



4.4 Effizienter und tragfähiger Umgang mit Süßwasser anhand zweier Fallbeispiele in Nordwest- bzw. Westafrika

MICHAEL CHRISTOPH, ANDREAS H. FINK, BERND DIEKKRÜGER, HEINER GOLDBACH, THOMAS HECKELEI, BARBARA REICHERT, MARTIN RÖSSLER & PETER SPETH

Two examples toward the efficient and sustainable management of scarce water resources in North-west and West Africa: In the IMPETUS project thorough investigations of all aspects of the hydrological cycle were carried out within two river catchments in West Africa: the Wadi Drâa in the south east of Morocco and the Ouémé river in Benin. This choice was motivated by recent long-lasting drought periods north and south of the Sahara. In order to solve possible future problems with regard to fresh water supply, a clearly interdisciplinary approach was adopted. The underlying method is demonstrated exemplarily in this contribution on the basis of two pressing problems.

Die Verknappung der Süßwasserreserven wird das bedeutendste wasserwirtschaftliche Problem des 21. Jahrhunderts sein, das in Zusammenhang mit Problemen der Wasserqualität alle Anstrengungen zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung gefährden kann. In einigen Regionen sind soziale und politische Konflikte um die Ressource Wasser zu erwarten. Bereits jetzt hat die Wasserverknappung in vielen Regionen kritische Ausmaße angenommen. Für Afrika gehen einige Schätzungen davon aus, dass heute die zur Verfügung stehende Menge an Süßwasser pro Person nur noch ein Viertel derjenigen von 1950 beträgt (OBASI 1999). Für Nordwest- und Westafrika kommt erschwerend hinzu, dass diese Regionen in jüngster Zeit von lang anhaltenden Trockenperioden betroffen waren. Die steuernden Mechanismen für die Veränderlichkeit der Klimate in diesen Regionen sind bisher nur unzureichend verstanden, und dies vor dem Hintergrund der Tatsache, dass Nordwestafrika und das tropische Westafrika im 20. Jahrhundert weltweit die höchste Klimavariabilität aufgewiesen haben (FINK et al. 2010). Die Möglichkeit eines vom

Menschen verursachten globalen Klimawandels fügt der bereits jetzt in vielen Teilen der Erde bestehenden Herausforderung an die Sicherstellung der zukünftigen Wasserverfügbarkeit einen weiteren Risikofaktor hinzu.

Motivation

Westafrika südlich der Sahara gehört zu den Regionen, die, weltweit gesehen, die stärkste Klimavariabilität aufweisen. Besonders in den vergangenen Jahrzehnten hat sich diese Variabilität als sehr ausgeprägt erwiesen. Gleichermaßen zeichnen sich die subtropischen Klimate Nordwestafrikas durch beträchtliche jährliche und dekadische Niederschlagsschwankungen aus. Der 4. Sachstandsbericht (AR4) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sagt einen allgemeinen Temperaturanstieg für ganz Afrika vorher, mit trockeneren Bedingungen im subtropischen Nordafrika sowie Unsicherheiten bei den künftigen Niederschlagstrends in Westafrika (CHRISTENSEN et al. 2007). Neben den Klimafaktoren wird die Lage der Wasserressourcen in West-

und Nordwestafrika durch einen steigenden Wasserbedarf verschärft. Dies ist in erster Linie auf ein starkes Bevölkerungswachstum zurückzuführen, welches die Wasserverfügbarkeit pro Kopf bis 2025 erheblich vermindert ($<700 \text{ m}^3/\text{Jahr}$). Die Nahrungsmittelherzeugung, die Existenzsicherung und das Bruttoinlandsprodukt der Region hängen in hohem Maße von Ernteerträgen und daher auch von der Niederschlagsvariabilität ab.

