz. Hier werden ebenfalls Daten zur Beziehung zwischen Niederschlag und NPP (RUE) im Drâa-Einzugsgebiet erhoben. Sie dienen gleichzeitig einer Quervalidierung der drei Modelle. Aufgrund der Integration sozioökonomischer Informationen zum Weidemanagement in das Modell BUFFER ist der Problemkomplex Ma-L.2 eng mit den Fragestellungen der PKs Ma-L.1 und Ma-G.2 verwoben.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Die weideökologischen Arbeiten, die mit der 3. Antragsphase von IMPETUS durch die AG „Weidemanagement“ aufgenommen wurden, begannen mit der Identifikation eines geeigneten Referenzzustandes, da eine Weidebeurteilung nur zu einem bestimmten Zeitpunkt in Bezug auf einen bestimmten Referenzzustand erfolgen kann. Letzterer stellt den optimalen Vegetationszustand eines Weidegebiets in Hinblick auf die angestrebte Nutzung dar. Daher variiert der Referenzzustand in Abhängigkeit vom Weidegebiet und von den Ansprüchen der Nutzergruppe. Meist wird der Referenzzustand auf die natürliche Vegetation bezogen oder auf den Zustand unter „bester praktikabler Bewirtschaftung“ eingeschränkt.

Im Drâa-Einzugsgebiet ist es wie im gesamten mediterranen Raum wegen der teilweise bereits Jahrtausende währenden weidewirtschaftlichen Nutzung und Überformung der natürlichen Vegetation praktisch nicht möglich, die natürliche Vegetation eines Weidegebiets als sinnvolle Referenz heranzuziehen. Aufgrund der z.T. sehr seltenen Etablierungsereignisse und der damit zusammenhängenden extrem langen Regenerationszeiträume (vgl. die letzten IMPETUS-Berichte zu den Dynamiken auf den Ausschlussflächen) ist es weiterhin nicht möglich, mittels eines kurzfristigen Beweidungsausschlusses eine naturnahe Vegetation auf experimentellem Wege zu erlangen und als Referenzzustand anzusetzen. Aus dem gleichen Grund ist es schwierig, zuverlässige Daten zum Regenerationpotential der Vegetation unter „bester praktikabler Bewirtschaftung“ zu erlangen (s.u.). Eine aus ökologischer Sicht sinnvolle Herangehensweise ist es daher, die Vegetation in besonderen Schutz-

gebieten wie auf alten Friedhöfen als Referenz anzusetzen. Weniger sinnvoll ist es, die Vegetation auf den Weideausschlussflächen als Zustand einer „besten praktikablen Bewirtschaftung“ zu definieren und als Referenz zu nutzen. Da jede Referenz sich auf eine angestrebte Nutzung bezieht, sollte zu dieser Frage das lokale Wissen der Hirten herangezogen werden. Die Festlegung eines lokalen Referenzzustandes wird daher über zusätzliche ethnologische Daten abgesichert. Entsprechende Befragungen sind für Frühjahr und Herbst 2007 geplant.

### *Welche Indikatoren?*

Drei wesentliche Instrumentarien der Weideökologie sind (i) die Dauerbeobachtung, (ii) die Durchführung von Manipulationsexperimenten wie Weideausschluss, sowie (iii) die Beurteilung von Weiden mit Hilfe geeigneter Indikatoren.

Die ersten beiden Methoden sind im Rahmen der IMPETUS-Feldforschung bereits angewandt worden. Insbesondere ist die Zielsetzung verfolgt worden, über eine Dauerbeobachtung und einen längerfristigen Weideausschluss einerseits die niederschlagsbedingten Anteile der Vegetationsdynamiken zu erfassen und andererseits den Zustand und die Regenerationsfähigkeit der Weiden zu beurteilen. Dabei lag ein Schwerpunkt auf der Ebene der Pflanzenpopulationen und deren Dynamiken, d.h. über jährliche demographische Untersuchungen wurden Informationen zur Natalität und Etablierung sowie Mortalität der Populationen erhoben.

Allerdings stellen Populationsdynamiken keinen leicht zu erfassenden und aussagekräftigen Parameter zur Beurteilung der aktuellen Weidequalität und ihres Regenerationspotentials dar. Daher ist es bislang auch noch nicht möglich, Indikatoren für Degradationsprozesse zu identifizieren und darauf aufbauend ein Frühwarnsystem für Ressourcen-Überbeanspruchung zu etablieren. In der 3. Antragsphase ist daher damit begonnen worden, entsprechende Informationen zum Indikatorwert der Pflanzenarten zu erlangen.

### *Indikator: Pflanzenfunktionstyp*

Im Rahmen des PK Ma-L.2 werden weideökologischen Indikatoren für den Landnutzungsdruck zunächst mit Hilfe von Pflanzenfunktionstypen (PFTs) identifiziert. Zur Klassifikation dieser Funktionstypen bedarf es eines weidespezifischen Merkmalskataloges, mit dem die Reaktion von Pflanzenarten auf Beweidung erfasst wird. Ein entsprechender Katalog ist von Oktober 2006 bis Januar 2007 von A. Linstädter und G. Baumann auf der Basis einer umfangreichen Literaturrecherche, d.h. unter Einbeziehung des aktuellen Forschungsstandes erstellt worden. Er ist sowohl auf die Vegetation des Untersuchungsgebietes als auch auf das Arteninventar anderer arider und semiarider Weidegebiete anwendbar und besteht aus einem Kern von 17 Merkmalen (**Tab. III.2-5**). Als Weiterentwicklung gegenüber bisher publizierten Merkmalskatalogen kann hier jedem Merkmal eine entsprechende Bedeutung für die Pflanzenantwort auf Beweidung (im Sinne einer Abwehr, Vermeidung oder Kompensation von Beweidung) zugeordnet werden.

Tab. III.2-5: Merkmalskatalog zur Klassifikation von Pflanzenfunktionstypen

Merkmalsklasse	Merkmal	Einteilung
<b>Lebensdauer</b>	Lebensdauer	Annuell / kurzzeitig perenn/ langfristig perenn
<b>Morphologie</b>	Spezifische Blattfläche (SLA)	Größenklassen
	Position der Erneuerungsknospen	Kryptophyt/ Hemikryptophyt/ Chamaephyt/ Phanerophyt
	Achsenorientierung	Keine (gestaucht/ Rosette)/ horizontal/ vertikal
	Vegetative Höhe der Pflanze	Größenklassen
	Deckung eines Individuums	Größenklassen
<b>Phänologie</b>	Blattphänologie (- lebensdauer)	Immergrün/ laubwerfend/ verdorrend oder ohne Blätter
	Hauptwachstumsperiode	Frühling/ Sommer/ Herbst/ Winter/ ganzjährig
	Unterirdische Speicherorgane	Vorhanden/ nicht vorhanden
<b>Abwehr von Beweidung</b>	Chemischer Fraßschutz	Sekundäre Pflanzenstoffe vorhanden/ nicht vorhanden
	Mechanischer Fraßschutz	Bedornung o. sparriger Wuchs vorhanden/ n.v.
	Sklerophyllie	Malakophyll/ sklerophyll
<b>Regeneration</b>	Ende der Fortpflanzungsperiode	Winter/ Frühling/ Sommer/ Herbst/ ganzjährig
	Höhe der Blütenstände	Größenklassen
	Fähigkeit zum Wiederaustrieb	Vorhanden/ nicht vorhanden
	Art der Ausbreitung	Exozoochor/ endozoochor/ anemochor/ autochor
	Fortpflanzung	Vegetativ/ sexuell/ beides

Die genannten Merkmale haben sich als charakteristisch für Veränderungen von Vegetation unter Beweidung erwiesen. Die Aufnahme der Merkmale für jede Pflanzenart wird in den Monaten März bis Mai 2007 im nördlichen Drâa-Einzugsgebiet erfolgen. Der Geländearbeit folgt die Einteilung in funktionelle Pflanzengruppen (gekennzeichnet durch bestimmte Merkmalskombinationen) mit Hilfe multivariater Statistik. Die erhaltenen PFTs werden darauf anhand von Beweidungsgradienten auf ihre Dynamik getestet. An dieser Stelle spielt die Wahl eines ökologisch aussagekräftigen Endpunkt



der Beweidungsgradienten eine zentrale Rolle. Wenn möglich, sollen auch hier Informationen von Schutzgebieten (alten Friedhöfen) herangezogen werden.

### ***Indikator: Verbissformen***

Als Indikator auf der Hierarchie-Ebene der Pflanzenindividuen werden zusätzlich spezifische Verbissmerkmale herangezogen. Dieser Ansatz ist auf kleineren räumlichen und zeitlichen Skalen anwendbar als Funktionstypen. Er kann jedoch auch zur Validierung der Pflanzenfunktionstypen und zur Kalibrierung der Weidegradienten genutzt werden. Als geeignete Arten für diese Form der Weidebeurteilung sind während der Feldforschung im Herbst 2006 weit verbreitete Zwergsträucher wie *Artemisia herba-alba* identifiziert worden. Analog zur Erstellung eines artspezifischen Merkmalskatalogs bei der Klassifikation der PFTs wird zum Berichtszeitpunkt ein Katalog von verbissbezogenen Merkmalen erstellt. Dabei wird auf Vorarbeiten anderer Weideökologen zurückgegriffen.

### ***Beziehung zwischen Niederschlag und pflanzlicher Biomasse***

Trotz einer engen Beziehung zwischen jährlichem Regenfall und Produktivität ist die jährliche Menge des Niederschlags nur schlecht geeignet, die Biomasseproduktion für ein gegebenes Jahr in Form eines jahresbasierten Index (RUE = Rain Use Efficiency) vorauszusagen. Aufgrund seiner enormen Bedeutung für die zentrale Fragestellungen dieses Problemkomplexes sowie für Fragen der assoziierten PKs Ma-L.1 und Ma-G.2 wird der Zusammenhang zwischen Niederschlag und realisierter pflanzlicher Biomasse über mehrere voneinander unabhängige Verfahren quantifiziert. Dabei stehen kurzfristige Ausschlussexperimente zur Quantifizierung der realen und potentiellen Produktivität der Vegetation für die Vegetationsperiode 2007/08 im Mittelpunkt, die von G. Baumann durchgeführt werden. Im Frühjahr 2007 erfolgt die gemeinsame Auswahl geeigneter Experimentalflächen durch Vertreter aller am PK Ma-L.2 beteiligten Arbeitsgruppen.

## **Stand der Arbeit an den Modellen**

### ***MOVEG Drâa***

Die Erstellung und Weiterentwicklung des Monitoringtools MOVEG Drâa für die Erfassung und Modellierung der natürlichen Vegetationsdynamik sowie deren Implementierung in vorhandene und zukünftige Module der GIS-Plattformen sowie des DSS-Tools werden seit November 2006 für das vegetationsökologische Teilprojekt B3 von Pierre Fritzsche übernommen. Im Berichtsjahr wurden die Arbeiten an der Erstellung der notwendigen GIS Grundlagen fortgesetzt. Im Zuge des Arbeitsaufenthalts von P. Poete im März 2006 mit Herrn Dr. M. Finkh wurden Validierungsdaten für die Klassifikation von Landsat TM Daten gesammelt, die die Grundlage für die erste flächenhafte Vegetationskarte für das Untersuchungsgebiet schufen. Im Laufe des Jahres 2006 wurde eine detaillierte flächenhafte Vegetationskarte erarbeitet und steht nun in verschiedenen Formaten zur weiteren Nutzung bereit. Diese Karte ist Grundlage für das gesamte Arbeitsgruppe Marokko, da sie erst-

mals flächenhafte Information über die Vegetation im Untersuchungsgebiet liefert. MOVEG Drâa wurde konzeptionell weiterentwickelt. Es ist als statistisches Modell auf der Basis von zeitlich und räumlich Hochaufgelösten Satellitendaten definiert. Dieses Modell ermöglicht die Erfassung, Analyse und Modellierung der (natürlichen) Vegetationsdynamiken im Einzugsgebiet des Drâa. Die Vegetationskarte dient als Grundlage für die Identifizierung und Validierung von Vegetationseinheiten.

Zur räumlichen Spezifizierung der weideökologischen Modelle wird das selbst entwickelte Monitoringtool MOVEG Drâa verwendet. Dieses Instrumentarium ermöglicht die Erfassung, Analyse und Modellierung der Vegetationsdynamiken im Einzugsgebiet des Drâa auf Basis zeitlich hoch aufgelöster Fernerkundungsdaten der Sensoren MODIS unter weiterer Verwendung von LANDSAT TM und SPOT VEGETATION. Die flächenhafte, kontinuierliche und zeitlich sehr hoch aufgelöste Erfassung phänologischer Abläufe im hochkomplexen, semiariden Drâa-Einzugsgebiet mit seiner Größe von ca. 34.600 km<sup>2</sup> ermöglicht eine sehr exakte Abbildung und Analyse der tatsächlichen saisonalen und interannuellen Vegetationsentwicklung. Durch die Korrelation der Daten des fernerkundlichen Monitorings mit den Klimaparametern Niederschlag und Temperatur können die Triggerfunktionen dieser Parameter für die Phänologie im Detail analysiert werden. Die Analyse langjähriger Zeitreihen der tatsächlich beobachteten, regionalen und lokalen Vegetationsdynamik findet Verwendung in der Modellierung der Vegetationsdynamik mit Szenarien aus den unterschiedlichen Klimamodellen.

MOVEG Drâa bietet insbesondere die notwendige Ergänzung sowohl für die Kalibrierung als auch für die Validierung der SAVANNA- und BUFFER-Modellergebnisse, sowie allgemeiner Vegetationsmodule verschiedener Modelle. Mit Hilfe der in den zweiten Projektphasen entstandenen gebietsweiten Landnutzungs- und regionalen Vegetationskarten des Einzugsgebietes unterscheidet MOVEG-Drâa verschiedene Vegetationseinheiten (Oasenflächen, sonstige Agrarflächen intensiver Bewirtschaftung, unterschiedliche Weideökosysteme) und ermöglicht hierbei auch die Trennung zwischen natürlicher, vorrangig niederschlagsbedingter Vegetationsdynamik und den Veränderungen der Landoberflächen durch Bewässerungslandwirtschaft oder Regenfeldbau. Weiterhin werden die Ergebnisse für die weitere Verfeinerung der bestehenden Vegetationskarten eingesetzt, da erstmals flächenhaft phänologische Reaktionsmuster zu einer verbesserten Differenzierung einzelner Pflanzengesellschaften zur Verfügung stehen. Das Hauptaugenmerk wird hierbei auf die naturnahen, für die Weidewirtschaft genutzten Weidegebiete gelegt. MOVEG DRÂA bewertet dabei nur die tatsächlich stattfindenden Veränderungen, unabhängig von der möglichen pastoralen Nutzung und der damit einhergehenden Degradation der Vegetation. Mit Informationen über raumzeitliche Nutzungsmuster unterschiedlicher Weidegebiete (PK Ma-G.2) kann damit eine sehr genaue Trennung zwischen natürlichen und pastoral beeinflussten Veränderungen vorgenommen werden. Diese Analysen führen zu einer Abschätzung des natürlichen Ressourcenpotenzials und damit zu einem Entscheidungswerkzeug für die Ernährungssicherung mobiler Viehhalter. Gleichzeitig liefert MOVEG Drâa so auch flächenhafte Informationen für die Definition verschiedener Weidetypen und die raumzeitlichen Muster ihrer Nutzung, die essentiell für die Modellierung des Weidemanagements mit BUFFER sind.

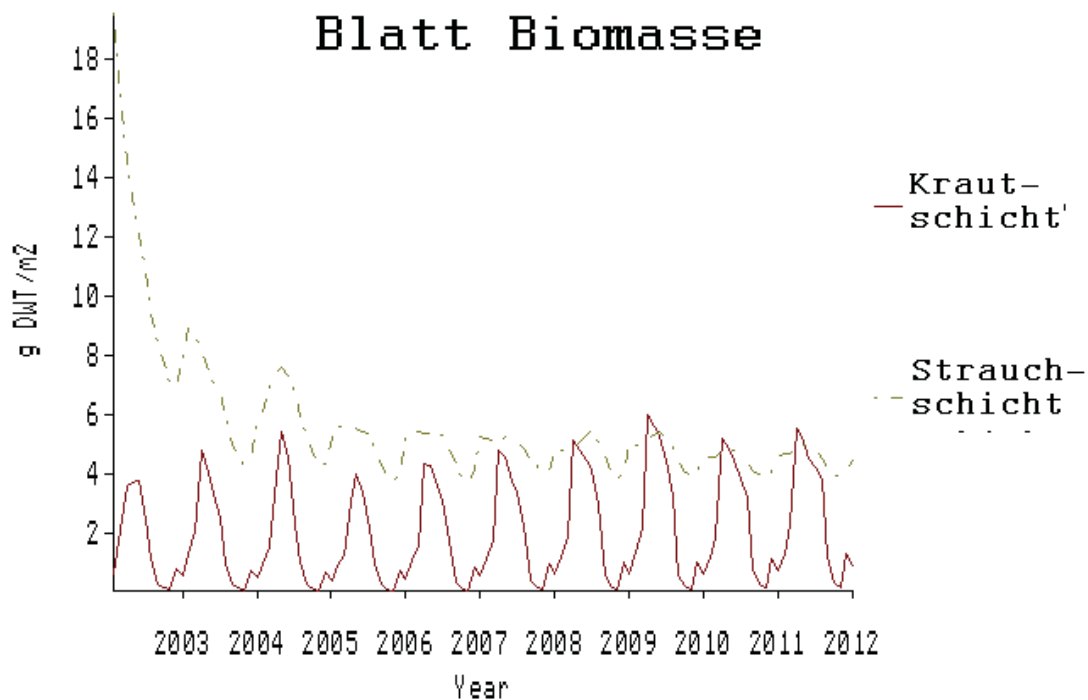
Ein großer Vorteil von MOVEG Drâa ist der Aufbau und die Nutzung einer phänologischen Fernerkundungsdatenbank mit sechzehntätigen MODIS NDVI-Daten (2000 bis heute fortlaufend), d.h. eines langjährigen Datensatzes kostenloser, frei verfügbarer Fernerkundungsdaten. Mit SPOT Vege-

tation steht ein zweiter Datensatz zur Modellierung und Validierung zur Verfügung. Damit können sowohl die Datenbankfortführung als auch das Monitoring und eventuelle Veränderungen der Modellparameter in Zukunft durch lokale Partner fortgeführt werden. Das Modellierungswerkzeug ist eine Eigenentwicklung der RSRG und wird den lokalen Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt. Die ressourcenbezogene Evaluierung und strategische Optimierung von Landnutzungssystemen bildet den zweiten Schwerpunkt in der IMPETUS-Abschlussphase.

### **SAVANNA**

Anhand der erfolgreichen Validierung des Modells dank unabhängiger Parameter konnte die Parametrisierung und Szenarienrechnung für das gesamte Einzugsgebiet mit einer umfangreichen Pflanzendatenbank begonnen werden. Dazu gehörte die Datenimplementierung anhand von Biomasseerhebungen und Flächenkartierungen der oromediterranen Vegetationseinheiten u.a. *Alysum spinosum*, *Genista* sc, *Zygophyllum*, *Hamada* sc., *Artemisia* h.-a. und *Theucium mideltense*, sowie *Stipa* cf. *Parviflora* und (sub)saharischen Gesellschaften u.a. *Atriplex nummularia*, *Convolvulus trab.*, *Acacia radd.*, in ihrer geografisch gestützten räumlichen Verbreitung und physiologischen Beschreibung.

Die Validierung anhand der Populationszahlen von *Artemisia herba-alba* hat gezeigt, obwohl nur Daten für die Jahre 2002 bis 2004 vorliegen, dass das Model mit dem Beginn der Simulation im Frühjahr 2002 schnell die Artenspezifische Dynamik und somit die Blühphase von *Artemisia* h.a. im Herbst 2003 aufgreift. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Umgebung entsprechend die physiologischen Parameter zur Beschreibung der einzelnen Vegetationstypen zutreffen.



**Abb. III.2.3-7:** Entwicklungsdynamik der Blattbiomasse (g Trockenmasse/m<sup>2</sup>) von Kraut- und Strauchschicht im Simulationszeitraum 2002-2012.

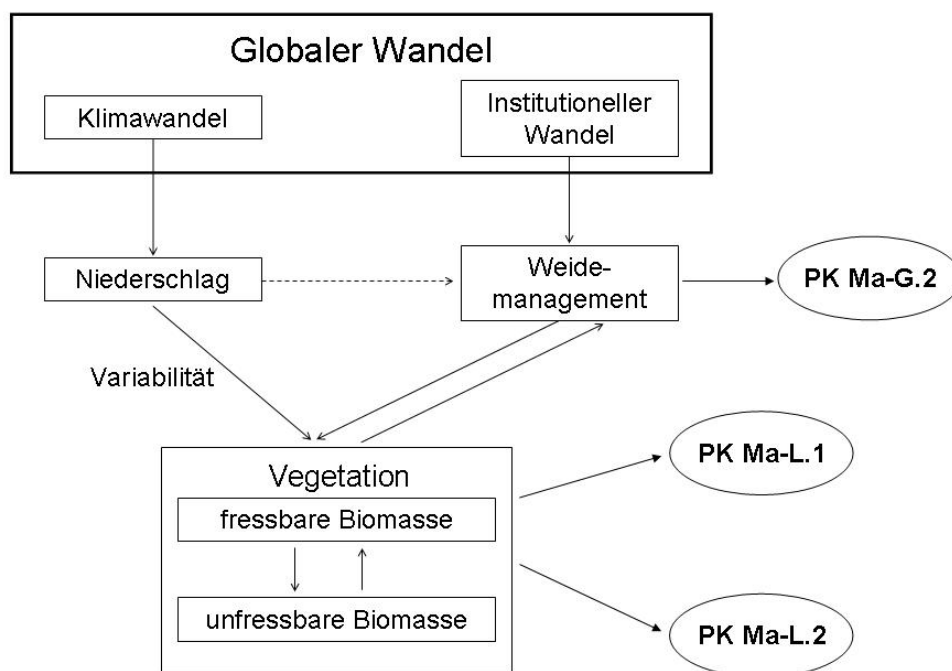
**Abb. III.2.3-7** zeigt die simulierte Blatt Biomasse für ein Kontrollpixel, welches sich im Teileinzugsgebiet der Commune von Ighil N'Oumgouna befindet. Dargestellt ist hier die Entwicklungsdynamik von Kraut- und Strauchschicht Blattbiomasse in einem Simulationszeitraum von 10 Jahren (2002-2012). Die entscheidende Tendenz in dieser Darstellung ist der starke Rückgang, von 18 g/m<sup>2</sup> (2002) auf 5 g/m<sup>2</sup> (2010) der Strauchschicht Blattbiomasse. Zugleich bemerkenswert ist aber auch ein geringfügiger Anstieg der Krautschicht von < 4 g/m<sup>2</sup> (2002) auf ~6 g/m<sup>2</sup> (2010). Die Erklärung für dieses Muster kann das selektive Fressverhalten der simulierten Tiere als Konsumenten im Teileinzugsgebiet sein. Eine entscheidende Größe hierbei ist die Verfügbarkeit von Blättern. Das Modellablaufschema wurden somit im Berichtszeitraum für das Untersuchungsgebiet weiter verfeinert. Insbesondere die schwierige Parametrisierung des Energiebedarfes der zu untersuchenden Tiere. Hier waren von besonderer Hilfe Diskussionen und Literatur lokaler Experten, insbesondere des Service d'élevage der ORMVAO.

## ***BUFFER***

Mit Hilfe des ökologischen Simulationsmodells BUFFER sollen die Auswirkungen von unterschiedlichen Beweidungsstrategien von Hirtennomaden auf Weidegebiete im Drâa-Einzugsgebietes untersucht werden. Das Modell befindet sich momentan in der Entwicklungsphase. Im Folgenden wird der momentane Stand des Modellkonzeptes umrissen. Um ein allgemeines Prozessverständnis auf der Ebene der Vegetation zu erlangen, soll zuerst ein Individuenbasiertes Modell

den Einfluss des Niederschlag und der Beweidungsintensität auf einzelne Individuen unterschiedlicher Pflanzenfunktionstypen (PFTs) herausarbeiten. Hierbei soll vor allem der Lebenszyklus von mehrjährigen holzigen Arten verstanden und Mechanismen herausgearbeitet werden, die die hochvariablen Umweltbedingungen in ariden Gebieten abpuffern können. Dieses Verständnis (bzw. der Output des Modells) wird zur Parametrisierung von BUFFER genutzt. Informationen zur Parametrisierung des Modells können aus früheren sowie zukünftigen Experimenten des Teilprojektes B3 gewonnen werden (s.o.)

BUFFER ist ein räumlich explizites, agentenbasiertes Simulationsmodell. Es bildet die Vegetation als Populationen von PFTs ab, deren Vorkommen und Zustand vor allem vom Niederschlag und der Beweidungsgeschichte bestimmt wird. Die Landschaft wird durch ein Gitter von rechteckigen Zellen gebildet, die zur besseren Interaktion mit anderen IMPETUS-Modellen (z.B. MOVEG DRÄA, LM) eine Zellgröße von 250x250m besitzen. Jeder Zelle wird abhängig von ihrer Lage ein bestimmtes Niederschlagsregime und ein potentielles Artenvorkommen (Weidetypp) zugeordnet. Die Lage bestimmt ebenfalls (abhängig von der angewendeten Strategie), wann eine Zelle während des Beweidungszyklus' genutzt werden kann. Die Zuordnung der einzelnen Zellen zu verschiedenen Weidetypen wird mit Hilfe von Weidekarten vorgenommen werden, die zurzeit im Rahmen des Teilprojektes B5 erstellt werden.



**Abb. III.2.3-8:** Kausaldiagramm als konzeptionelles Modell der in BUFFER berücksichtigten Prozesse und Parameter. Der Output des Modells ist nicht nur für den hier diskutierten Problemkomplex, sondern auch für die Problemkomplexe Ma-L.1 und Ma-G.2 relevant. Ein Flussdiagramm mit allen in BUFFER simulierten Prozesse findet sich im Zwischenbericht zum PK Ma-G.2.

Die Beweidung wird voraussichtlich prozessorientiert modelliert werden (Abb. III.2.3-8). Für jede Vegetationsperiode wird ein Wachstumsprozess angenommen, der (im Sinne eines spezifischen RUE-Zusammenhanges, s.o.) einerseits vom Niederschlag und andererseits vom Zustand der ein-

zelenen PFT-Populationen abhängt. Jedes Beweidungsereignis in diesem Zeitschritt reduziert die fressbare Biomasse und hat somit Einfluss auf die weitere Biomasse sowie die Reproduktion. Der Ausbreitungsprozess wird über Ausbreitungs- und Etablierungswahrscheinlichkeit von den einzelnen PFTs auf den jeweiligen Weiden realisiert werden. Die Nutzer (Hirten bzw. Nomadenhaushalte) sollen als autonome Agenten modelliert werden, die je nach Umweltbedingungen, dem Zustand des Weidesystems, ihrem Kapital sowie anderen äußeren Einflüssen (z.B. Nutzungsrechten, Verordnungen von staatlicher Seite) ihre Zugzyklen bestimmen. Hier sollen ebenfalls puffernde Mechanismen untersucht werden, welche von sozioökonomischer Seite aus Schwankungen im Einkommen der Nutzer abmildern können. Dies könnte beispielsweise der Zukauf von Futter in Notzeiten, sowie LKW-Transporte von Tieren zu günstiger gelegenen Weidegebieten sein. Als Output-Größen des Modells sind der Zustand der Vegetation (Biomasse und Zusammensetzung der PFTs) sowie der Besitzstand der Nutzer wie Weidevieh und Vermögen vorgesehen. Die drei Modelle SAVANNA, MOVEG Drâa und BUFFER haben durchweg die Simulation von niederschlags- und nutzungsabhängigen Vegetationsdynamiken zum Ziel. Dabei arbeiten sie jedoch auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen und haben entsprechend ihrer Herangehensweise, d.h. Basis, spezifische Schwerpunkte. Einen detaillierten Vergleich gibt **Tab. III.2-6**. Das Modell BUFFER hat einen deutlichen Schwerpunkt auf sozio-ökonomischen Aspekten der Weidenutzung ist stellt damit ein Bindeglied zu anderen Problemkomplexen dar, insbesondere zum PK Ma-G.2.

**Tab. III.2-6:** Vergleich der problemkomplexrelevanten Modelle

Kriterium/Modell	SAVANNA	MOVEG DRÂA	BUFFER
Raum: Auflösung	Gitterbasiert, Teilgebiet 140x140 mZelle Drâa ca.1km x 1km	Gitterbasiert mit Zellen von 250x250 m	Pflanze bzw. Größe einer Weidefläche (in Angleichung an MOVEG DRÂA auch 250x250 m)
Modelliertes Gebiet	Drâa-Teilgebiete (bereits modelliert); Ausweitung auf gesamtes Einzugsgebiet	Drâa-Einzugsgebiet Fallstudie: Ifre	Weidegebiete eines Unterstammes in der Fallstudie Ifre
Zeit: Auflösung	wöchentlich	16-Tagesschritte für die Jahre 2000 bis 2006	Abhängig vom Zugzyklus
Modellierter Zeitraum	2002-2025	2000-2006 → Vorhersage für IMPETUS-Szenarien (25 Jahre)	IMPETUS-Szenarien (25 Jahre), längere Zeiträume für Langzeitauswirkungen
Vegetation: Kleinste Einheit	Pflanze	Vegetationseinheiten	Pflanze (zum allgemeinen Verständnis des Beweidungseinflusses)
Vegetation: Größte Einheit	Kraut, Strauch, Baum	dito	Populationen von PFTs (im eigentlichen Modell)
Landnutzung: Gruppe	Schafe, Ziegen, Dromedare, Mensch	Nutzung nur implizit	Nomadenhaushalte im Untersuchungsgebiet
Input-Parameter	(i) Pflanzenverteilung (ii) Pflanzenphysiologie (iii) Pflanzenphysiometrie (iv) Klimamessdaten (v) Bodendaten (vi) Herdengrößen (vii) Geländemodell	(i) Modis-Daten (ii) Temperaturdaten aus LM-Modell (iii) Vegetationskarten (iv) Geländemodell (v) Spot Vegetation und Landsat TM als Vergleich	(i) Vegetationskarten (ii) Weidekarten (iii) Niederschläge (iv) Daten Weideausschluss (v) Daten aus SAVANNA-Parametrisierung (vi) PFT-Abundanzen (vii) Ethnologische Daten

			zum Weidemanagement
Output-Parameter	(i) Biomassedynamiken der Weidegebiete (NPP; grüne /tote bzw. oberird./ unterird. Biomasse) (ii) Nährstoffpools (iii) Tragfähigkeit	(i) Standing Crop (ii) Vegetation in Abhängigkeit vom Niederschlag	(i) Zustand der Vegetation (PFTs, Biomasse) (ii) Kapital der Nomaden (z.B. Herdengröße, Geld)
Basis	Räumlich explizit, prozess-orientiert Ökosystemmodell	Statistisch; Biomasse: Vegetationsindex-basiert; Nutzung: implizit über Korrektur	Stochastisches Simulationsmodell, räuml. explizit, agentenbasiert (Nomaden-Haushalte)
Verifizierung/ Validierung	(i) Abgleich mit Modellen BUFFER/MOVEG DRÂA (NDVI) (ii) Statistische Subpixel-Validierung	(i) Abgleich mit SAVANNA-/ BUFFER-Simulationen	(i) Abgleich mit SAVANNA/ MOVEG DRÂA (ii) Vergleich mit unabhängigen Daten
1. lauffähige Version	Bereits Fertigstellung Mitte 2007	Anfang 2008	Anfang 2008
Szenarien	(i) Klimaszenarien, (ii) Interventionsszenarien Landnutzung	Klimaszenarien	(i) Klimaszenarien; (ii) Landnutzungsszenarien, (iii) Interventionsszenarien
SDSS: PADRÂA	Indirekt als Input in BUFFER	Räumliche Aspekte integriert in PADRÂA	Direkte Umsetzung in PADRÂA

### Ausblick

Auf den beiden Klausurtagungen im Jahre 2006 in Bad Marienberg stand die Planung der räumlichen Informationssysteme (SDSS) mit Hilfe von Roadmaps im Vordergrund. Das Instrumentarium der Roadmap bot sich in inhaltlicher Erweiterung der SDSS-Roadmaps an, um für die 3. Antragsphase von IMPETUS einen ergebnisorientierten Arbeits- und Publikationsplan für die drei Problemkomplexe Ma-L.2, Ma-L.1 und Ma-G.2 zu erstellen. Hier wurden jeweils Teilfragen identifiziert, die eine gemeinsame Bearbeitung durch die Arbeitsgruppen Menz (Fernerkundung), Goldbach (Pflanzenernährung), Rössler (Ethnologie) und Hillebrand (Weideökologie) erfordern und für die Entwicklung eines SDSS essentiell sind. Die „Roadmap Publikationen“ enthält für jede der Teilfragen folgende Einträge: (i) Thema (Kurztitel), (ii) nötiger Input aus anderen Arbeiten, (iii) Genaue Fragestellung, (iv) Untersuchungsgebiet, (v) Schritte der Datenakquise und -auswertung, (vi) Bearbeiter der einzelnen Schritte, (vii) Zeitvorgabe für die einzelnen Schritte, (viii) Arbeitstitel der anvisierten Publikation, (ix) Autoren, (x) Relevanz/Input für die entsprechenden Modelle (v.a. MOVEG DRÂA und BUFFER), (xi) Relevanz/Input für Bedeutung für entsprechende SDSS.

Für den PK Ma-L.2 wurden – unter Spezifizierung der im Antrag genannten Kernfragen des Problemkomplexes – folgende Fragestellungen identifiziert und in der „Roadmap Publikationen“ detailliert geplant:

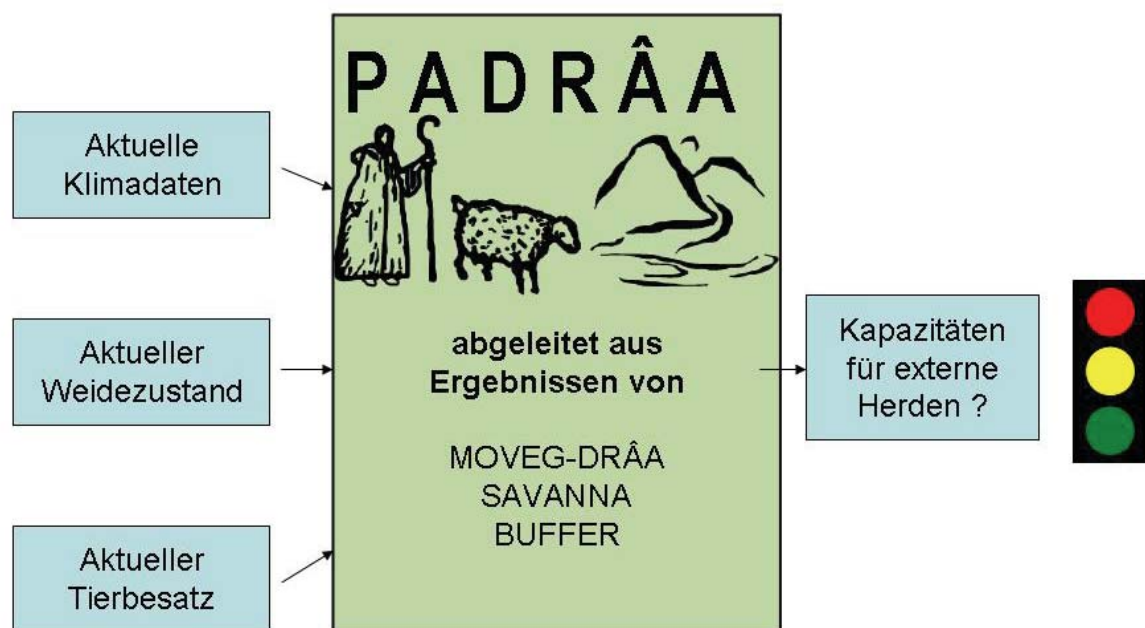
1. Welche Differenz besteht zwischen realer und potentieller Primärproduktion (NPP) für ein ausgewähltes, weidewirtschaftlich genutztes Gebiet in Marokko?
2. Lassen sich für die ariden Weidegebiete in Marokko Plant Functional Types in Bezug auf Beweidung klassifizieren? Haben diese einen weideökologischen Indikatorwert?



3. Lässt sich im Weidegebiet „Hoher Atlas“ für die Schonung der Weiden durch den „Agdal“ (zwischen Anfang März und dem 17. Mai jedes Jahres) eine weideökologische Erklärung finden, d.h. stellt der Agdal einen ökologischen Puffer dar? (Arbeitshypothese: Die geschonten Flächen weisen eine geringere Resilienz auf, d.h. ihre Produktivität haben sich nach einigen Jahren Ausschluss weniger verbessert als auf Flächen ohne solchen Schutz).
4. Wie verteilen sich von Berbernomaden genutzte Weidetypen im Raum? Nach welchen Kriterien werden Weiden lokal klassifiziert (Schnittstelle zum PK Ma-G.2)?
5. Welcher räumliche Zuwachs und welche Biomasse wird in den Weidegebieten produziert? Welche Populationsdynamiken treten auf?

### ***SDSS PADRÂA***

Im Rahmen des Problemkomplexes ist die Erstellung eines SDSS als Entscheidungshilfe zur Öffnung von Weidegebieten für Herden transhumanter Viehhalter im Hohen Atlas in Zeiten mit lokal begrenzten Dürren/schlechten Jahren geplant. Potentielle Anwender sind lokale Behörden (Kaits) unter Vermittlung der CBTHA. Als Capacity Building sind Schulungen der Anwender in GIS und evtl. der Aufbau eines einfachen, kommunal basierten Weide-Monitorings vorgesehen.