Die natürliche Verfügbarkeit von Süßwasser wird vom hydrologischen Zyklus kontrolliert. Zur Lösung aktueller und zukünftiger Wasserprobleme hatten sich die Universitäten Köln und Bonn zu einem Verbund zusammengeschlossen und für einen interdisziplinären Ansatz unter Einbeziehung von Natur-, Sozial- und Medizinwissenschaften entschieden. Für zwei typische Flusseinzugsgebiete in West- bzw. Nordwestafrika hat das IMPETUS Projekt (Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) diesen integrierten Ansatz aufgegriffen und zwischen den Jahren 2000 und 2011 unter Einbeziehung lokaler Interessensvertreter realisiert (www.impetus.uni-koeln.de).

Auswahl der Flusseinzugsgebiete

Die beiden zwischen dem Atlas Gebirge und dem Golf von Guinea liegenden Flusseinzugsgebiete (Abb. 4.4-1)

wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt: Handhabbarkeit ($<100.000 \text{ km}^2$), bereits existierende Datengrundlage, politische Stabilität, wissenschaftliche Bedeutsamkeit sowie Repräsentativität im folgenden Sinn: Das Einzugsgebiet des Drâa in Marokko ist ein Beispiel für ein Flusssystem in einem humiden bis ariden Hochgebirge und dessen Vorland in den Subtropen; das Becken des Ouémé in Benin ist typisch für ein Einzugsgebiet in den wechselfeuchten subhumiden Randtropen.

Vergangene und gegenwärtige Situation

Mit Beginn der frühen 1970er Jahre wurde Westafrika von einer lang anhaltenden Dürreperiode betroffen, die ihren vorläufig letzten Höhepunkt in der ersten Hälfte der 1980er Jahre erreichte. Das mittlere Niederschlagsdefizit im Zeitraum 1971–1990 betrug im Vergleich zu 1951–1970 ungefähr 180 mm/Jahr . Davon betroffen waren alle Klimazonen zwischen der semi-ariden Sahel- und der subhumiden Sudan-Zone bis zur humiden Guineaküsten-Zone. Die lang anhaltende westafrikanische Dürre hatte zu tief greifenden Verschlechterungen in der ökonomischen und sozialen Entwicklung vieler westafrikanischer Länder geführt. So hatte sich zum Beispiel die Wasserführung der Flüsse in den jüngeren Dekaden um $40\text{--}60\%$ vermindert, was zu einer

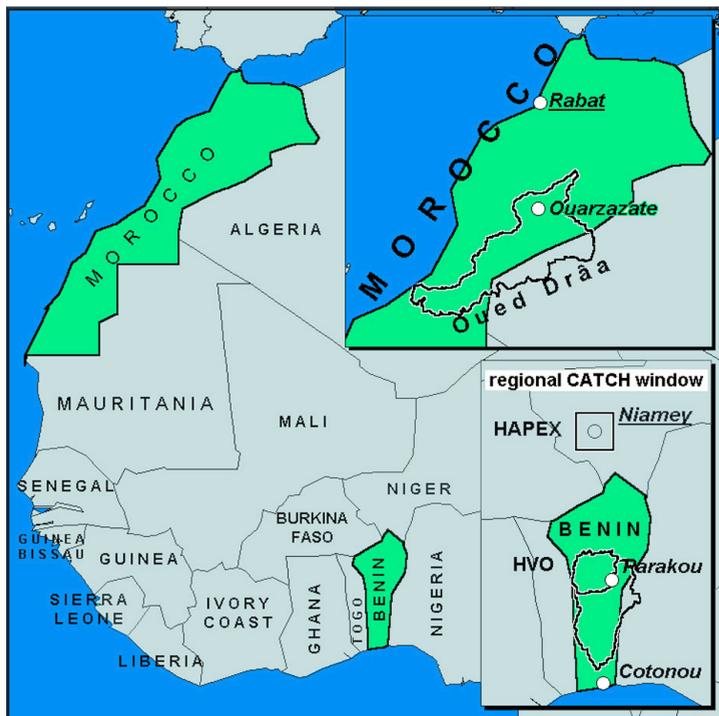


Abb. 4.4-1: Die zwei betrachteten Flusseinzugsgebiete. Das Flusseinzugsgebiet des DRÄA in Marokko und das Flusseinzugsgebiet des OUÉMÉ in Benin sind durch dicke Linien kenntlich gemacht.