**Abb. III.2.3-9:** Konzept des Räumlichen Entscheidungshilfesystems PADRÂA (Système d'aide à la décision concernant la mise en oeuvre des Pâturages durables dans la vallée du Drâa).

## PK Ma-L.3 Risiken und Gefahren durch extreme Niederschläge: Überflutungen und Bodenerosion im Drâatal



**Abb. III.2.3-10:** Überflutete und zerstörte Felder bei Ameskar am 27.10.2006. Im Vordergrund betrachtet ein Bauer das Geschehen. Infolge desselben Niederschlagsereignisses wurde die Straße nach Ameskar vollständig zerstört, so dass sie bis heute (Februar 2007) nicht wieder hergestellt ist und die Dörfer der Region nur mit Maultieren erreichbar sind.

### Problemstellung

Extreme Niederschlagsereignisse treten in der Umgebung von Gebirgen aufgrund der zusätzlich zur atmosphärischen Instabilität stattfindenden erzwungenen Hebung der Luft besonders häufig auf. In semi-ariden Regionen stellt der stark erodierte Boden ein Risiko dar, weil die großen Wassermassen hier besonders leicht Zerstörungen mit sich bringen. Die verursachten Schäden – Überflutungen, Hangrutschungen und spontane Erosion auf der kleinen zeitlichen Skala, anhaltende Bodenerosion auf der langen Zeitskala – stellen neben der Aridität die wichtigste klimatische Bedrohung für die Menschen in der Drâa-Region dar. Neben den kurzfristigen wirtschaftlichen Schäden durch Vernichtung landwirtschaftlicher Güter (s. **Abb. III.2.3-10**) führt die anhaltende Erosion durch Wasserabfluss zu starken Sedimenttransporten in den Flüssen und trägt somit zur Versandung des Stausees „El Mansour Eddahbi“ bei, dessen Lâcher-Management ein wichtiges Werkzeug zur Steuerung der Wasserversorgung ist. Die Einflussmöglichkeiten des Menschen auf diese negativen Umwelteinflüsse durch Rekultivierung besonders bedrohter Hänge oder geeignete bauliche Maßnahmen werden auf ihre Wirksamkeit hin geprüft.

## Mitarbeiter

**Kai Born**, Henning Busche, Anna Zeyen, Kristina Piecha

## Zielsetzung

In dem Problemkomplex wird der Einfluss gezielter Maßnahmen (Aufforstung, Abflusskanäle, neue Staubecken) auf das zeitliche Verhalten des Abflusses auf unterschiedlichen Zeitskalen sowie auf Bodenerosion und Sedimenttransporte in den Stausee wird unter den für Marokko beschriebenen Klima- und Entwicklungsszenarien dargestellt. Am Ende der Entwicklung steht ein Modellkomplex, mit dessen Hilfe Was-wäre-wenn-Analysen und Szenarien berechnet werden können. Dabei stehen die Auswirkungen von Änderungen der zeitlichen (saisonalen) und räumlichen Verteilung des Niederschlags, Änderungen für Häufigkeiten von Starkniederschlägen und Schneeniederschläge im Vordergrund. Ziel der Arbeiten in 2006 waren die Auswertung von Niederschlagscharakteristika in Klimaszenarien im Hinblick auf Extremwerte für Marokko und die Einbindung verbesserter Bodendaten in das Erosionsmodell. Die Erstellung der Bodendatei ist das Ergebnis langjähriger Feldforschung in der Drâa-Region und stellt ein besonders herausragendes Ergebnis der bodenkundlichen Forschung in IMPETUS dar. Die weitere Forschung führt nun zur Bestimmung von Methoden zur Identifikation von extremen Abflussereignissen, aber auch von Risikogebieten.

## Modellierung

Die atmosphärischen Antriebsdaten werden mit SMGHYdraa (s. PK Ma-H.4) statistisch modelliert, unter Verwendung der aus der atmosphärischen Modellkette gewonnenen statistischen Parameter. Diese Daten werden auf der einen Seite in das SDSS SEDRAA (*Soil Erosion in the Drâa Region*) eingehen, das aus einer Weiterentwicklung des Bodenerosionsmodells PESERA (s. u.) und einer auf die Ziele angepassten interaktiven Benutzeroberfläche besteht. Eine weitere zu lösende Fragestellung ist die nach dem Zusammenhang zwischen Bodenerosion und der quantitativen Bestimmung der Sedimentationsraten im Stausee. Auf der anderen Seite dienen sie der Modellierung mit HYDRAA (PK Ma-H.1). Um die kurzfristigen Auswirkungen von Starkniederschlägen abzuschätzen, wird für die Abflüsse ein statistisches Werkzeug zur Bestimmung bzw. statistischen Analyse der extremen Abflüsse erstellt. Hier ist die wichtigste Frage, ob spezielle Risikoregionen bestimmt werden können.

Die Szenarien, die gerechnet werden, bestehen zum einen aus den IMPETUS Klimaszenarien, zum anderen aus Interventionsszenarien bzgl. der Rekultivierung (SEDRAA) und dem Bau weiterer Staudämme (HYDRAA).

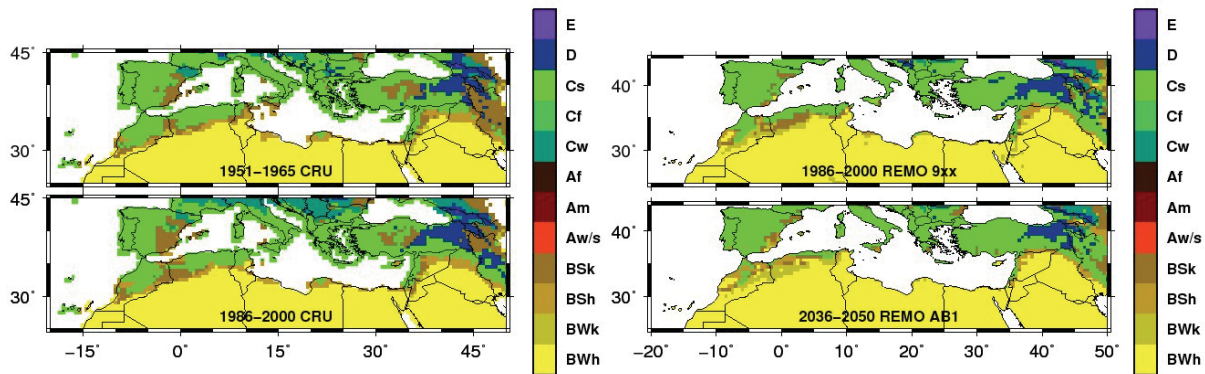
## Stand der bisherigen Arbeiten

### *Verhalten von Extremniederschlägen in Klimaszenarien für Marokko*

Im Rahmen der Klimamodellierung wurden in 2006 wichtige Arbeiten mit REMO abgeschlossen, die für Nordafrika eine einmalige Basis für die Bewertung regionaler Klimaänderungen darstellt

(Paeth et al., 2007). Als Triebkräfte für die Klimaänderung wurden hier neben den Treibhausgasemissionen des IPCC SRES-Szenarien A1B und B1 die Meeresoberflächentemperatur des Atlantik und, was erstmalig in einer so umfassenden Modellstudie geschehen ist, die auf Einschätzung der FAO basierende Landoberflächenänderung, projiziert bis 2050, berücksichtigt. In der Studie wurden Ensembles von je 3 Mitgliedern für die Zeiträume 1960-2000, 2000-2050 (SRES A1B) mit Landoberflächenänderungen, 2000-2050 (SRES A1B ohne Landoberflächenänderungen

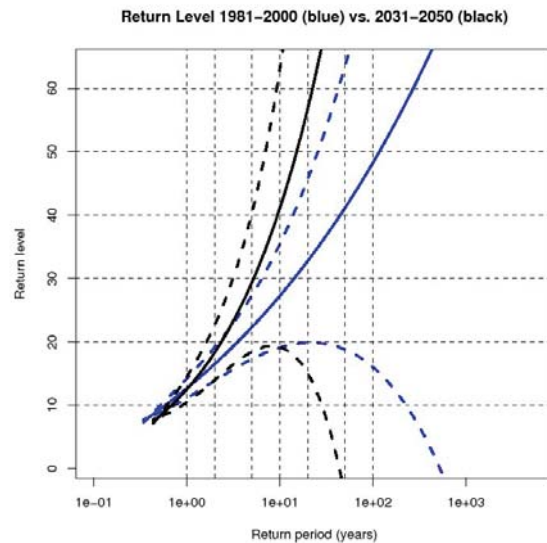
Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Tendenz zu trockeneren Klimaten vor allem im Nordwestafrikanischen Raum (**Abb. III.2.3-11**). Diese setzt den beobachteten Trend des 20. Jahrhunderts fort.



**Abb. III.2.3-11:** Die zukünftige Entwicklung der nach einem reduzierten Köppen-Klassifikationsschema dargestellten Klimazonen im Norden Afrikas, wie sie aus den CRU-Daten (Mitchell und Jones, 2005) und den mit REMO vorgenommenen Simulationen folgt.

Die Tendenz zu trockeneren Klimaten beinhaltet eine Tendenz zu geringeren Jahresniederschlägen, allerdings auch zu einer leichten Zunahme der Extremwerte. Diese Vermutung ließ sich in Paeth und Hense (2005) wegen der nicht-transienten Modellierung von Zeitscheiben nicht belegen. In der Vorbereitung auf diesen Problemkomplex wurden sowohl Stationsdaten in Ouarzazate, die seit 1930 vorliegen, als auch Modelldaten von REMO, die auf das Subcatchment des Beckens von Ouarzazate interpoliert wurden, im Hinblick auf die Entwicklung der extremen Niederschläge untersucht. Dabei wurde die Methodik der Extremwertanalyse mit Hilfe der Generalized Pareto Distribution (GPD) verwendet, wie sie z. B. Bordi et al. (2006) für Sizilien anwendet. Ein Ergebnis ist in **Abb. III.2.3-12** dargestellt: Die Wiederkehrzeit für tägliche Niederschläge, die einen bestimmten Schwellwert überschreiten, bestätigen die Entwicklung zu Jahren mit leicht niedrigeren Jahresniederschlägen, aber mit stärkeren Extremereignissen.

Diese Auswertungen zeigen, dass nicht nur Niederschlagssummen, sondern auch die statistischen Kenngrößen der Niederschlagsverteilungen für die Abschätzung der Bodenerosion benutzt werden müssen.



**Abb. III.2.3-12:** Wiederkehrwerte für tägliche Regensummen in der Periode 1981-2000 (blau) und 2031-2050 (schwarz), von REMO für das gegenwärtige Klima und das SRES Szenario A1B simuliert.

Eine Aufgabe der nächsten Phase besteht darin, die statistischen Eigenschaften von Niederschlagsereignissen, die an einem Ort gemessen werden, und den vorhergesagten Gebietsmitteln für Gitterboxen in Verbindung zu bringen. Bis jetzt existieren auf diesem Gebiet nur recht vage Aussagen (z. B. in Yano et al., 2004, Appendix B), die nicht ohne weiteres in den Bedarf dieses Problemkomplexes aufgenommen werden können.

### ***Erstellung von Karten der Bodeneigenschaften für die Erosionsmodellierung***

Im Rahmen des PK Ma-L.3 werden die Arbeiten an regionalen Karten der Bodeneigenschaften fortgesetzt. Bodendaten liegen im Untersuchungsgebiet nur für die ackerbaulich genutzten Oasen vor, welche ca. 2% der Gesamtfläche ausmachen. Flächenhafte Aussagen über die Bodencharakteristika werden aber im Rahmen der Problemkomplexe Ma-H.1, Ma-L.2 und Ma-L.3 benötigt, da sie wichtige Inputdaten für die Modelle SWAT, SAVANNA und PESERA darstellen. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich nicht um bodengenetische Karten handelt, sondern um Karten der Bodeneigenschaften.

Es wurden 211 Bodenprofile ausgewertet, welche alle wichtigen geologischen Einheiten des Drâa-Einzugsgebiets abdecken. Dabei wurden 78 Profile in der ersten Projektphase von B. Chafik angelegt, und 13 Profile stammen aus dem Projekt ROSELT/OSS (HCEFLCD, 2004). Die zu regionalisierenden Parameter ergeben sich aus dem Parameterbedarf der einzelnen Modelle. Es handelt sich dabei um die folgenden Bodeneigenschaften:

1. Mächtigkeit des Profils
2. Mächtigkeit der Horizonte
3. Skelettgehalt pro Horizont
4. Textur (Sand-, Schluff-, und Tongehalt) pro Horizont

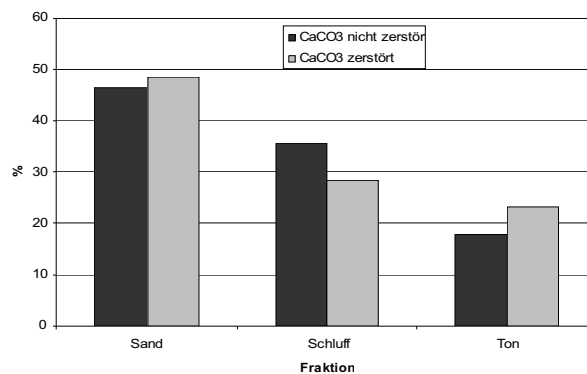


5. Kalziumkarbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ) pro Horizont
6. Organischer Kohlenstoff (Corg) pro Horizont
7. Nitratgehalt ( $\text{NO}_3$ ) pro Horizont
8. pH-Wert pro Horizont

Dabei ist zunächst eine Generalisierung in Form eine Reduktion der Horizonte notwendig. Im Gelände wurden bis zu 7 Horizonte in einem Profil identifiziert. Alle Profile werden auf ein Maximum von zwei Horizonten aggregiert, da die Anzahl der Stichproben für Profile mit mehr als zwei Horizonten relativ gering ist und die Zahl der zu regionalisierenden Parameter mit jedem Horizont um 9 Parameter steigt. Zusammengefasst werden immer diejenigen benachbarten Horizonte, die sich in ihren Merkmalen am ähnlichsten sind.

### ***Feld- und Laborarbeiten***

Die Methodik der Aufnahme und Analyse der Böden sind bei den drei Datenquellen mit drei Ausnahmen identisch. Die elektrische Leitfähigkeit wird in den Arbeiten von Chafik (in Vorbereitung) und HCEFLCD (2004) in der Gleichgewichtsbodenlösung angegeben, in der eigenen Arbeit dagegen im 1:5 – Extrakt. Die Werte werden auf den gesättigten Wassergehalt normiert. Der Wassergehalt wird dabei nach Gavlak (2003) aus der Bodenart abgeschätzt. Darüber hinaus gibt es Unterschiede bei der Vorbehandlung der Proben für die Korngrößenanalytik. Chafik (in Vorbereitung) hat vor der Durchführung der Analytik leichtlösliche Salze ausgewaschen und Karbonat zerstört, beides wurde in den eigenen Analysen und denen von HCEFLCD (2004) nicht durchgeführt. Vor allem für die Bewertung der hydrologischen Eigenschaften der Böden ist es essentiell, die Korngrößenverteilung so abzubilden, wie sie im Gelände vorliegt, d.h. ohne Karbonat zu zerstören. Um die methodischen Unterschiede rechnerisch zu bereinigen, wurde an 28 Proben Doppelbestimmungen durchgeführt, d.h. die Korngröße wurde mit und ohne Auswaschung von Salzen bzw. Zerstören von Karbonat bestimmt. Dabei wurde festgestellt, dass das Auswaschen von Salzen keinen Effekt auf die Verteilung der Korngrößen hatte, so dass dieser Faktor nicht korrigiert werden musste. Anders verhält sich der Einfluss der Zerstörung von  $\text{CaCO}_3$ , wie **Abb. III.2.3-13** zeigt.



**Abb. III.2.3-13:** Einfluss der Karbonatzerstörung auf die Korngrößenverteilung.

Hierbei wird deutlich, dass nach der Zerstörung von  $\text{CaCO}_3$  weniger Partikel in der Schlufffraktion vorliegen, dagegen aber geringfügig mehr Partikel in der Sandfraktion und deutlich mehr in der Tonfraktion. Dies lässt sich durch die verkittende Wirkung von Karbonat erklären (vgl. Scheffer & Schachtschabel, 2002, S.196). Tonteilchen werden gebunden, so die so entstandenen Aggregate dem Schluff zugerechnet werden. Bei der Zerstörung des Karbonats werden auch diese Bindungen zerstört, so dass sich das Korngrößenspektrum von Schluff zu Ton verschiebt. Aus den Doppelbestimmungen ergeben sich lineare Zusammenhänge zwischen den Anteilen an Sand, Schluff und Ton vor und nach der Zerstörung von Karbonat. Mit Hilfe von Regressionsgleichungen wurde die Bodenart korrigiert, so dass nun Korngrößen unter Berücksichtigung von Karbonat für alle Proben vorliegen. Die  $r^2$ -Werte dieser Regressionen liegen bei 0.86 (Sand), 0.71 (Schluff) und 0.69 (Ton).

### **Regionalisierung**

Im Anschluss an diese Vorarbeiten wird eine geeignete Methode zur Regionalisierung ausgewählt. In der Bodenkunde existieren nach McBratney (2003) drei generelle Regionalisierungsansätze: rein geostatistische Ansätze, die Regionalisierung aus anderen, bekannten Bodendaten und die Regionalisierung über die CORPT-Faktoren. Wie in IMPETUS (2006) gezeigt, ist die Extrapolation über rein geostatistische Verfahren nicht anwendbar, da auf Basis der vorhandenen Daten keine interpretierbaren Variogramme erstellt werden können. Wie eingangs erwähnt, stehen Bodendaten nur für ca. 2% der Fläche zur Verfügung. Daher ist auch die Regionalisierung über bekannte Bodendaten nicht möglich. Die CORPT-Faktoren bezeichnen die fünf bodenbildenden Faktoren nach Jenny (1941), nämlich das Klima (climate C), die Biosphäre (organisms O), das Relief (relief R), das Ausgangsgestein (parent material P) und die Zeit (time T). Diese Faktoren werden nun, soweit bekannt, als Kovariablen für die Regionalisierung herangezogen.

Tabelle **Tab. III.2-7**: Zur Regionalisierung verwendete CORPT-Faktoren fasst die vorhandenen CORPT-Faktoren, deren Skalenniveaus und ihre Datenquellen zusammen. Zu den Faktoren Biosphäre und Zeit stehen keine Informationen zur Verfügung.

**Tab. III.2-7:** Zur Regionalisierung verwendete CORPT-Faktoren.

CORPT-Faktor	Parameter	Skalenniveau	Quelle
Climate	mittlerer Jahresniederschlag	metrisch	Schulz (2006)
	Jahresdurchschnittstemperatur	metrisch	Schulz (2006)
Relief	primaere Reliefparameter	metrisch	berechnet aus SRTM-DGM
	sekundaere Reliefparameter	metrisch	berechnet aus SRTM-DGM
	tertiaere Reliefparameter	nominal	berechnet aus SRTM-DGM
Parent material	Interpretationen der Geologischen Karte 1:500.000	nominal	abgeleitet aus ..... (19xx)
	Interpretationen der Geologischen Karte 1:200.000	nominal	abgeleitet aus ... (19xx)



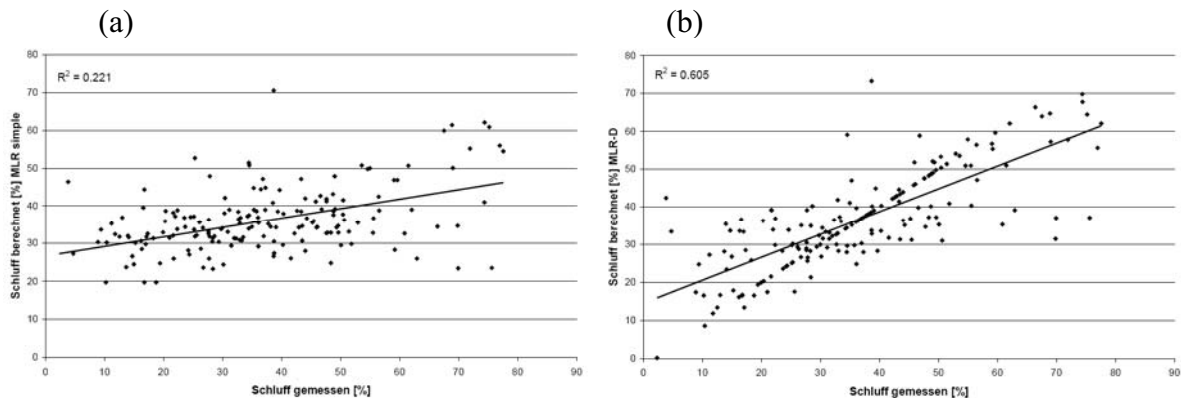
Zunächst wird mittels Korrelations- und Varianzanalyse für den bivariaten Fall der Einfluss der verschiedenen CORPT-Faktoren auf die Varianz der Bodenparameter getestet. Dabei findet die Korrelationsanalyse für den Fall der metrischen Kovariablen Anwendung, die Varianzanalyse für die nominalskalierten Kovariablen. Die bivariaten Analysen ergaben nur sehr schwache statistische Zusammenhänge, wie Tabelle **Tab. III.2-8** für das Beispiel des Schluffgehalts im Unterboden demonstriert.

Wendet man auf dieses Beispiel des Schluffgehalts die schrittweise multiple lineare Regression (MLR) an, so werden die Kovariablen mittlerer Jahresniederschlag, Einzugsgebiet des Punktes, Exposition und die Koordinate in x-Richtung in die Gleichung einbezogen (**Tab. III.2-8**.) zeigt das Ergebnis der schrittweisen MLR. Da in die MLR nur metrisch skalierte Kovariablen einbezogen werden können, überrascht das Bestimmtheitsmaß von 0.22 nicht.

**Tab. III.2-8:** Signifikante bivariate Korrelationen mit dem Schluffgehalt des unteren Layers.

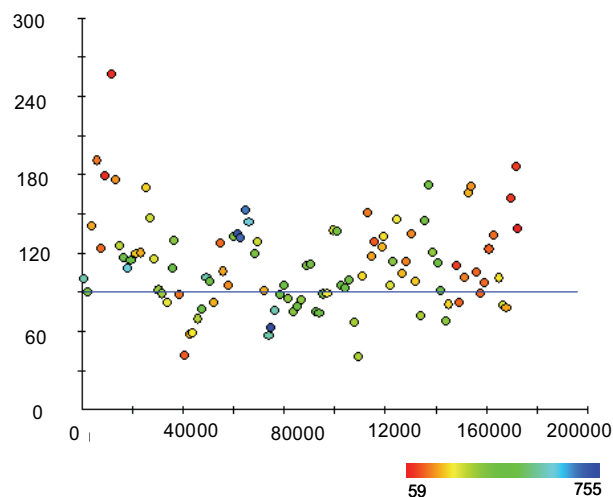
Skalierung	Parameter	r	r <sup>2</sup>
metrisch	Geländehöhe	0.265	0.07
	Hangneigung	0.295	0.09
	Hangneigung geglättet mit mean-Filter	0.297	0.09
	Exposition	0.206	0.04
	Reliefenergie im Umkreis von 30 m	0.286	0.08
	Reliefenergie im Umkreis von 90 m	0.283	0.08
	Reliefenergie im Umkreis von 300 m	0.301	0.09
	Einzugsgebiet des Punktes	0.224	0.05
	Sonneneinstrahlung im Winter	0.239	0.06
	Relief Position Index (RPI)	0.217	0.05
	RPI geglättet mit mean-Filter	0.218	0.05
	Slope Length Factor geglättet mit mean-Filter	0.244	0.06
	Topographic Wetness Index (TWI)	0.262	0.07
	TWI geglättet mit mean-Filter	0.266	0.07
	Distanz zum Gerinne	0.279	0.08
	Jahresdurchschnittstemperatur	0.248	0.06
mittlerer Jahresniederschlag	0.314	0.1	
nominal	Reliefposition nach Buivydaite (2004)	0.374	0.14
	Stratigraphie (Geol. Karte 1:200.000)	0.387	0.15
	Geochemischer Gesteinstyp (Geol. Karte 1:500.000)	0.374	0.14
	Makrolandform nach Brabyn (1996)	0.447	0.20

Um sowohl metrisch als auch nominal skalierte Kovariablen in die Analyse mit einbeziehen zu können, wird das Verfahren der multiplen linearen Regression mit Dummydaten (MLR-D) (Bahrenberg et al, 2003) genutzt. Neben den im Rahmen der schrittweisen MLR identifizierten Kovariablen werden die nominalskalierten Variablen Reliefposition nach Buivydaite (2004) sowie *Makrolandforms* nach Brabyn (1996) genutzt. **Abb. III.2.3-14b**) zeigt das Ergebnis dieses Verfahrens, mit dessen Hilfe ein r<sup>2</sup> von 0.61 erzielt werden konnte.



**Abb. III.2.3-14:** a) Ergebnis der schrittweisen MLR b) Ergebnis der MLR mit Dummyvariablen für den Parameter Schluffgehalt im unteren Layer.

Ein häufiges Verfahren in der Bodenkunde ist das *Regression Kriging*, bei dem im Anschluss an die Regressionsanalyse die Residuen mit dem geostatistischen Verfahren des *Kriging* extrapoliert werden. Eine Vielzahl von Studien hat ergeben, dass mit dieser Methode die besten Ergebnisse bei der Extrapolation von Bodendaten erzielt werden können (Odeh et al.; 1994, Odeh et al, 1995; Herbst, 2001; Kalivas, 2002). Es werden also im Folgenden die Variogramme der Residuen erstellt. **Abb. III.2.3-15** zeigt das Variogramm der Residuen für den Schluffgehalt im 2. Layer. Es ist kein nachbarschaftlicher Zusammenhang zwischen den Residuen des Schluffgehalts erkennbar, das Variogramm ist nicht interpretierbar. Daher ist die Methode des *Regression Kriging* im vorliegenden Fall nicht anwendbar.



**Abb. III.2.3-15:** Variogramm der Residuen für den Schluffgehalt im 2. Layer.

Das oben beschriebene Verfahren der MLR mit Dummydaten wurde nun für alle Bodenparameter durchgeführt. **Tab. III.2-9** zeigt das Ergebnis dieser Analyse. Aus den Residuen der Parameter ergibt sich in keinem Fall ein interpretierbares Variogramm.

Die niedrigen Bestimmtheitsmaße für die Tiefe der Layer lassen sich aus dem vorangegangenen Verfahren der Aggregation der Profile auf zwei Horizonte erklären. Die Mächtigkeit dieser Layer

folgt nun nicht mehr einer von den CORPT-Faktoren beeinflussten Bodenbildung, sondern ist nur aufgrund der Aggregation entstanden. Einen sehr guten Zusammenhang zwischen der Mächtigkeit und den CORPT-Faktoren *darf* es also gar nicht geben. Im Folgenden wird die Mächtigkeit der Horizonte aus der Gesamtmächtigkeit des Profils und der Mächtigkeit des 2. Layers berechnet. Der niedrige  $r^2$  – Wert des pH-Werts im oberen Layer ist durch statistische Einschränkungen bedingt. Um die MLR mit Dummyvariablen anwenden zu können, müssen die Parameter auch innerhalb der Kategorien der nominalskalierten Variablen normalverteilt sein. Dies ist beim pH-Wert des oberen Layers nicht der Fall, so dass keine nominalskalierte Kovariable in die Gleichung eingehen konnte. Zur Regionalisierung wird nun die Korrelation mit dem pH-Wert des zweiten Layers ausgenutzt, das Bestimmtheitsmaß liegt bei 0.64.

**Tab. III.2-9:** Ergebnis der MLR mit Dummyvariablen.

Parameter	1. Layer $r^2$	2. Layer $r^2$
Profiltiefe [cm]	0.541	
Tiefe [cm]	0.319	0.087
Skelettgehalt [Gew.-%]	0.73	0.574
Skelettgehalt [Vol.-%]	0.632	0.545
Sandgehalt [%]	0.571	0.600
Schluffgehalt [%]	0.525	0.605
Tongehalt [%]	0.709	0.706
CaCO <sub>3</sub> [%]	0.393	0.382
C <sub>org</sub> [%]	0.516	0.495
NO <sub>3</sub> [%]	0.62	0.421
pH-Wert	0.131	0.779

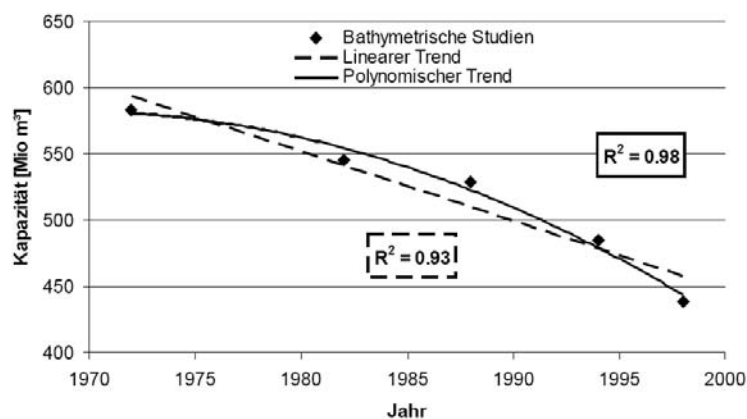
Die in dieser Arbeit erreichten Bestimmtheitsmaße liegen im Bereich der Ergebnisse anderer Studien zur Regionalisierung von Bodeneigenschaften. So fanden Odeh et al. (1994) Bestimmtheitsmaße von 0.41 (Tiefe des A-Horizonts), 0.42 (Tongehalt des Unterbodens), 0.47 (Profiltiefe) und 0.83 (Skelettgehalt des Oberbodens). Diese Ergebnisse beziehen sich auf eine 24 ha große Testsite in Süd-Australien, die zugrunde liegenden Bodendaten wurden an 232 sample Points erfasst. Moore et al. (1993) erzielten  $r^2$  – Werte zwischen 0.41 und 0.64 auf einer 5.4 ha großen Testsite in Colorado. Dazu nutzen sie die Daten von 231 Beprobungsstellen. Für ein Gebiet von der Größe des Dräa-Einzugsgebiets ist derzeit keine vergleichbare Arbeit bekannt.

Die sich aus der Analyse ergebenden Regressionsgleichungen werden nun mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems berechnet. Es kommt die Software ArcINFO zum Einsatz, da hiermit die Berechnung über die Skriptsprache AML (Arc Macro Language) automatisiert werden kann. Somit liegen die Karten der Bodeneigenschaften als ESRI Grids vor.

### ***Modellierung der Erosion durch Wasser mit dem Modell PESERA***

Bathymetrische Studien des Stausees „El Mansour Eddahbi“ zeigen einen Kapazitätsverlust des Stausees von 25 % in den ersten 25 Jahren seit dem Bau der Staumauer. Daraus errechnet sich eine

Erosionsrate im Einzugsgebiet des Stausees von 4,6 t/ha/Jahr. In Abhängigkeit von der Art des statistischen Zusammenhangs ergibt sich aus diesen Daten eine vollständige (polynomischer Trend) bzw. 50 % -ige (linearer Trend) Verlandung des Reservoirs bis 2025 (vgl. **Abb. III.2.3-16**). Die Spannweite dieser Ergebnisse zeigt bereits, dass eine Vorhersage mit solch einfachen Modellen nicht möglich ist. Daher wird im Rahmen des PK Ma-L.3 ein SDSS SEDRAA (*Soil Erosion in the Drâa Region*) entwickelt. E baut auf dem räumlich expliziten Erosionsmodell PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assessment) auf, welches aufgrund von Informationen zu Relief, Boden, Vegetation und Klima die pro Rasterzelle erodierte Menge Boden in t/ha/Monat ausgibt. Aus den Ergebnissen dieses Modells wird einerseits eine Karte des aktuellen Erosionsrisikos abgeleitet, andererseits wird der Einfluss des Klimawandels auf die Erosion abgeschätzt. Darüber hinaus wird mit Hilfe von Interventionsszenarien die Auswirkung von Maßnahmen gegen die Erosion bewertet.



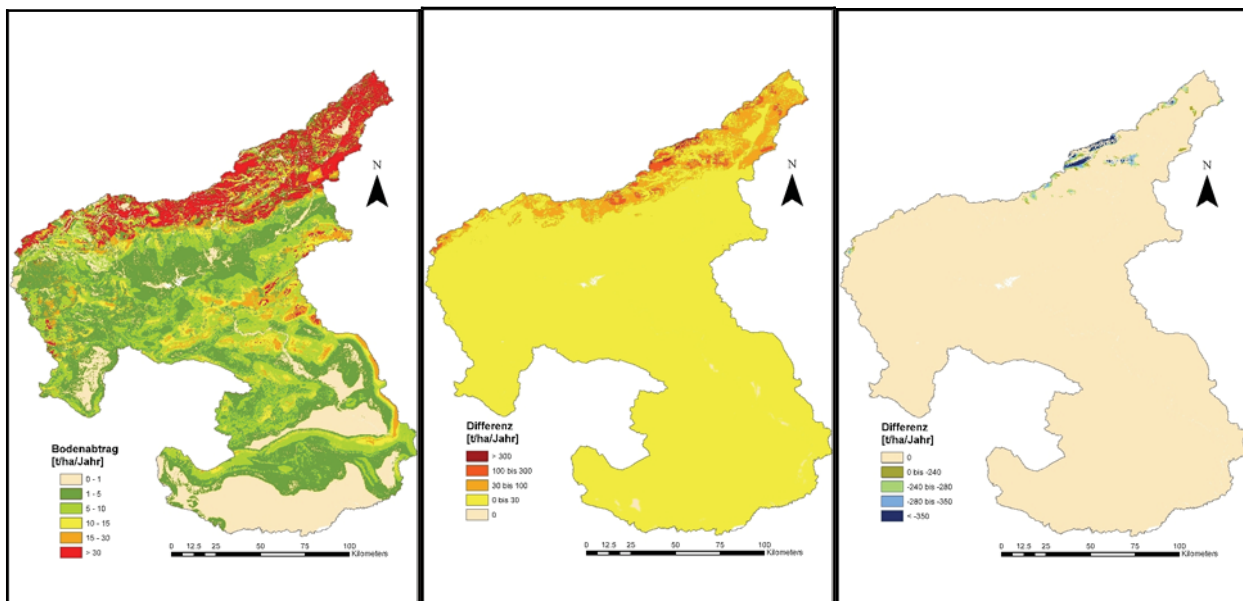
**Abb. III.2.3-16:** Entwicklung der Kapazität des Stausees "El Mansour Eddahbi" (Datenquelle: DRH)

Modellrechnungen ergeben eine mittlere Erosionsmenge von 18.6 t/ha/Jahr. Im Einzugsgebiet des Stausee „El Mansour Eddahbi“ ergibt sich sogar eine Menge von 34.9 t/ha/Jahr (vgl. **Abb. I-II.2.3-17a**). Diese im Gegensatz zu der errechneten Erosionsrate von 4.6 t/ha/Jahr deutlich überschätzte Erosionsrate rührt daher, dass das Modell PESERA die Prozesse der Deposition und Akkumulation nicht berücksichtigt. Die räumliche Verteilung wurde wie in IMPETUS (2006) beschrieben in Form eines Modell-Modell-Vergleichs zunächst als realistisch eingeschätzt. Zur Validierung der Modellergebnisse wurde ein Fernerkundungsansatz getestet (Haboudane, 2002), der sich jedoch als in der Region des Drâa als nicht anwendbar herausstellte. Da keinerlei Messung über die Menge und die räumliche Verteilung der Erosion im Einzugsgebiet vorliegen, wird derzeit getestet, ob eine indirekte Validierung der Modellergebnisse über den Abfluss und die Vegetationsdichte möglich ist.

Zur Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf die Erosionsraten wurde ein erstes, fiktives Klimaszenario als Sensitivitätsstudie berechnet. Dieses Szenario geht von der Annahme aus, dass die Temperatur um 3°C ansteigt und die Variabilität der Niederschläge bei gleich bleibender Niederschlagsmenge um 30 % zunimmt. Diese Annahmen basieren in ihrem Trend, nicht jedoch in den Zahlenwerten, auf den mit dem Modell REMO im Rahmen dieses PK berechneten Tendenzen. Aufgrund dieser Annahmen wird ein Anstieg der mittleren Erosionsrate um 9.2 t/ha/Jahr simuliert (vgl. **Abb. III.2.3-17b**). Durch die gleich bleibende absolute Niederschlagsmenge und die gleich-

zeitig steigenden Temperaturen nimmt die Dichte der Vegetation weiter ab, so dass deren schützende Funktion zurückgeht. Darüber hinaus erhöht sich die erosive Wirkung des Niederschlags durch dessen höhere Variabilität. Die Kombination dieser beiden Faktoren bei gleich bleibenden Landnutzungs- und Bodenverhältnissen bewirkt diesen Anstieg der Erosionsrate. Dabei konzentriert sich dieser Anstieg vor allem auf die Region des Hohen Atlas, die die steilsten Hänge aufweist. Darüber hinaus ist hier die absolute Niederschlagsmenge am höchsten, so dass ein Anstieg der Variabilität sich hier besonders drastisch auswirkt.

Ein erstes Interventionsszenario, ebenfalls als Sensitivitätsstudie zu verstehen, nimmt eine Aufforstung der am stärksten von Erosion betroffenen Gebiete im Hohen Atlas an. Dabei werden 275 km<sup>2</sup> Fläche virtuell aufgeforstet unter der Annahme des heutigen Klimas. Diesem Szenario zufolge wird die Erosionsrate im Einzugsgebiet des Stausees um 6.1 t/ha/Jahr reduziert (vgl. **Abb. III.2.3-17c**). Die Änderung der Landnutzung von „Steppe“ zu „Wald“ erhöht hier die schützende Wirkung der Vegetation. Dabei wird die Vegetationsdichte innerhalb der Aufforstungsfläche unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen modellintern berechnet. Hierdurch wird ausgeschlossen, dass unrealistisch hohe Angaben zur Dichte der Aufforstungsflächen gemacht werden. Dennoch handelt es sich noch nicht um ein realistisches Interventionsszenario, da die steilen Hänge in diesem Bereich des Einzugsgebietes eine Aufforstung unwahrscheinlich machen. Die Eignung des Modells zur Abschätzung der Auswirkungen solcher Interventionen ist damit jedoch unter Beweis gestellt.