Knappeit des für die Haushalte und die Landwirtschaft benötigten Wassers geführt hat. Als Konsequenz davon konnten in der Vergangenheit umfangreiche Migrationsbewegungen der Bevölkerung beobachtet werden. Während der regenreichen 1950er Jahre wurden im Bereich der Guineaküste Wasserkraftwerke erbaut, die einen maßgeblichen Beitrag zur Energieversorgung der Westafrikanischen Staaten leisten. Geringere Wasserführung der betreffenden Flüsse ist die Hauptursache für die vermehrt aufgetretene Energieknappheit der jüngeren Vergangenheit.

Der Niederschlag in Marokko wird stark durch die großskalige atmosphärische Zirkulation über dem subtropischen und außertropischen Nordatlantik und über dem Mittelmeer beeinflusst. Der größte Teil des Niederschlags fällt im Winter zwischen November und März. Seit den späten 1970er Jahren findet man in Marokko nördlich des Hohen Atlas ein verstärktes Auftreten von sehr trockenen Wintern, dessen Gründe bisher weitgehend unverstanden sind. Vor diesem Hintergrund stellt die Entwicklung eines nachhaltigen Wassermanagements eine besondere Notwendigkeit dar. Das im Projekt betrachtete Wadi Drâa wird von zwei Nebenflüssen gespeist, die den südöstlichen und südwestlichen Teil des Hohen Atlas entwässern und die nahe der Stadt Ouarzazate zusammenfließen. An dieser Stelle wurde der im Jahre 1972 fertig gestellte Mansour Eddahbi Staudamm errichtet. Infolge starker Sedimentierung beträgt die Kapazität des Stausees heute nur noch 440 Mio. m³ von ursprünglich 560 Mio. m³. In normalen Jahren werden etwa 245 Mio. m³ für eine zu bewässernde Gesamtfläche von 26.500 ha benötigt. Ein effektives und nachhaltiges Wassermanagement im Tal des Drâa ist insbesondere deshalb sehr wichtig, um den konkurrierenden Verbrauchern (Energieerzeugung durch Wasserkraft, Bewässerung, Verbrauch durch Haushalte und Tourismus) angemessene Ressourcen zur Verfügung stellen zu können.

Abgesehen von einem stetig abnehmenden Dargebot an Frischwasser pro Kopf in Benin und Marokko ist die gegenwärtige Situation nördlich und südlich der Sahara gekennzeichnet durch ein hohes Bevölkerungswachstum (mehr als 3% im Jahr), eine zunehmende Degradation der natürlichen Vegetation durch Überweidung (in Marokko), durch Bedarf an Brennholz und durch Wanderfeldbau (beides in Benin). Als Folge davon werden z.B. eine starke Erosion der Böden in Marokko (in geringerem Maße in Benin) und ein Anstieg der Salzkonzentration durch intensive Bewässerung beobachtet. Die Kombination der zuvor genannten Faktoren leistet einem beschleunigten Degradationsprozess der Vegetationsdecke in den kommenden Jahren weiter Vorschub.

Methodik

Aufgrund der Bedeutung des hydrologischen Zyklus für die Verfügbarkeit von Frischwasser wurden im Laufe der ersten dreijährigen Projektphase die wesentlichen Aspekte des Wasserhaushalts und des menschlichen Handelns in den beiden Untersuchungsregionen diagnostiziert und quantifiziert. In einem integrativen Ansatz wurden die bestehenden Zusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb des hydrologischen Kreislaufs mit Hilfe existierender numerischer und konzeptioneller Modelle der einzelnen beteiligten Disziplinen erfasst und die Modelle für die jeweilige Region und Fragestellung angepasst und verifiziert. Grundlagenforschung wurde nur in den Fällen betrieben, wo nicht auf bestehendes Wissen in der Literatur und Erfahrung zurückgegriffen werden konnte.

Zu Beginn des Vorhabens hat sich gezeigt, dass die vorhandene Datengrundlage teilweise unzureichend war. In diesen Fällen wurden eigene umfangreiche Datenerhebungen vor allem im Bereich der Sozioökonomie, der Ethnologie und Medizin durchgeführt. Insbesondere für die Anpassung und Verifikation der naturwissenschaftlichen Modelle wurden die vorhandenen lokalen Datennetze durch die Installation eigener Instrumente entlang eines Höhengradienten (in Marokko) oder auf Intensivmessflächen (in Benin) verdichtet.

In der zweiten dreijährigen Phase stand die Analyse der möglichen zukünftigen Entwicklung im Vordergrund. Aufgrund der mit der Modellierung verbundenen großen Unsicherheiten kann die zukünftige Entwicklung nicht exakt prognostiziert werden. Vielmehr muss mittels Zukunftsprojektionen versucht werden, die Bandbreite wahrscheinlicher Entwicklungen abzuschätzen, damit die Akteure geeignete Handlungsempfehlungen aus den Ergebnissen ableiten können. Hierzu wurden zunächst, orientiert an den allgemeinen Entwicklungen für die untersuchten Länder und in Abstimmung mit den lokalen Stakeholdern, Grob Szenarien entwickelt, die anschließend regionalisiert und für die jeweilige Fragestellung verfeinert werden. Betrachtet wurden neben dem Klimawandel der kulturelle und soziale Wandel, der institutionelle Wandel, die Bevölkerungsdynamik, die wirtschaftliche Entwicklung und technologische Innovationen. Die skalenabhängige, raumzeitliche Betrachtung und Bewertung der zukünftigen Entwicklung war die unverzichtbare Grundlage für die Entwicklung und Implementierung der im Wesentlichen Computerbasierten Werkzeuge für Entscheidungsträger während der dritten Phase. Ein intensiviertes Capacity Development und das Sammeln von Erfahrungen mit den Entscheidungsunterstützungssystemen im Alltagsbe-

trieb sowie dem Anbringen kleinerer Korrekturen und Anpassungen war Ziel einer zusätzlichen vierten Förderphase.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Bearbeitung von konkreten Problemstellungen im Vorhaben soll anhand zweier Fallbeispiele in Marokko bzw. Benin im Folgenden verdeutlicht werden:

Beispiel 1: Bewältigung der Wasserknappheit im Einzugsgebiet des Drâa, Marokko

Wie andere aride und semi-aride Gebiete ist das Einzugsgebiet des Wadi Drâa durch Wasserknappheit gekennzeichnet. Die Wasserverfügbarkeit im oberen Drâa Einzugsgebiet hängt hauptsächlich von Niederschlägen ab. Das Mittlere Drâa Einzugsgebiet wird jedoch überwiegend vom Staudamm beeinflusst. Der Stausee wird von ganzjährigen und periodischen Wasserläufen sowie Hochwasserabflüssen nach Starkregen gespeist und unterliegt starken Schwankungen. In grossen Gebirgshöhen fallen über 50% der Niederschläge in Form von Schnee, der im Hohen Atlas eine bedeutende Wasserressource darstellt. Unter Leitung der regionalen Landwirtschaftsbehörde ORMVAO (Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate) wird mehrfach im Jahr Wasser aus dem Stausee abgelassen. Die Häufigkeit und das Volumen werden entsprechend dem aktuellen Stauseevolumen geregelt. Das mittlere jährliche Volumen der Abgabe von 175 Mio. m³ kann in trockenen Jahren auf unter 100 Mio. m³ gesenkt werden. Die Landwirtschaft in den Oasen hängt in immer stärkerem Maße von Grundwasserentnahmen ab. Hierzu tragen der zunehmende Bedarf, die geringere Schneedecke im Hohen Atlas aufgrund der Temperaturerhöhung und episodische Trockenperioden bei. Daher müssen die Risiken der Grundwassergewinnung und der durch künstliche Bewässerung verursachten Versalzung stärker berücksichtigt werden.