**Abb. III.2.3-17:** a) Status Quo Erosionsrisiko b) Differenz zwischen Status Quo und Klimaszenario c) Differenz zwischen Status Quo und Aufforstungsszenario

Die Resultate dieser ersten Modellläufe sind plausibel. Im nächsten Schritt wird nun die Parametrisierung des Modells weiter verbessert, indem die oben beschriebenen Karten der Bodeneigenschaften sowie die aus Satellitenbildern abgeleiteten Daten der Vegetationsdichte (Teilprojekt B3) integriert werden. Darüber hinaus werden die erwähnten Möglichkeiten der indirekten Validierung getestet.

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

Surch die Schulungen in Ouarzazate zum Thema „GIS-Anwendungen“ konnte ein breiter Interessentenkreis für den PK Ma-L.3 gewonnen werden:

- ORMVA Ouarzazate, Abteilung Bodenkunde (M. Tazi, Chef der ORMVAO ist M. Gharbaoui).
- Service Eau Ouarzazate (M. Sabbar). Angebot, Trübungsdaten zur Validierung des Modells zu liefern.
- ABH Souss Massa, Agadir (M. Makroum).
- Haut Commissariat des Eaux et Forets et la Lutte contre la Desertification, Rabat (M. Yassin). M. Yassin ist an der Verwendung des SDSS SEDRAA interessiert.

### Literatur

- Bahrenberg, G., Giese, E., Nipper, J. (2003). Statistische Methoden in der Geographie, Band 2 Multivariate Statistik. Berlin, Stuttgart, Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung.
- Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta, and A. Sutera, 2006: Extreme value analysis of wet and dry periods in Sicily. *Theor. Appl. Climat.* 87, 61-71.
- Born, K., H. Paeth and D. Jacob, 2007: Assesment of future extreme rainfall characteristics in South Morocco from regional climate modelling. Submitted.
- Brabyn, L. (1996). Landscape Classification Using GIS and National Digital Databases. Canterbury, New Zealand, University of Canterbury.
- Buivydaite, V. V., Mozgeris, G. (2004). Digital Land Surface Analysis: on Possibilities of Applications in Soil Survey. Eurosoil 2004, Freiburg, Germany.
- Chafik, B. (in Vorbereitung): Böden des Drâa-Einzugsgebietes.
- Gavlak, R., Horneck, D., Miller, R.O., Kotuby-Amacher, J. (2003). Soil, plant and water reference methods for the western region. WCC-103 Publication, Western Coordinating Committee on Nutrient Mangement.
- Haboudane, D., Bonn, F., Royer, A. (2002). Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes. *Int. J. Remote Sensing* 23(18): 3795-3820.
- Haut Commissariat aux Eaux et Forets et à la Lutte Contre la Desertification (HCEFLCD) [Ed.] (2004): Rapport inter-médiaire du deuxième avenant de l'oservatoire ROSELT/OSS d'Issougui.
- Herbst, M. (2001). Regionalisierung von Bodeneigenschaften unter Berücksichtigung geomorphometrischer Strukturen für die Modellierung der Wasserflüsse eines mikroskaligen Einzugsgebiets. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- IMPETUS [Ed.] (2006): Second final report 2003 – 2006.
- Jenny, H. (1941). Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. New York, McGraw-Hill.
- Kalivas, D. P., Triantakontantis, D.P., Kollias, V.J. (2002). Spatial Prediction of two soil properties using topographic information. *Global Nest: the International Journal* 4(1): 41-49.
- McBratney, A. B., Mendonca Santos, M.L., Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Moore, I. D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., Peterson, G.A. (1993). Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 57: 443-452.
- Odeh, I. O. A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J. (1994). Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. *Geoderma* 63: 197-214.
- Odeh, I. O. A., McBratney, A.B., Chittleborough, D.J. (1995). Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* 67: 215-226.

- Paeth, H. and A. Hense, 2005: Mean versus extreme climate in the Mediterranean region and its sensitivity to future global warming conditions. *Meteorologische Zeitschrift* 14, 329-347.
- Paeth, H., K. Born, K.; R. Podzun and D. Jacob, 2005: Regional dynamical downscaling over West Africa: Model evaluation and comparison of wet and dry years. *Meteorologische Zeitschrift* 14, 349-367.
- Paeth, H., K. Born, R. Girmes, R. Podzun and D. Jacob, 2007: Projected significant drying and warming in tropical Africa due to land-use changes. Submitted.
- Scheffer & Schachtschabel (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart
- Schulz (2006): *Analyse schneehydrologischer Prozesse und Schneekartierung im Einzugsgebiet des Oued M'Goun, Zentraler Hoher Atlas (Marokko)*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Yano, J.-I., R. Blender, C. Zhang, and K. Fraedrich., 2004: 1/f - Noise and pulse-like events in the tropical atmospheric surface variabilities. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 130, 1697-1721.



### III.2.4 Gesellschaft

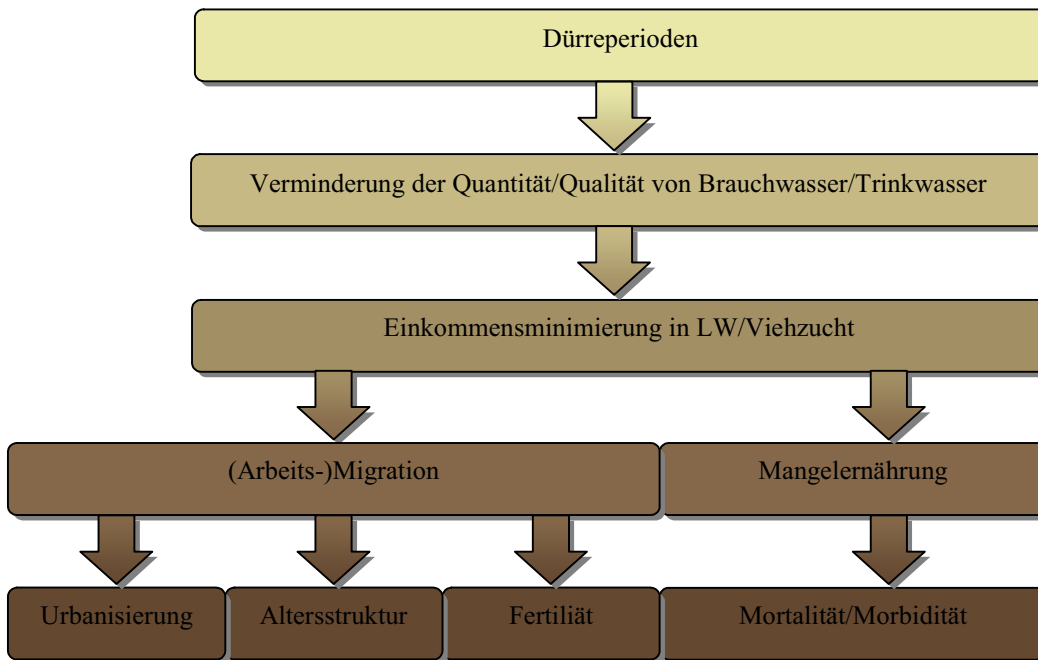
#### PK Ma-G.1 Bevölkerungsdynamik im Einzugsgebiet des Drâa



Die junge Bevölkerung von Amskar Fougani, Hoher Atlas

#### **Problemstellung**

Das Drâa-Einzugsgebiet ist eine sowohl auf naturräumlicher als auch auf ökonomischer Ebene marginalisierte Region Marokkos, die durch eine niedrige Bevölkerungsdichte und eine unzureichende Infrastruktur gekennzeichnet ist. Die wiederkehrenden Dürreperioden der letzten Jahre verschlimmerten die wirtschaftliche Lage der Bevölkerung, die ihr Einkommen überwiegend aus der Landwirtschaft generiert. Neben der zunehmenden Knappheit von Bewässerungswasser, nahm auch die Quantität und Qualität des Wassers für den häuslichen Gebrauch ab, so dass die Wasserverfügbarkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensbedingungen der Bevölkerung ausübt. Neben den direkten ökonomischen Konsequenzen, wie z.B. eine zunehmende Arbeitsmigration, zeigen sich auch indirekte negative Folgeerscheinungen der schwierigen Wassersituation in den Bereichen Ernährung, Hygiene, reproduktive Gesundheit und Lebensqualität (vgl. **Abb. III.2.4-1**).



**Abb. III.2.4-1:** Vereinfachte Darstellung des Zusammenhangs zwischen Dürreperioden und demographischen Faktoren

Bei der sozialwissenschaftlichen Analyse der Lebensbedingungen der Menschen in Bezug auf die Wasser- und Landnutzung im Einzugsgebiet des Drâa muss die Bevölkerungsdynamik als wichtiger Faktor untersucht werden, der als ökonomischer und soziokultureller Indikator für gesellschaftlichen Wandel fungiert und zudem Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der Region nehmen kann.

### Mitarbeiter

**Stephan Platt**, Christina Rademacher

### Zielsetzung

Ziel ist es, signifikante Korrelationen zwischen demographischen Dynamiken und wasserrelevanten Daten auf unterschiedlichen thematischen und räumlichen Ebenen zu analysieren (vgl. **Abb. III.2.4-2**): Wie entwickeln sich die Bevölkerungsgröße und -struktur im Einzugsgebiet des Drâa? Welchen Einfluss hat die Wassersituation (Verfügbarkeit, Infrastruktur, Qualität) auf die demographische Dynamik (Fertilität, Mortalität, Migration)? Welche „driving forces“ führen zu Migration und welche Rückwirkungen (gesellschaftliche Veränderungen, Technik, Innovationen und Wasserverbrauch) hat sie auf das Ursprungsgebiet? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Wassersituation und ökonomischer Struktur (Landnutzung, Beruf/Bildung, Einkommen, Existenzsicherung)? Besteht eine Korrelation zwischen Wassersituation und Siedlungs- bzw. Haushaltsstruktur? Welche demographischen Unterschiede lassen sich räumlich (auf regionaler und lokaler Ebene) feststellen, was sind ihre Ursachen?

So werden, in Reaktion auf die anhaltenden Dürreperioden, Bevölkerungsgröße, -verteilung und -struktur bzw. deren zukünftige Entwicklung mit verschiedenen Response-Indikatoren analysiert (z.B. Fertilität, Mortalität/Morbidität, Altersstruktur, Urbanisierung). Um der Komplexität demographischer Prozesse gerecht zu werden, fließen neben der statistischen Analyse quantitativer Daten auch qualitative sozialwissenschaftliche Daten in die Auswertung ein, die auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen (lokal und regional) angesiedelt sind.

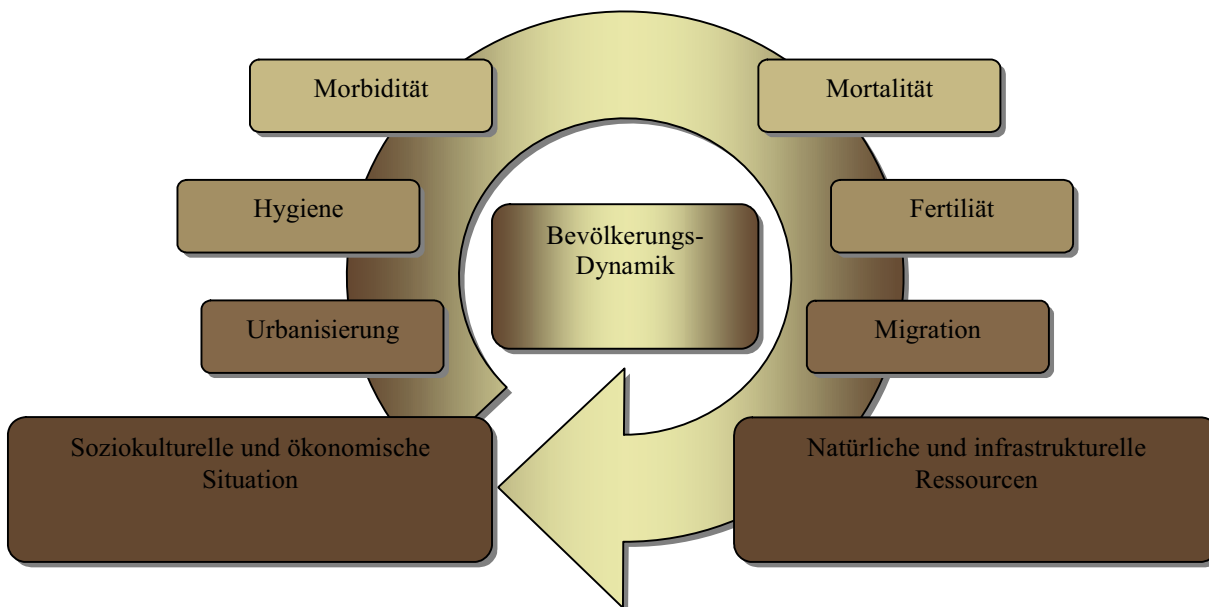


Abb. III.2.4-2: Wichtige Aktanten, die die Dynamik einer Bevölkerung reziprok beeinflussen

### Datengrundlage

Die Datenbasis bilden zum einen qualitativ orientierte Primärdaten, zum anderen quantitative Sekundärdaten, ergänzt durch teilnehmende Beobachtung sowie offene und semistrukturierte Interviews, Expertengespräche und Situationsberichte. Die Primärdaten setzen sich dabei aus Ergebnissen von Feldforschungen in Pilotgemeinden und einem mit Hilfe von marokkanischen Assistenten durchgeführten Regional-Survey in 13 Dörfern zusammen. Die Sekundärdaten generieren sich aus offiziellen Veröffentlichungen der „Direction de la Statistique“ und des „Centre d'Etudes et de Recherches Démographiques“ (C.E.RE.D) des „Haut Commissariat au Plan“, vor allem den Zensusdaten von 1994 und 2004, dem „Pager Zagora“ und den „Annuaire Statistique du Maroc“ aus den Jahren 2003 und 2005. Hinzu kommen Daten aus Berichten des „Ministère de l'Agriculture“, des „Ministère de la Santé“ und des „Ministère de l'Education“. Eine wichtige Datenquelle bilden dabei die Zensusdaten von 1994, die auf Dorfebene vorliegen und die Zensusdaten von 2004, die bisher jedoch lediglich auf kommunaler Ebene vorliegen.

### Modellierung

Als Untersuchungswerkzeug dienen demographische Modelle, die, neben der Beschreibung von Strategien der Krisenbewältigung, den Wandel der Bevölkerungsgröße und -struktur im Einzugsgebiet des Drâa analysieren, um bspw. zukünftige infrastrukturelle Planungen zu erleichtern. Quantitative Daten, z.B. bezüglich Migration, Fertilität, Mortalität, Altersstruktur und Urbanisie-

rung, fließen dabei in das numerische Modell „Spectrum/Demproj“ ein, mit Hilfe dessen man die zukünftige demographische Entwicklung projizieren kann.

Hierbei werden insgesamt drei verschiedene Szenarien zu Grunde gelegt, die die Bevölkerungsgröße und -struktur in Abhängigkeit unterschiedlicher Variablen bis zum Jahr 2020 prognostizieren sollen. Das Szenario M 1 geht von einer Verschlechterung des Status-Quo aus, das Szenario M 2 nimmt eine positive Entwicklung in der Zukunft an und das Szenario M 3 wurde als „business as usual“ definiert. Das Szenario M 1 sieht eine sich verschlechternde wirtschaftliche Entwicklung und weitere Marginalisierung der Region hinsichtlich notwendiger Investitionen in den Bereichen Gesundheit und Bildung. Hierbei werden ein nur schwacher Rückgang der Geburtenziffer, ein Anstieg der Kinder- und Müttersterblichkeit, eine zunehmende Abwanderung der männlichen Bevölkerung im arbeitsfähigen Alter, eine schlechtere Gesundheitssituation und eine allgemeine Abnahme der Lebensqualität angenommen. Das Szenario M 2 geht von einer Aufwertung der Region durch eine große Investitionsaktivität aus, die sich an gezielten Projekten festmacht, die an den Bedürfnissen der Bevölkerung orientiert sind (z.B. Bau von Schulen, Teerstraßen, verbesserte medizinische und sanitäre Situation). Zudem kommt es zur Schaffung von Einkommensalternativen zur Eindämmung der Landflucht, zum Rückgang der Kinder- und Müttersterblichkeit, zu einer verbesserten Gesundheitssituation und insgesamt zu einer Zunahme der Lebensqualität.

Sowohl die positiven, als auch die negativen demographische Szenarien zeigen, dass auch bei extremen Annahmen, z.B. bei einer überproportional steigenden oder fallenden Fertilitätsrate, bis 2020 wenig signifikante Veränderungen in der Bevölkerungsentwicklung zu erwarten sind. Hauptursache ist das relativ zeitnahe Projektionsziel von 2020. Signifikante demographische Veränderungen sind erst bei längerfristigen Projektionen zu erwarten, da demographische Prozesse generell nur langsam auf Veränderungen der Ausgangsparameter reagieren.

Da demographische Prozesse nicht ausschließlich durch statistisch erfassbare Größen determiniert sind, sondern weil dabei auch soziale, kulturelle und ökonomische Faktoren von zentraler Bedeutung sind, soll ergänzend ein primär qualitatives Expertenmodell entwickelt werden. Durch den Einbezug weicher Daten, z.B. der „driving forces“, die zu einer Migrationsentscheidung führen, kann so die komplexe Realität besser abgebildet werden.

### **Stand der bisherigen Arbeiten**

Im April 2006 hat ein Mitarbeiterwechsel in der Federführung innerhalb des **PK Ma-G.1** stattgefunden, der sich auch inhaltlich niedergeschlagen hat. Über die relevanten demographischen Problemstellungen hinaus wurde der Fokus der PK-Arbeit von Untersuchungen zur Gesundheitssituation und Lebensqualität der Bevölkerung im ländlichen Raum auf die Auswirkungen des Tourismus im Zusammenhang mit Urbanisierungsprozessen im mittleren und unteren Drâa-Tal gelegt (s.u.).

### ***Urbanisierung und Migration***

Der Wegfall von Ernteeinkommen über mehrere Jahre hinweg führt zu einer hohen Abwanderung der männlichen Bevölkerung im arbeitsfähigen Alter (31% der gesamten männlichen Be-

völkerung in den Surveygemeinden), da es neben der Subsistenzsicherung durch die Landwirtschaft kaum alternative Einkommensperspektiven in der Untersuchungsregion gibt. Migration ist daher die wichtigste Strategie, Wasserknappheit zu umgehen, und somit ein signifikanter Faktor innerhalb der demographischen Dynamik, auch wenn sie durch ihre große Fluktuation quantitativ schwer zu erfassen ist. Selbst in den nationalen Zensuserhebungen werden die unterschiedlichen Kategorien von Migration wie Arbeits-, Heirats- oder Bildungsmigration nicht unterschieden und auch die Migrationsziele nicht erfasst. Deshalb können zur Arbeitsmigration im Drâa-Tal keine detaillierten, quantitativen Angaben gemacht werden.