Zur Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Wasserressourcen wurden Daten und Modelle in enger Zusammenarbeit mit den marokkanischen Partnern in hierfür speziell zugeschnittenen räumlichen Entscheidungsunterstützungssystemen zusammenggeführt. Für das vom Regen gespeiste Einzugsgebiet des Oberen Drâa wurden Abfluss, Grundwasserneubildung und Staubeckeninhalt für verschiedene Klima- und sozioökonomische Szenarien mit dem System HYDRAA (Hydrologic model for the Drâa catchment) und dem System PRORES (Prognosis of snowmelt runoff for the water reservoir) bewertet. Durch eine effiziente Bewirtschaftung des Stausees wird es möglich, Terminierung und Umfang der Wasserabgabe an stromabwärts gelegenen Oasen auf saisonale Abflussvorhersagen zu stützen. Die Wechselwirkungen

zwischen Oberflächen und Grundwasserverfügbarkeit sind vielschichtig. Hiermit befasst sich das System IWECS (Impact of Water Exploitation on Groundwater and Soil), das eine Folge von Modellen verwendet, um den Wasserbedarf der Oasen aus dem Stausee und dem Grundwasser, die mögliche Schädigung der Bodenqualität, die Grundwasserneubildung und -speicherung, den Wasserverbrauch der Haushalte sowie der Bewässerung zu überwachen.

Die wichtigsten Ergebnisse sind: Die vom Klimawandel ausgelöste allgemeine Verschiebung der Klimazonen in Marokko wirkt sich bereits auf die Schneedecke im Hohen Atlas aus und führt zu einem verringerten Abfluss aus der Schneeschmelze in den Stausee. Szenarien des Klimawandels mit trockeneren und wärmeren Bedingungen deuten darauf hin, dass sich dieser Trend fortsetzen wird. Dies könnte teilweise durch eine geänderte Niederschlagsverteilung mit selteneren, aber intensiveren Niederschlagsereignissen besonders in der Anti-Atlasregion ausgeglichen werden. Obwohl es möglicherweise nicht zu einer dramatischen Veränderung des Stausee-Speichervolumens kommen wird, müssen die Bewirtschaftungspraktiken in den Drâa Oasen zur Durchsetzung einer nachhaltigen Landwirtschaft geändert werden. Selbst ein geringer Rückgang des Jahresniederschlagsmittels um 10% bis 2020 (PAETH 2004) wird eine beträchtliche Abnahme des Grundwasserspiegels von 1 bis 2 Metern in den zwei nördlichen Oasen sowie von mehr als 6 bis 8 Metern im mittleren Abschnitt nach sich ziehen. In den zwei südlichen Oasen (Abb. 4.4-2, oben) wird der Rückgang zur vollständigen Erschöpfung der Grundwasservorräte führen. Die negativen Folgen können durch die direkte Abgabe von Hochwasserabflüssen in die Oasen ohne Speicherung im Staubecken und durch verbesserte Bewirtschaftung einzelner Oasen aufgefangen werden (Abb. 4.4-2, unten). Zusammenfassend ist festzuhalten, dass HYDRAA, PRORES und IWECS als Unterstützung für die marokkanischen Behörden hervorragend geeignet sind, einschließlich der Direction de la Recherche et de la Planification de l'eau (DRPE) in Rabat, der ORMVAO und der Agence du Bassin du Drâa in Ouarzazate. Für eine genauere Beschreibung der genannten Systeme siehe KLOSE et al. (2010).

Beispiel 2: Modellierung des Landnutzungswandels im Einzugsgebiet des Ouémé, Benin

Agrarkolonisation, Siedlungswachstum, Entwaldung und Desertifikation haben in den vergangenen drei Dekaden in Westafrika zu starken flächenhaften Veränderungen in der Landnutzung und Landbedeckung geführt. Auslöser für diese Entwicklungen sind maßgeblich das starke Bevölkerungswachstum (bis zu 3,5%),

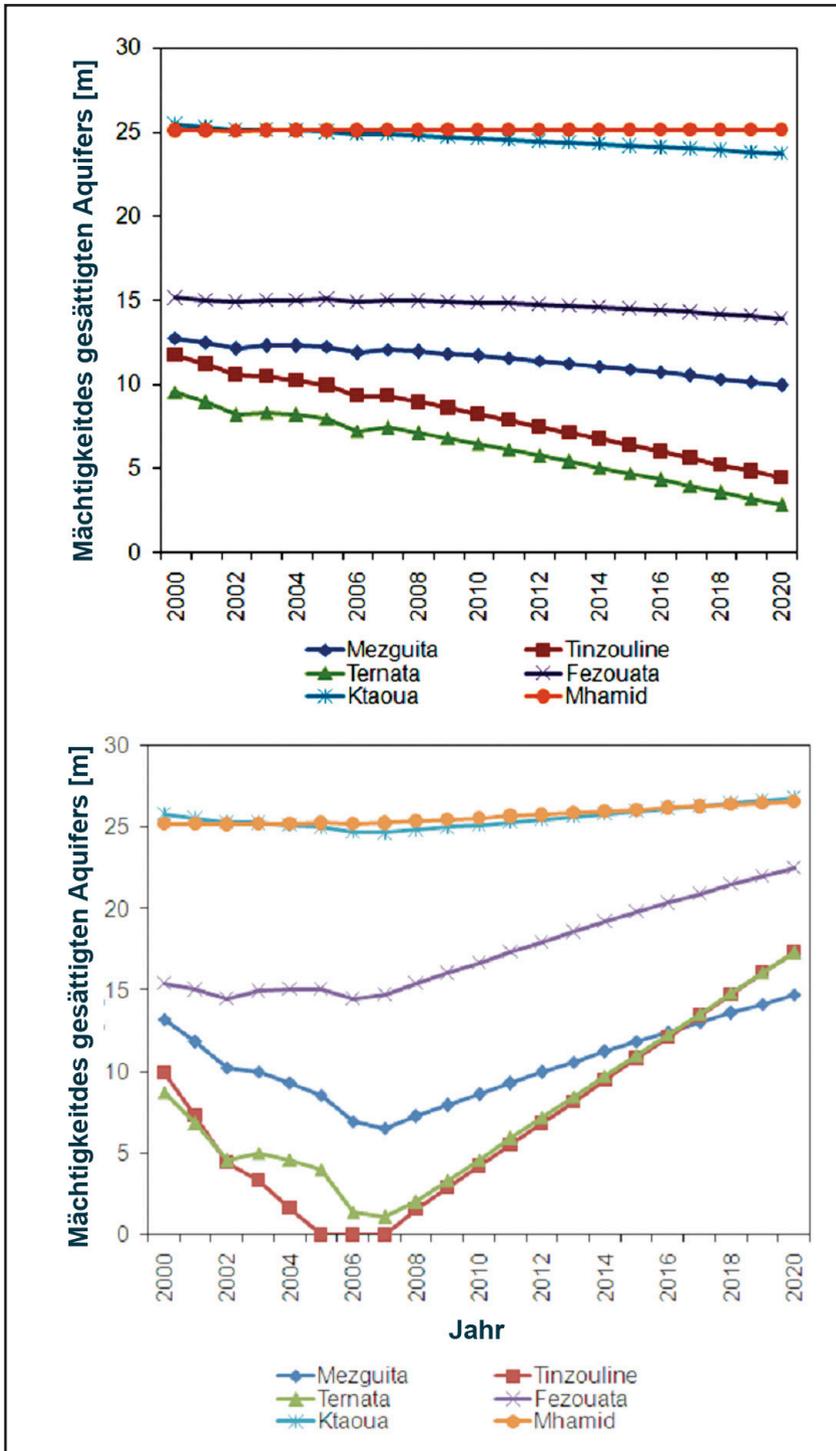


Abb. 4.4-2: Simulierte Mächtigkeit des gesättigten Aquifers für die sechs stromabwärts gelegenen Oasen (von Mezquita im Norden bis M'hamid im Süden). **Oben:** mit verringertem Jahresniederschlag; **unten:** Mit alternativer Stauseebewirtschaftung und angepasstem Verteilungsschema innerhalb der Oasenkette (Quelle: S. Klose, mit freundlicher Genehmigung des Autors).