Meist handelt es sich um zirkuläre Arbeitsmigration in die prosperierenden Großstädte des Nordens und in andere Regionen Marokkos, wie die West-Sahara. Die temporären Arbeitsmigranten sind äußerst flexibel und mobil. Vor allem Bauarbeiter passen sich schnell den wechselnden Marktbedingungen an und folgen den Bauaktivitäten durchs ganze Land. Bei der Analyse der „driving forces“, die zur Migration führen, werden sowohl quantitative Daten für das gesamte Einzugsgebiet ausgewertet, als auch die Ergebnisse der ethnologischen Detailstudien berücksichtigt. Allgemein lässt sich sagen, dass urbane Zentren, sowohl auf regionaler als auch auf nationaler Ebene, im Vergleich zu ländlichen Gebieten schneller wachsen. Die Urbanisierungsrate der Region Sous-Massa-Drâa betrug 1994 18,7% und stieg auf 19,2% im Jahr 2004 (Direction de la Statistique 1995, Haut Commissariat au Plan 2005).

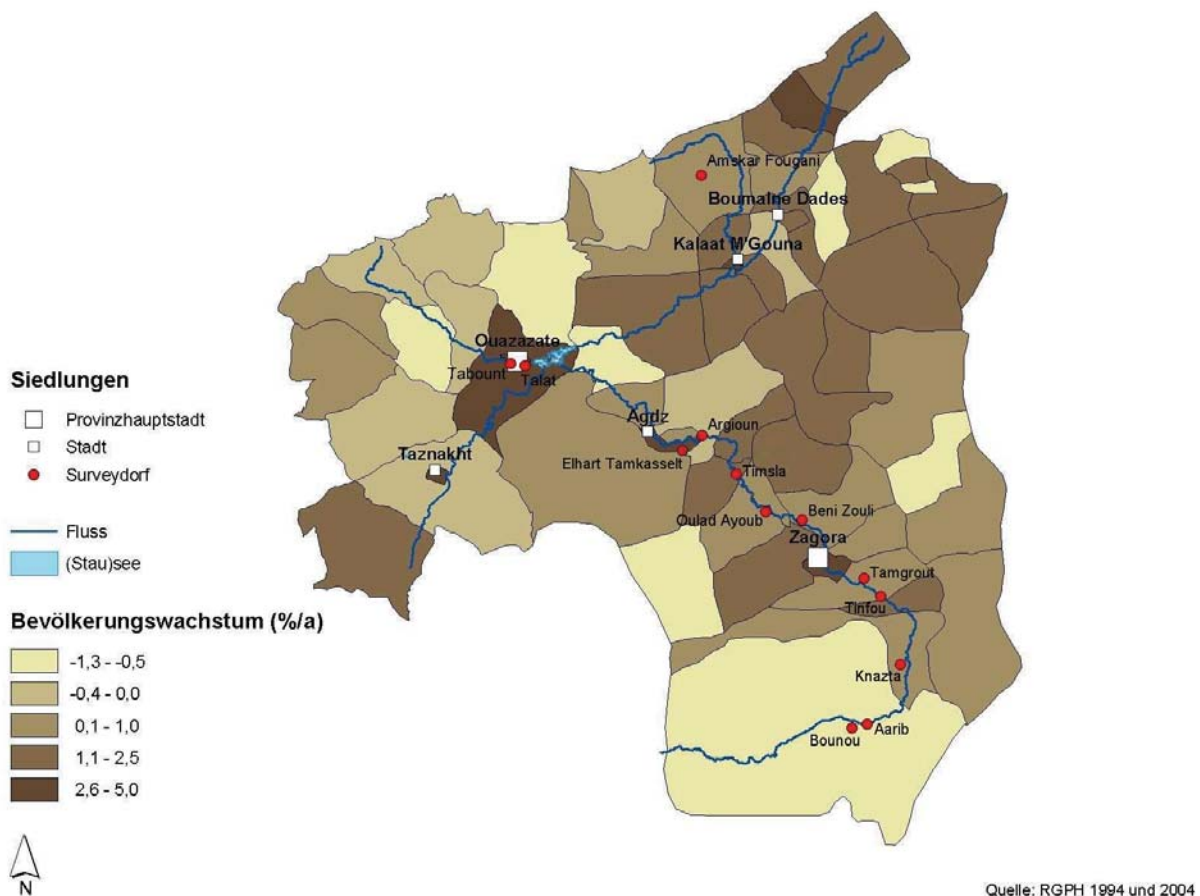
Neben der Arbeitsmigration hat sich aber auch gezeigt, dass immer häufiger ganze Familien die ländlichen Gebiete verlassen, auf der Suche nach alternativen Einkommensquellen und besseren Lebensbedingungen. Neben einem sicheren Einkommen sind vor allem eine bessere Gesundheitsversorgung, aber auch der Zugang zu Wasser und Strom sowie die Verfügbarkeit von sanitären Einrichtungen Kriterien, die für eine Migrationsentscheidung ausschlaggebend sind. Als Pushfaktoren können also die Wasserknappheit und -verfügbarkeit, eine schlechtere ökonomische Basis und eine schlechtere medizinische wie auch versorgungstechnische Infrastruktur gesehen werden. Als Pullfaktoren wirken hingegen die besseren und stärker diversifizierten ökonomischen Möglichkeiten und eine bessere Infrastruktur, z.B. bei Bildung und Versorgung.

Seit einigen Jahren findet auf staatlicher und institutioneller Ebene ein Umdenken statt, da sich aufgrund massiver Arbeitsmigration in die städtischen Zentren des Landes die Probleme im urbanen Raum wie Umweltverschmutzung, Arbeitslosigkeit, Zersiedelung der Landschaft (Bidonvilles), gesundheitliche Probleme etc. häufen. Aus diesem Grund wird nun auch die vormals stark vernachlässigte interne Migration erforscht, um ökonomische, infrastrukturelle, soziale und gesundheitspolitische Lösungen für die Herkunfts- und Zielgebiete der Migranten zu finden. Fragen nach einer Eindämmung der Migration durch Regionalförderung und Investitionen in diverse Bereiche werden erstmals gestellt. Diese Entwicklung spiegelt sich u.a. in der Etablierung des „Observatoire National des Migrations“ in Rabat.

Im Untersuchungsgebiet gab es zwischen 1994 und 2004 lediglich ein geringes Bevölkerungswachstum, welches in ländlichen Gebieten sogar teilweise negativ ausfiel (vgl. **Abb. III.2.4-3**). In urbanen Gegenden (durchschnittlich 3,1%) war es deutlich höher als in ruralen Gebieten (durchschnittlich 0,8%). Als Ursachen gelten neben der Migration auch eine sinkende Fertilitätsrate von 5,45 Kindern 1994 auf 4,26 Kinder 2004, längere Geburtsintervalle, späteres Erstheiratsalter und eine immer noch hohe Kinder- und Müttersterblichkeit (nur 17% der Geburten wer-



den medizinisch begleitet; vgl. Direction de la Statistique 1995, Haut Commisariat au Plan 2005). Auffallend ist darüber hinaus, dass alle Kommunen, die städtische Siedlungen umschließen, ein hohes Bevölkerungswachstum aufweisen. Neben der Kommune um Ouarzazate sind dies die Kommunen um Agdz und Zagora im Süden und um Kalaat M'Gouna im Norden. Zusammenfassend zeigen sich als demographische Kennzeichen in den Provinzen Ouarzazate und Zagora eine niedrige ländliche und eine hohe urbane Wachstumsrate bei einer insgesamt jungen Bevölkerung (siehe **Abb. III.2.4-1**). Neben einer großen Urbanisierungs- und Migrationstendenz lässt sich eine nur langsam fallende Fertilität und eine immer noch hohe Mortalität und Morbidität feststellen.



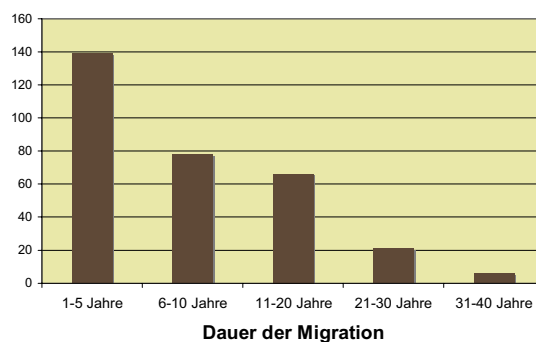
**Abb. III.2.4-3:** Durchschnittliches jährliches Bevölkerungswachstum auf Kommunalebene der der Provinzen Ouarzazate und Zagora in der Dekade 1994-2004

### *Regional-Survey*

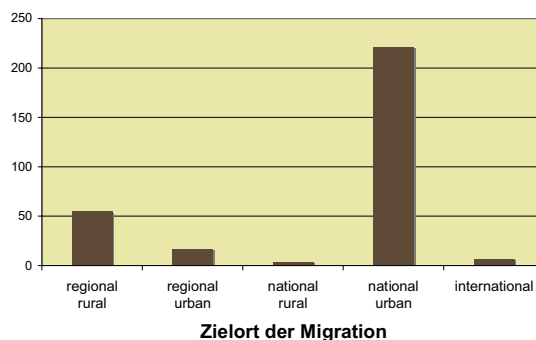
Das Regional-Survey wurde in 13 Dörfern des Einzugsgebietes des Drâa durchgeführt. Bei der Auswahl der Survey-Dörfer wurde eine möglichst große Heterogenität angestrebt, so dass sie über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt sind und sich in Lage und Größe stark unterscheiden (vgl. **Abb. III.2.4-3**). Es wurden drei Fragebögen verwendet, die sowohl die Dorf- als auch die Haushalts- und Personenebene abdeckten. Der Fragebogen auf Dorfebene enthält dabei 34 Variablen zu Dorf- und Haushaltsstruktur, Ökonomie, Infrastruktur und Wasserverfügbarkeit. Der Fragebogen auf Haushaltsebene (133 befragte, gleichmäßig auf die Dörfer verteilte Haushal-

te, die je nach Dorfgröße zwischen 2,5% und 50% des gesamten Dorfes repräsentieren) setzt sich aus 27 Variablen zu Wasserverfügbarkeit, -infrastruktur, sozialer Haushaltsstruktur, Zufriedenheit und Morbidität zusammen. Der Fragebogen auf Personenebene (2059 befragte Personen) vereint 19 Variablen zur Person, Familienstand, Migration, Bildung und Beruf.

Bei der Auswertung des Surveys zeigte sich bspw. in Bezug auf das Migrationsverhalten, dass 16,4 % der befragten Einzelpersonen einen Migrationshintergrund vorweisen. Mehr als die Hälfte dieser Personen emigrierte zwischen einem und fünf Jahren, weniger als 10% verließen länger als 20 Jahre zumindest temporär ihr Heimatdorf (vgl. **Abb. III.2.4-4**). Die durchschnittliche Emigrationsdauer betrug fast 9 Jahre. Betrachtet man den Zielort der Migration, so fällt auf, dass ein Großteil (73%) der Personen in nationale urbane Zentren migrierten (vgl. **Abb. III.2.4-5**). Hierbei handelt es sich in über 2/3 der Fälle um Formen von Arbeitsmigration (z.B. als Arbeitskraft im Baugewerbe der Agglomerationen Casablanca und Rabat). Bei den regionalen Wanderungsbewegungen, die immerhin einen Anteil von 18% ausmachen, handelt es sich fast ausschließlich um heiratsbedingte Fluktuationen.



**Abb. III.2.4-4:** Dauer der (Arbeits-)Migration innerhalb der Gruppe der Migranten des Surveys



**Abb. III.2.4-5:** Zielort der (Arbeit-)Migration innerhalb der Gruppe der Migranten des Survey

Bezüglich der Wasserverfügbarkeit zeigte sich, dass vor allem die Dörfer im südlichen Drâatal nach der Einschätzung der befragten Haushalte eine ungenügende Wasserversorgung besitzen. Besonders negativ wurde dies in der Oase Fezouata im Dorf Tamgroute, in der Oase Ktaoua im Dorf Knazda und in der Oase M'Hamid in den Dörfer Bounou und Aarib gesehen.



### *Feldarbeiten*

Es wurden das Regionalsurvey ergänzende Interviews auf Dorfebene in mehreren Dörfern sowohl im Drâa-Tal als auch im Hohen Atlas durchgeführt. Eine erste Auswertung brachte keine signifikanten Unterschiede zu den Ergebnissen des bereits existierenden Surveys. Des Weiteren wurden in Rabat, neben einer Literaturrecherche in diversen Bibliotheken, die Kontakte zur „Direction de la Statistique“ ausgebaut, um vor allem die aktuellen demographischen Daten aus dem Zensus 2004 auf Dorf-Ebene für die Provinzen Ouarzazate und Zagora zu erhalten.

### *Tourismus*

Seit Mai 2006 ist der **PK Ma-E.3** (Integration eines neuen Wirtschaftsbereichs bei knappen Ressourcen in den touristischen Schwerpunktregionen Ouarzazate, Dadèstal und Zagora-M'Hamid) mit dem Ausscheiden der Mitarbeiterin in der bisherigen Form beendet worden (siehe Bericht **PK Ma-E.3**). Offene, den Tourismus betreffende Forschungsfragen sollen nun innerhalb des **PK Ma-G.1** weitergeführt werden. Im Folgenden werden Anknüpfungspunkte an die bisher geleistete Forschung und eine neue inhaltliche und räumliche Ausrichtung der Tourismusforschung vorgestellt, die sich durch die Arbeiten des letzten Jahres ergaben.

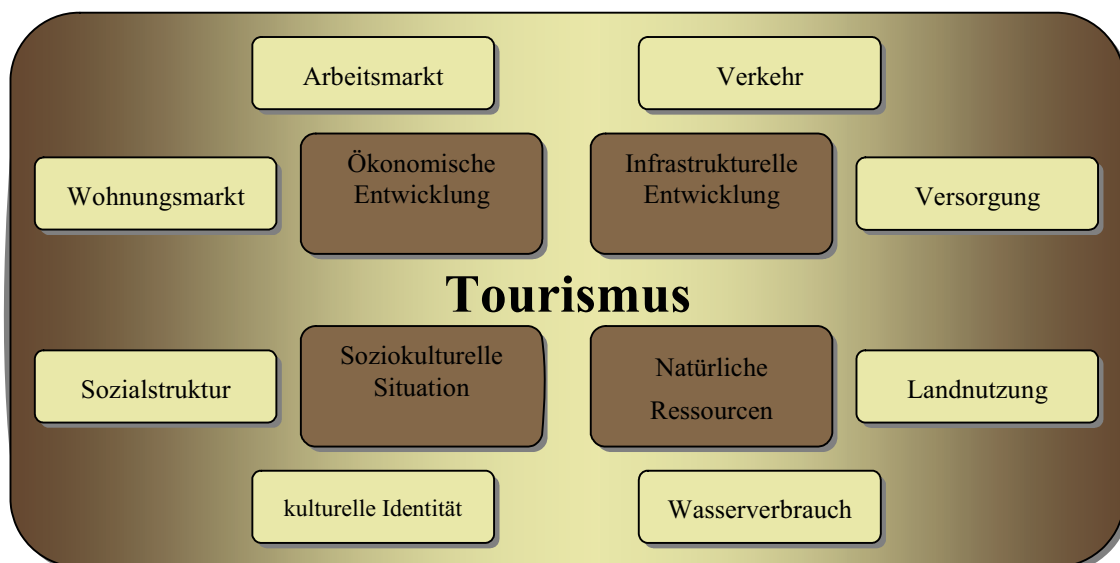
Der Tourismus spielt in Marokko bereits als zweitwichtigster Devisenbringer eine übergeordnete ökonomische Rolle. Neben den traditionellen Küstenstandorten für Badetourismus nahm im Laufe der letzten Dekaden auch der inländische Tourismus zu, der sich in landschaftlich reizvollen Regionen als Trekking- bzw. Kulturtourismus etabliert. Sowohl das Dadès- als auch das Drâa-Tal sind aufgrund ihrer einzigartigen Kombination aus kulturellem Erbe und naturräumlichen Voraussetzungen hierfür prädestiniert. So wurden 90% der bereits im Rahmen von IMPETUS untersuchten Hotels im Laufe der letzten 10 Jahre gebaut, einhergehend mit einer Zunahme der Übernachtungsdauer. Dabei ist die touristische Erschließung in Südmarokko stärker von den infrastrukturellen Faktoren Erreichbarkeit und Wasserversorgung abhängig als die touristischen Regionen weiter im Norden. Da es im Dadès-Tal keine Problematik bezüglich Wasserverfügbarkeit und -qualität gibt, ist hier lediglich das Problem der verkehrsinfrastrukturellen Erreichbarkeit (Teerstraßen) von Bedeutung. Im Drâa-Tal ist hingegen vor allem die Wasserversorgung durch Versalzung und temporär reglementierte Wasserentnahme problematisch. Eine Situation, die sich mit zunehmender touristischer Nutzung im mittleren und explizit im südlichen Drâa-Tal weiter verstärken wird. Gegenwärtig scheint ein Konflikt zwischen verschiedenen Nutzungsgruppen noch nicht virulent, jedoch liegt dies vor allem daran, dass Hotelbesitzer mit den ihnen zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln eigene, tiefe Brunnen installieren, deren Förderkapazität nicht öffentlich bekannt ist. Gerade in der Region zwischen Zagora und M'Hamid scheinen sich zunehmend Hotels der gehobenen Klasse zu etablieren, deren Wasserbedarf nur mit eigenen Brunnen gedeckt werden kann (vgl. Frank 2006).

Ein Augenmerk soll bei der zukünftigen Forschung – anders als bei den bislang rural fokussierten Arbeiten – auf die zunehmend urbanisierte Agglomeration Zagora gelegt werden, da hier bedeutende Erkenntnisse zu erwarten sind. In Zagora zeigte sich in den letzten Jahren ein Urbanisierungsschub, der u.a. von der Entwicklung im Tourismusgewerbe forciert wurde. Neben Ho-

tels und Campingplätzen findet man in Zagora zahlreiche Unternehmen, die die Stadt als Basis von Wüsten(trekking)-Touren nutzen, die zunehmend im Portfolio von international operierenden Reiseveranstaltern zu finden sind. Die besonders attraktiven Lagen in der Oase werden verstärkt von ausländischen (Privat-)Investoren umworben, die neben Hotels auch Ferienhäuser bauen. Hierbei soll nun untersucht werden, welchen Einfluss die Entwicklung des Tourismus auf die Urbanisierung in Zagora nimmt und welche Verknüpfungen mit anderen Branchen (z.B. der Baubranche) zu erkennen sind. Als Vergleich soll die Stadt- und Tourismusedwicklung in M'Hamid herangezogen werden.

Neben den baulich-ökonomischen Aspekten soll auch untersucht werden, welche Personengruppen von der Entwicklung des Tourismus profitieren. Mit zunehmender Tendenz investieren, neben Marokkanern aus großen Städten und wohlhabenden Migranten, internationale Hotelketten und Reiseveranstalter in der Region. Zudem scheint die Mehrzahl der Reiseleiter von Gruppenreisen aus dem Norden Marokkos zu stammen, da sich in Tanger die einzige staatlich anerkannte Ausbildungsstätte für Touristenführer befindet. Ohne die staatliche Anerkennung darf offiziell kein Marokkaner als Reiseleiter, Übersetzer oder lokaler Führer arbeiten (vgl. Frank 2006). Zu prüfen wäre hierbei, welchen Anteil die einheimische Bevölkerung im Drâa-Tal an Arbeitsplätzen, Wertschöpfung oder auch staatlichen Förderungen besitzt bzw. welche ökonomische Rolle der informelle Sektor im Tourismus spielt.

Neben der ökonomischen und infrastrukturellen Entwicklung in städtischen Siedlungen und der sich verschärfenden Wasserproblematik an ruralen Standorten zwischen Zagora und M'Hamid, sollte innerhalb der Betrachtung des Tourismus die soziokulturelle Situation nicht außer Acht gelassen werden, da diese einen entscheidenden Einfluss auf seine zukünftige Entwicklung nehmen kann (vgl. **Abb. III.2.4-6**). Bei der Vermarktung der Region wirkt bspw. ein stereotypes Image, welches über eine rein eurozentristisch orientierte Konstruktion hinausgeht und auch von der einheimischen Bevölkerung adaptiert und forciert wird. Als Indizien dieser Einschätzung können z.B. extrem überbelegte Kasbah-Hotels oder die immer beliebter und ausgefallener werdenden Wüstentouren genannt werden. Neue Trends scheinen jedoch dabei, zum Leidwesen der Marokkaner, vermehrt von Ausländern geschaffen zu werden (vgl. Frank 2006).



**Abb. III.2.4-6:** Wichtige Faktoren, die bei der Entwicklung des Tourismus in Südmarokko eine Rolle spielen

**Literatur**

Direction de la Statistique (1995): Population Légale du Royaume d'après le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (Septembre 1994). Rabat.

Haut Commissariat au Plan, Centre de Lecture Automatique de Documents (2005): Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2004. Rabat.

Frank, C. (2006): Ethnologische Tourismusstudie im IMPETUS-Projekt. Unveröffentlichtes Dokument.

## PK Ma-G.2 Wasser- und Weidenutzung im Spannungsfeld zwischen traditionellen Entscheidungsprozessen und staatlichen Institutionen



Hirte im Hohen Atlas

### **Problemstellung**

Im Fokus des Problemkomplexes **PK Ma-G.2** steht die Nutzung der kollektiven natürlichen Ressourcen, die, anders als bei den sich im Privateigentum befindlichen Oasenfeldern, variabel und prinzipiell von Entscheidungen der entsprechenden Kontrollinstitutionen abhängig ist. Wasser und Weideland bilden die Grundlagen der landwirtschaftlichen Nutzung im ländlichen Raum Südmarokkos. Beides sind traditionell kollektive Ressourcen, deren Nutzung und Verteilung früher die ansässigen Gemeinschaften in Eigenverantwortung regelten. Seit Beginn der französischen Protektoratszeit beansprucht jedoch der Zentralstaat die Entscheidungskompetenz über den Zugang zu diesen Ressourcen. Trotz der formalen Zuständigkeit des Zentralstaates sind auf lokaler Ebene islamisch begründete und auf traditionellen Vorgehensweisen basierende Kontroll- und Verteilmechanismen wirksam.

Während zum Beispiel an der feuchteren Nordflanke des Atlas-Gebirges auf Kollektivland auch Regenfeldbau betrieben wird (vgl. Kraus 1991), wird im Arbeitsgebiet dieses Land bevorzugt für die Weidewirtschaft verwendet (El Alaoui 2002). Das gilt fast uneingeschränkt für die Region am Südrhang des Hohen Atlas, wo Kollektivland fast ausschließlich Weideland ist. Gewisse Einschränkungen gelten für die südliche Arbeitsregion für außerhalb der Oasengärten gelegene Flächen entlang des Drâa-Tals. Dort wurden in der letzten Dekade in einigen Regionen auf früherem Kollektivland Felder angelegt, die mit Pumpen bewässert werden. Die durch die Umnutzung des ehemaligen Kollektivlandes aufgeworfenen Eigentumsfragen sind komplex und teilwei-

se noch nicht endgültig gelöst, wie auch die Arbeiten von B. Casciarri zeigen (s.u.). Das der Konstellation inhärente Potential an Konflikten zwischen Pastoralnomaden, sesshaft gewordenen Nomaden und Investoren bedarf in Zusammenhang mit der anstehenden Untersuchung von Weidemanagementstrategien weiterer Klärung.

Prinzipiell untersucht der **PK Ma-G.2** Entscheidungsprozesse, die im Drâa-Einzugsgebiet den Zugang zu solchen kollektiven natürlichen Ressourcen regeln. Durch eine Institutionenanalyse wird auf den verschiedenen Hierarchieebenen und in den verschiedenen Institutionen die Kompetenzverteilung für das Ressourcenmanagement aufgezeigt und ihre aktuelle Bedeutung sowie ihre Akzeptanz beurteilt. Wegen der *de facto* bestehenden Rechtspluralität wurden sowohl die modern-zentralstaatlichen als auch die traditionell-tribalen Institutionen berücksichtigt, die auf verschiedenen Ebenen der Entscheidungsfindung zum Tragen kommen können. Viele Managementprobleme haben ihre Wurzeln in diesem Konfliktfeld konkurrierender Rechtsansprüche. Die entstehende Unsicherheit wurde in jüngster Zeit immer häufiger von Individuen ausgenutzt, die in der Lage waren, finanzielle Ressourcen einzusetzen, um unter Ausnutzung der divergierenden Ebenen rechtlichen und politischen Handelns eigene Interessen durchzusetzen, auch wenn sie im kollektiven Interesse liegenden Entscheidungen zuwider laufen.

### Mitarbeiter

**Holger Kirscht, Anja Linstädter**, Gisela Baumann, Oliver Jakoby

### Zielsetzung

Im Zuge einer Umstrukturierung der Arbeiten zur Nutzung der Weideressourcen durch die Integration der Arbeitsgruppe Linstädter hat sich die Zielsetzung des PKs verschoben. Neben der bereits weit gediehenen Institutionenanalyse (IA), mit der ein Prozessverständnis für die Grundlagen und Mechanismen der kollektiven und individuellen Nutzungsentscheidungen bezüglich kollektiven Besitzes gewonnen wurde, treten konkrete Fragen über die Auswirkungen bestimmter Entscheidungsgefüge auf ein nachhaltiges Weidemanagement ins Zentrum der PK-Arbeiten. Die zentralen Fragen sind weiterhin, wie Entscheidungen zu Nutzungsrechten und konkreter Nutzung getroffen werden, welche realen und virtuellen Gremien und Institutionen an Nutzungsentscheidungen beteiligt sind, wie formelle und informelle Instanzen interagieren und welche Prozesse der Entscheidungsfindung überhaupt existieren. Als bedeutsamer wird inzwischen jedoch die Frage angesehen, ob Landnutzungsentscheidungen im Sinne nachhaltiger Landnutzung überhaupt lenkbar sind.

Grundlage für die Institutionenanalyse ist ein Expertenmodell, das in erster Linie statistische Informationen auf Grundlage der in den ethnologischen Fallstudien erhobenen Daten liefert. Teile dieser Informationen werden in Form von „Wenn-Dann-Beziehungen“ formalisiert und in das Weidenutzungsmodell BUFFER integriert. Verallgemeinerbare Informationen der ethnologischen Daten fließen in Strukturdiagramme ein, die für zwei typische Kernregionen der Nutzung von Kollektivland, das System Hoher Atlas-Jebel Saghro und das System Jebel Bani-Fejja, erstellt werden.

### Modellierung

Das Blockdiagramm (Abb. III.2.4-7) zeigt die Unterschiede in räumlichen Kompetenzbereichen, Institutionalität und Akzeptanz zwischen "staatlich / formal gültigen" und "traditionell / informellen" Institutionen des kollektiven Ressourcenmanagements.

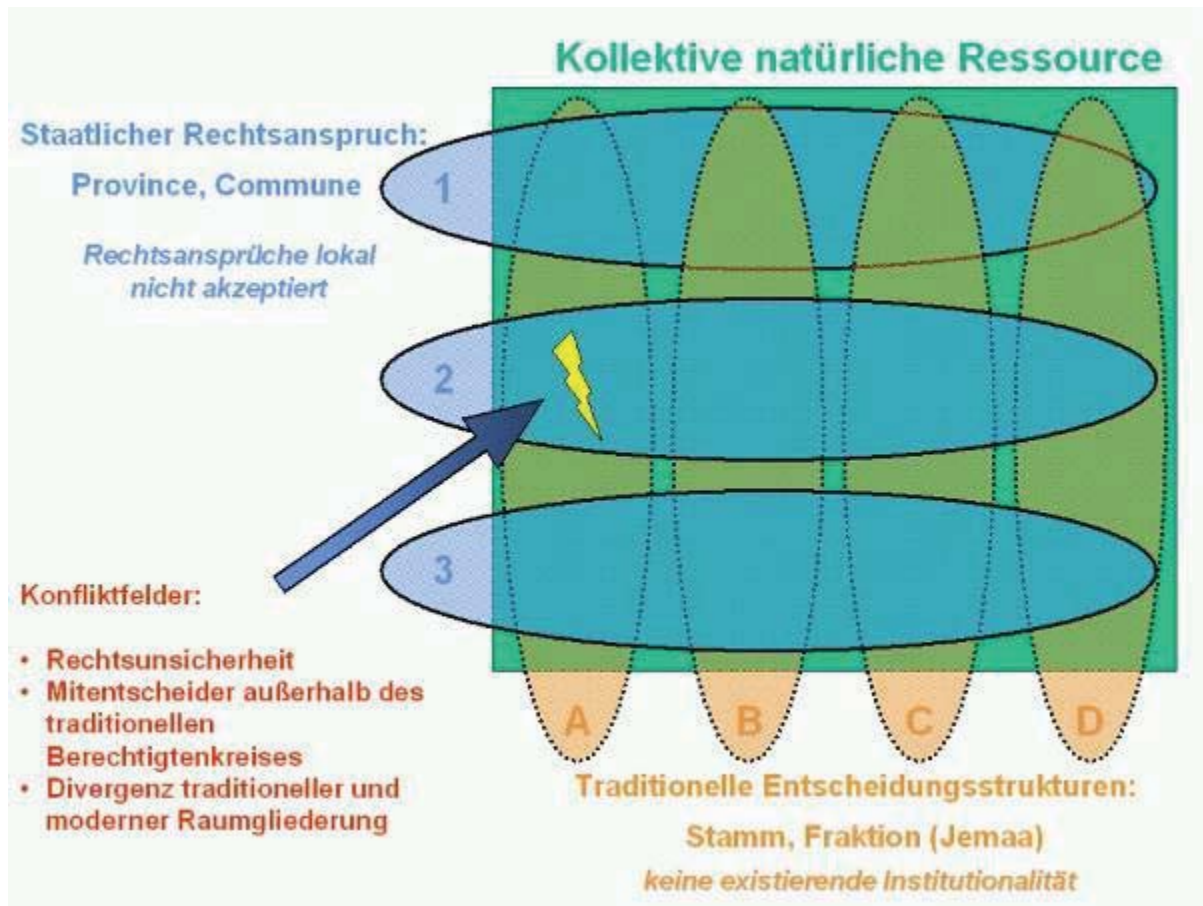


Abb. III.2.4-7: Blockdiagramm

Mit Hilfe des ökologischen Simulationsmodells BUFFER sollen die Auswirkungen unterschiedlicher Beweidungsstrategien von Hirtennomaden auf Weidegebiete im Drâa-Einzugsgebiet untersucht werden. Das Modell befindet sich momentan in der Entwicklungsphase.

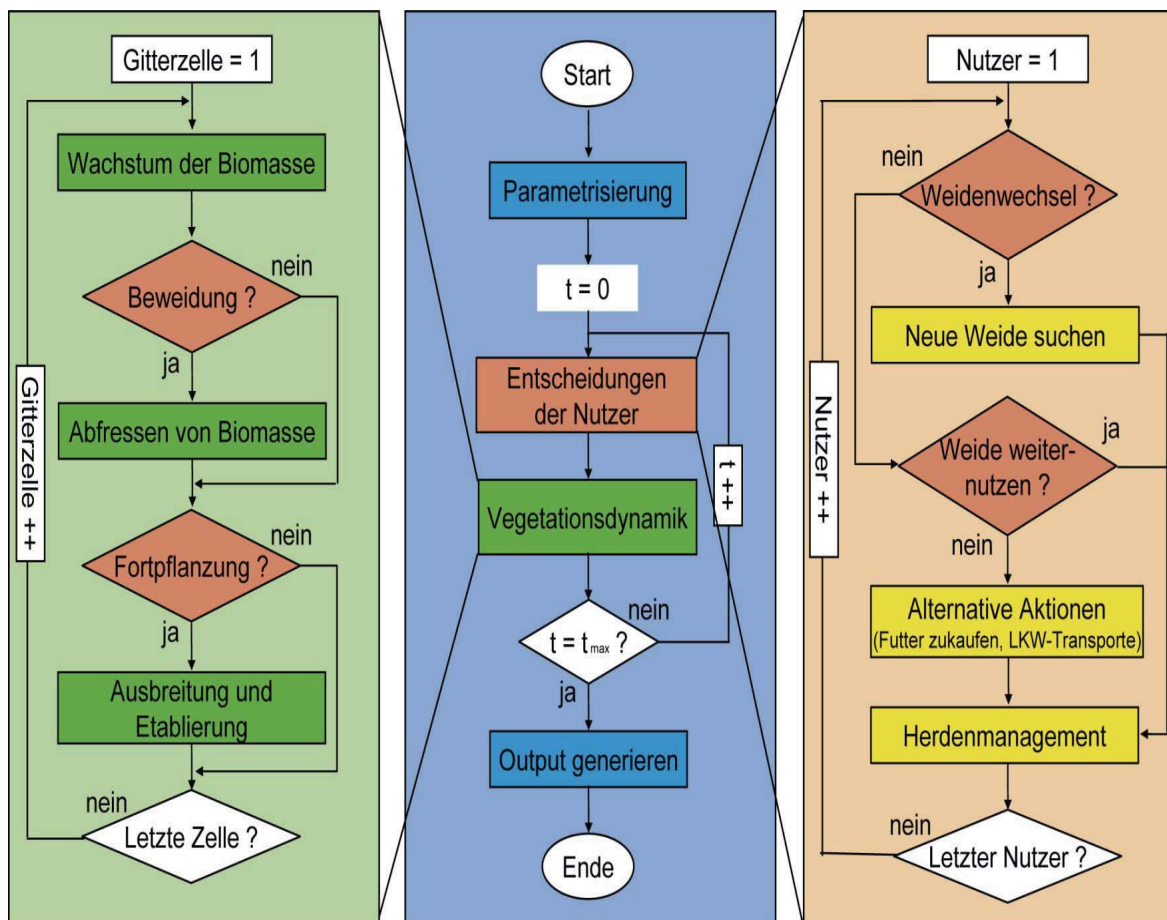
Es gilt zunächst ein allgemeines Prozessverständnis auf der Ebene der Vegetation zu erlangen, das den Einfluss von Niederschlag und Beweidungsintensität auf Pflanzenindividuen und Pflanzenfunktionstypen (PFT) erfasst. Informationen zur Parametrisierung des Modells können aus früheren sowie zukünftigen Experimenten des Teilprojektes B3 gewonnen werden. Anschließend müssen Mechanismen herausgearbeitet werden, die die hochvariablen Umweltbedingungen in ariden Gebieten abpuffern können. Dieses Verständnis (bzw. der Output des Modells) wird zur Parametrisierung von BUFFER genutzt.

BUFFER ist ein räumlich explizites, agentenbasiertes Simulationsmodell. Es bildet die Vegetation als Populationen von PFTs ab, deren Vorkommen und Zustand vor allem vom Niederschlag und der Beweidungsgeschichte bestimmt wird. Die Landschaft wird durch ein Gitter von rechteckigen Zellen gebildet, die eine Größe von jeweils 250x250m aufweisen. Jeder Zelle wird ab-



hängig von ihrer Lage ein bestimmtes Niederschlagsregime und ein potentielles Artenvorkommen (Weidetyp) zugeordnet. Die Lage bestimmt ebenfalls (abhängig von der angewendeten Strategie), wann eine Zelle während des Beweidungszyklus' genutzt werden kann. Die Zuordnung der einzelnen Zellen zu verschiedenen Weidetypen wird mit Hilfe von Weidekarten vorgenommen. Zusätzlich zu den Weidekarten können GIS-basierte Informationen über institutionelle Strukturen oder regionentypische Entscheidungsstrukturen integriert werden.

Die Beweidung wird voraussichtlich prozessorientiert modelliert werden. Neben der Vegetationsdynamik sollen die Nutzer (Hirten bzw. Nomadenhaushalte) als autonome Agenten modelliert werden, die je nach Umweltbedingungen, dem Zustand des Weidesystems, ihrem Kapital sowie anderen äußeren Einflüssen (z.B. Nutzungsrechten, Verordnungen von staatlicher Seite) ihre Zugzyklen bestimmen. Hier sollen ebenfalls puffernde Mechanismen untersucht werden, welche von sozioökonomischer Seite aus Schwankungen im Einkommen der Nutzer abmildern können. Dies könnte beispielsweise der Zukauf von Futter in Notzeiten, sowie LKW-Transporte von Tieren zu günstiger gelegenen Weidegebieten sein. Als Output-Größen des Modells sind der Zustand der Vegetation (Biomasse und Zusammensetzung der PFTs) sowie der Besitzstand der Nutzer wie Weidevieh und Vermögen vorgesehen.



**Abb. III.2.4-8:** Modelldiagramm BUFFER. Rot markiert sind individuelle Entscheidungen der Hirten, die aber mittelbar oder unmittelbar vom institutionellen Rahmen und der Einbindung in lokale Sozialstrukturen abhängig sind.



## **Methodik**

Es soll versucht werden, die Kompetenzbereiche von Institutionen des Ressourcenmanagements zu kartieren. Darauf aufbauend werden in einem konzeptionellen Expertenmodell die Entscheidungsbäume und Wirkungsmechanismen des Ressourcenmanagements abgebildet.

Dieses Expertenmodell wird direkt in eine regelbasierte, ökologisch-ökonomische Modellierung des Ressourcenmanagements mit seinen Wechselwirkungen zur Verfügbarkeit dieser natürlichen Ressourcen umgesetzt werden (BUFFER; vgl. **PK Ma-L.2**). Das konzeptionelle Modell kann Entscheidungsabläufe abbilden, Konfliktfelder der beteiligten Akteure identifizieren und damit institutionelle Ansatzpunkte für nachhaltige Landnutzungskonzepte und Managementpläne aufspüren helfen. Mit Hilfe des Simulationsmodells BUFFER können postulierte nachhaltige Landnutzungskonzepte direkt in ihrer Auswirkung auf die natürlichen Ressourcen abgeprüft werden. Da ein nachhaltiges Ressourcenmanagement in ariden und semiariden Klimata an die zeitlich und räumlich extrem heterogene Ressourcenverfügbarkeit angepasst sein muss, werden die zugrunde liegenden Prinzipien des Landmanagements ebenso im Fokus des ökologisch-ökonomischen Modells BUFFER stehen wie die Dynamiken und die „Puffer-Qualität“ der natürlichen Ressourcen Weide und Wasser.

## **Stand der bisherigen Arbeiten**

### ***Arbeiten im Drâa-Tal***

Über dörfliche Institutionen der Verteilung von Weide- und vor allem Wasserressourcen für die Südregion liegen aus den vergangenen Phasen bereits weitreichende Kenntnisse vor (Casciarri 2003, Liebelt 2003). Die von Barbara Casciarri in Tiraf und bei den Aït Unzâr-Nomaden gewonnenen Erkenntnisse zeigen exemplarisch, dass der Zugang zu Ressourcen, vor allem zum knappen Wasser, immer umstritten war, und zwar nicht nur zwischen verschiedenen Gemeinschaften, sondern auch innerhalb der jeweiligen Gruppe. Die Arbeiten haben aber auch gezeigt, dass es trotz aller Konflikte immer traditionelle Mechanismen der Problemlösung gab, die vor allem auf einen funktionierenden Zusammenhalt des Stammes (*qabila*) gründeten. In Tiraf und bei den Nomaden der Aït-Unzar definiert die soziale Struktur der einzelnen sozialen Gruppen die Verwaltung von und den Zugang zu den lokalen Wasserressourcen. Im Anschluss an Diskussionen über strittige Fragen und Probleme sollen die Entscheidungen einstimmig getroffen werden. Die tribale Versammlung, welche von der staatlichen Verwaltung nicht offiziell anerkannt wird, ist die wichtigste Institution in der Verwaltung des kollektiven sozialen Lebens im Dorf: Sie plant die *campagne agricole*, organisiert die Verteilung von Bewässerungswasser, bestimmt die Wächter-Verträge mit den Nomaden während der Dattelernte, reglementiert den Zugang zu nicht-privatem Trinkwasser und organisiert die Arbeiten für weitere Aufgaben von gemeinschaftlichem Interesse.

Im Süden des Arbeitsgebietes sind viele dieser Mechanismen, vor allem im Bereich des Weidemanagements, noch wirksam. Durch die zunehmende Sesshaftwerdung von Nomaden entstanden jedoch Konfliktfelder, die eine solidarische Lösung erschweren und eine Konfliktlösungsstrategie institutionenübergreifend notwendig machen (vgl. Werner 2005: 32f.). Auch andere ethnolo-

gische und kulturgeographischen Arbeiten aus den letzten Jahren, die sich mit dem Drâa-Einzugsgebiet beschäftigen, sehen Konflikte um Wasser und Land als relevante Untersuchungsfelder für sozialwissenschaftliche Studien an, wobei sie sowohl aus theoretischer Perspektive (Müller-Mahn, 2001) als auch aufgrund eigener Untersuchungen (Graefe, 2005) von einem steigenden Konfliktpotential bei zunehmender Ressourcenverknappung ausgehen.

### ***Land und Weiderechte in der Atlasregion***

Die verschiedenen Konfliktfelder und die gegenseitige Beeinflussung verschiedener lokaler und staatlicher Institutionen bei der Entscheidungsfindung über die Nutzung von Kollektivland zeigt sich auch bei zwei von IMPETUS geplanten botanischen Experimenten.

Das erste Experiment betraf die Anlage eines kleinen Gehölzpflanzversuchs mit Einsatz von Hydrogelen an der Testsite Taoujgalt. Geplant war, 0,25 ha kollektiven Weidelandes dafür zu nutzen. Vorgespräche mit den Verantwortlichen im Dorf hatten ergeben, dass Experimente auf dieser Fläche überhaupt kein Problem seien. Diese Haltung änderte sich, sobald klar wurde, dass Bäume gepflanzt werden sollten. Mit Bäumen bestandenes öffentliches Land ist gesetzlich *per definitionem* Forstland, das unter der Jurisdiktion der zentralstaatlichen Forstbehörde *Eaux et Forêts* steht. Für die Bewohner bedeutete die Bepflanzung also einen Verlust des bisherigen Weidelandes zugunsten einer Fläche, die einer wenig geliebten staatlichen Behörde zugerechnet wird.

Derart schwerwiegende Entscheidungen könnten nach Meinung der Dorfbewohner nicht ohne Entscheidung der *J'maa* der Ait Zekri getroffen werden. Wie im Süden auch ist die *J'maa* die traditionelle Institution, welche die Interessen der verschiedenen Gemeinschaften der Fraktion bündelt und nach außen hin vertritt. Die *J'maa* hat zwar seit der Kolonialzeit keine institutionelle Gültigkeit mehr, ist aber als lokale Instanz in den Augen der Bevölkerung nach wie vor zuständig. Im Norden allerdings war die *J'maa* als Entscheidungsinstanz nicht mehr operationalisierbar, und man konnte keinen Entschluss über die Rechtmäßigkeit des Experiments fassen.

Als Ausweidlösung wurde von den Dorfverantwortlichen die Anlage auf einer der Ackerparzellen neben der von IMPERUS bereits seit mehreren Jahren genutzten Testsite vorgeschlagen. Diese Parzellen sind zwar formell ebenfalls noch Kollektivland, unterliegen aber *de facto* individuellen Nutzungsrechten der Dorfbewohner. Gegen einen geringen Betrag konnte eine Parzelle für das Experiment angemietet werden.

Dieses Fallbeispiel zeigt gut, dass neben zentralstaatlichen Institutionen mit geringer lokaler Akzeptanz und traditionellen Gremien mit zwar hoher Akzeptanz, aber ohne Rechtsstatus, auch langfristige Unsicherheiten über den zukünftigen Status des Kollektivlandes und langfristige Strategien der Interessenbehauptung für aktuelle Managemententscheidungen eine Rolle spielen.

Das zweite Fallbeispiel betraf Weideexperimente des Teilprojekts B3 im Kollektivland des Weilers Tichki, dessen Bewohner zur Fraktion der Ait Toumert gehören. Mit dem Verantwortlichen für das Kollektivland des Dorfes war ausgemacht, dass kontrollierte Beweidungsexperimente auf dem kollektiven Weideland durchgeführt werden sollten. Als Entschädigung war eine Aus-

gleichssumme vorgesehen, über deren Bestimmung Repräsentanten der sechs in Tichki ansässigen Familienverbände verfügen sollten.

Gegen diese Abmachung beschwerte sich der stellvertretende Bürgermeister der *Commune*, welche laut *Charte Communale* die gesetzliche Zuständigkeit für kollektives Weideland hat, beim *Caid* („Landrat“, Vertreter des Innenministers). Eine derartige Abmachung könne nur über die *Commune* vereinbart werden. Die Dörfler aus Tichki fanden jedoch den Gedanken inakzeptabel, dass anderen Stammesfraktionen angehörende Gemeinderatsvertreter über die Verwendung von Ausgleichszahlungen für Kollektivland ihrer Fraktion mitentscheiden sollten. Es konnte keine Einigkeit erzielt werden. Der *Caid* zwang daher die Dorfvertreter aus Tichki, die Abmachung zu kündigen. Die Experimente konnten nicht realisiert werden. An diesem Fallbeispiel zeigt sich die Problematik der Inkongruenz bei der räumlichen Gliederung traditionell-tribaler und modern-zentralstaatlicher Verwaltungsstrukturen.

**Regional vergleichende Untersuchungen**

Um in Zukunft einen Vergleich zweier extremer Regionen unseres Arbeitsgebietes zu ermöglichen, wurde damit begonnen, zwei Weidesysteme mithilfe von Experten-Aussagen vergleichend zu analysieren. Beiden Systemen ist gemeinsam, dass sich die Herden in der heißen Jahreszeit in den Bergregionen aufhalten, im Herbst jedoch in tiefere Lagen ausweichen. Im südlichen Drâa-Gebiet westlich von Zagora ist für einige nomadische Gruppen ein Transhumanzzyklus charakteristisch, der sich zwischen der Feija sowie den Tal-Lagen und Bergregionen des Jebel Bani erstreckt (Abb. III.2.4-9).

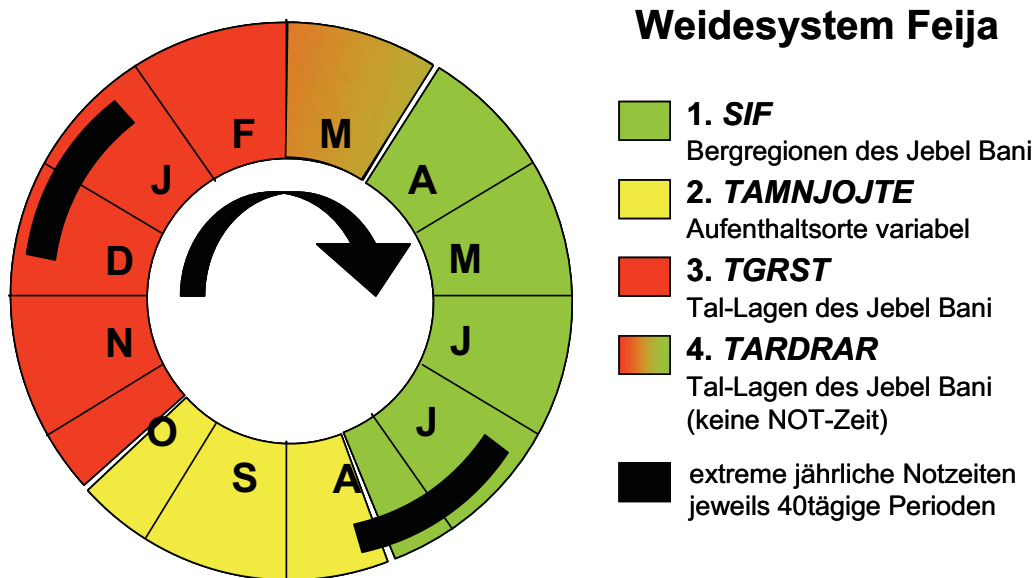
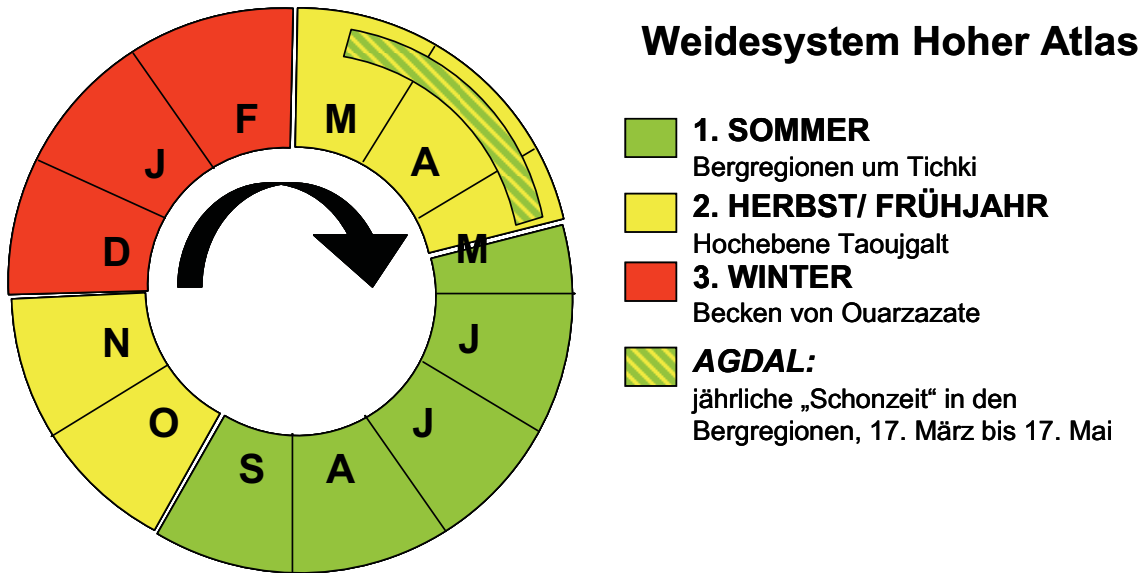


Abb. III.2.4-9: Jährlicher Verlauf des Transhumanzzyklus im südlichen Drâa-Tal

Die Zugwege der transhumanten Viehzüchtergruppen im nördlichen Drâa-Einzugsgebiet verlaufen idealerweise zwischen den Bergregionen des Hohen Atlas über das Becken von Ouarzazate

in den Jebel Saghro (Grafik in **Abb. V.2.4-5**). Wegen der geringen Regenfälle der letzten Jahre und der daraus resultierenden schlechten Qualität der Weideflächen im Jebel Saghro, wurde im Jahr der Befragung der letzte Teil des Zyklus ausgelassen. Die Hirten zogen nicht bis in den Jebel Bani und verbrachten die kalte Jahreszeit stattdessen im Bereich des Beckens von Ouarzazate.



**Abb. III.2.4-10:** Jährlicher Verlauf des Transhumanzzyklus zwischen Hohem Atlas und dem Jebel Saghro

In den beiden Grafiken (**Abb. III.2.4-9** und **Abb. III.2.4-10**) sind die Aufenthaltsorte der Nomaden in der jeweiligen Jahreszeit farblich gekennzeichnet. Im südlichen Drâa-Tal sind zusätzlich zu den Informationen über die Transhumanzwege die örtlichen Bezeichnungen der Jahreszeiten angegeben. Zwei Perioden im Jahreslauf, die von den Betroffenen als besonders hart bezeichnet wurden, sind mit schwarzen Balken markiert.

Je nach Weidesystem existieren Besonderheiten, wie der *Agdal* im Hohen Atlas, eine Zeit, in der es nomadischen Gruppen nicht erlaubt ist, ihre Herden auf den Gemeindeflächen der Dörfer zu weiden. Dieser Beschränkung liegt möglicherweise ein ökologischer oder ökonomischer Puffermechanismus zugrunde. Der Überblick über die zwei Systeme zeigt, dass im Süden des Untersuchungsgebietes ein sehr komplexes System vorliegt, was zudem durch die IMPETUS-Testflächen nur unzureichend wiedergegeben werden kann. Diese sind für die weideökologische Analyse jedoch ein wichtiger Ausgangspunkt, um Aussagen über die Regenerationsfähigkeit der Weiden treffen zu können (siehe PK Ma-L.2). Die Arbeiten zum Modell BUFFER werden sich daher zunächst exemplarisch auf Nutzergruppen im nördlichen Drâa-Catchment konzentrieren.

### ***Ausblick auf Möglichkeiten des Ressourcenmanagements***

Die räumliche, formelle und thematische Kartierung der Kompetenzbereiche von Institutionen des Ressourcenmanagements soll in Zusammenhang mit den Ergebnissen der weidewirtschaftli-

chen Modellierung, die der raumbezogenen Modellierung der ressourcenabhängigen Nutzungsmuster mobiler Viehhalter dient, in eine GIS-Plattform überführt werden. Als Inputdaten werden allgemeine Informationen über traditionelle und staatliche Institutionen auf verschiedenen Ebenen benötigt. Eine Bestandsaufnahme der Institutionen des Ressourcenmanagements beschreibt die Akteure. Daneben müssen die Kompetenzbereiche der Institutionen (legal, räumlich und thematisch) ebenso aufgezeigt werden wie die Mechanismen bei Nutzungsentscheidungen. Die GIS-Plattform dient als Ausgangsbasis für ein lokales Ressourcenmanagement und bildet gleichzeitig einen Bestandteil des im **PK Ma-L.1** entwickelten IS.

Bei der Auswahl der verfügbar gemachten Informationen muss beachtet werden, dass gezielte Interventionen, die ein langfristig nachhaltiges Ressourcenmanagement anstreben, für die lokale Bevölkerung nur dann attraktiv und akzeptabel sind, wenn Konsens darüber hergestellt werden kann, wem die nachhaltig nutzbar gemachte Ressource letztendlich zugute kommen wird. Erfahrungen verschiedener Einrichtungen haben gezeigt, dass die vorhandene rechtliche Unsicherheit, aber auch eine mangelnde Akzeptanz geplanter Maßnahmen, oft lediglich kurzfristige Exploitationsstrategien fördern, die einem nachhaltigen Ressourcenmanagement entgegenstehen. Werden solche Maßnahmen trotzdem, zum Beispiel durch staatlichen Druck, durchgeführt, so kann dies die traditionellen Instrumente des kollektiven Ressourcenmanagements untergraben und zu einer Verschärfung latent vorhandener Interessenskonflikte führen. Um die in der Arbeitsregion vorhandenen Kompetenzen zu bündeln, wurde für das Frühjahr 2007 ein Workshop zum lokalen Ressourcenmanagement vorbereitet, bei dem die für das Arbeitsgebiet relevanten, im nachhaltigen Ressourcenmanagement engagierten Institutionen eingebunden wurden.

## **Literatur**

- Ait Hamza, Mohammed (2002): Etude sur les Institutions Locales dans le Versant Sud du Haut Atlas. Projet CBTHA, Ouarzazate.
- Casciarri, B. (2003) Rare Resources and Environmental Crises: Notes on the Aït Unzâr Pastoralists in South-Eastern Morocco. *Nomadic Peoples*, Volume 7, Issue 1:177-186.
- El Alaoui, Mohammed (2003): Etude sur le Statut Juridique des Terres Collectives au Maroc et les Institutions Coutumières et Locales dans les Versant Sud du Haut Atlas. Projet CBTHA, Ouarzazate.
- Graefe, O. (2005) Les conflits autour de l'approvisionnement en eau potable dans une vallée du Haut Atlas: logiques sociales et jeux d'acteurs. In Ait Hamza & Popp (eds) Pour une nouvelle perception des fonctions des montagnes du Maroc, Actes du 7ème colloque germano-marocain, 23 – 25 septembre 2004, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohamed V, Rabat.
- Kraus, Wolfgang (1991) Die Ayt Hdiddu. *Wirtschaft und Gesellschaft im Zentralen Hohen Atlas*. Veröffentlichungen der Ethnologischen Kommission, Band 7; Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Liebelt, C. (2003) Die Wasserwirtschaft im südmarokkanischen Dratal im Spannungsfeld von lokaler und staatlicher Ressourcenkontrolle. *Kölner Ethnologische Beiträge* 7. Köln.
- Müller-Mahn, D. (2001) Verteilungskonflikte um knappes Wasser. In: INAMO Nr. 27, *Wasserpolitik: Probleme und Perspektiven*, S. 30-31.
- Werner, J. (2005): *Nomades entre marginalisation, entreprenariat et conflits. Stratégies des éleveurs mobiles du sud du Maroc face aux bouleversements du contexte pastoral et aux impératifs d'un développement durable*. Margraf Publishers, Weikersheim.