das durch die Einwanderung aus benachbarten Regionen, insbesondere aus dem Norden noch verschärft wurde. Die insgesamt sehr hohen Umwandlungsraten in ackerbaulich genutzte Flächen – insbesondere in der Nähe größerer Straßen und Siedlungen – führen in den Savannen der Sudanzone zu gravierenden Auswirkungen auf ökosystemare Prozesse, biogeochemische Kreisläufe und damit auf das Leben der autochtonen Bevölkerung. Um auf den zunehmenden Mangel an Ackerland, den Rückgang der Bodenfruchtbarkeit und die vermehrten Konflikte um Wasser und Land rechtzeitig reagieren zu können, benötigen lokale und nationale Entscheidungsträger möglichst genaue Informationen über die zukünftigen Entwicklungen, um daraus Handlungsoptionen für eine nachhaltige Entwicklung ableiten zu können.

Aus einer großen Bandbreite unterschiedlicher Landnutzungsmodelle wurde das CLUES Modell (Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent, VERBURG et al. 2002) aufgrund seines dynamischen, vielskaligen Potenzials, seiner räumlichen detaillierten rasterbasierten Verfahrensweise und der in vielen erfolgreichen Anwendungen in tropischen Gebieten gewonnenen Erfahrungen ausgewählt. Für das Untersuchungsgebiet wurden die folgenden Antriebskräfte verwendet: Bevölkerungsdichte, Entfernung zu Straßen, Entfernung zu wichtigen Siedlungen, Besitzverhältnisse, Eignung der Böden für die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte und topographische Parameter. Hieraus wurden mittels logistischer Regression räumliche Wahrscheinlichkeitskarten für jede Landnut-

zungskategorie erstellt. Die übrigen Parameter wurden auf Grund detaillierter, praktischer Kenntnisse der Landnutzungsdynamik des Untersuchungsgebietes bestimmt.

Dieses Modell wurde für den Zeitraum 1991–2000 auf der Grundlage von Landnutzungsdaten aus Satellitenbildern kalibriert, um die Unterschiede zwischen modelliertem und beobachtetem Landnutzungswandel weitestgehend zu minimieren. Mit Hilfe statistischer Methoden wurde festgestellt, dass die Modellergebnisse auf 86% der Fläche mit den beobachteten Ergebnissen übereinstimmten (s. Abb. 4.4-3). Die Randbedingungen der modellierten Landnutzungsszenarien werden von den grundlegenden IMPETUS Szenarien vorgegeben, die einen Zeithorizont bis 2025 haben (REICHERT & JAEGER 2010). Die folgenden IMPETUS Szenarien wurden verwendet: Ein wirtschaftlich optimistisches Szenario mit starken Institutionen und Ressourcen schonender Bewirtschaftung, ein wirtschaftlich pessimistisches Szenario mit schwachen Institutionen und ein Business-as-usual-Szenario mit exponentiellem Bevölkerungswachstum. Die landwirtschaftlichen Flächen wurden auf der Grundlage des Bevölkerungswachstums (aus im Rahmen des Projekts erstellten demographischen Prognosen, s. DOEVENSPECK & HELDMANN 2010), der Flächennutzung pro Kopf sowie der Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktionsmethoden berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass jedes Szenario eine Zunahme der landwirtschaftlichen Flächen und einen Rückgang der natürlichen Vegetation aufweist. In Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte (vorwiegend in der Nähe von Städten) wird das gesamte verfügbare

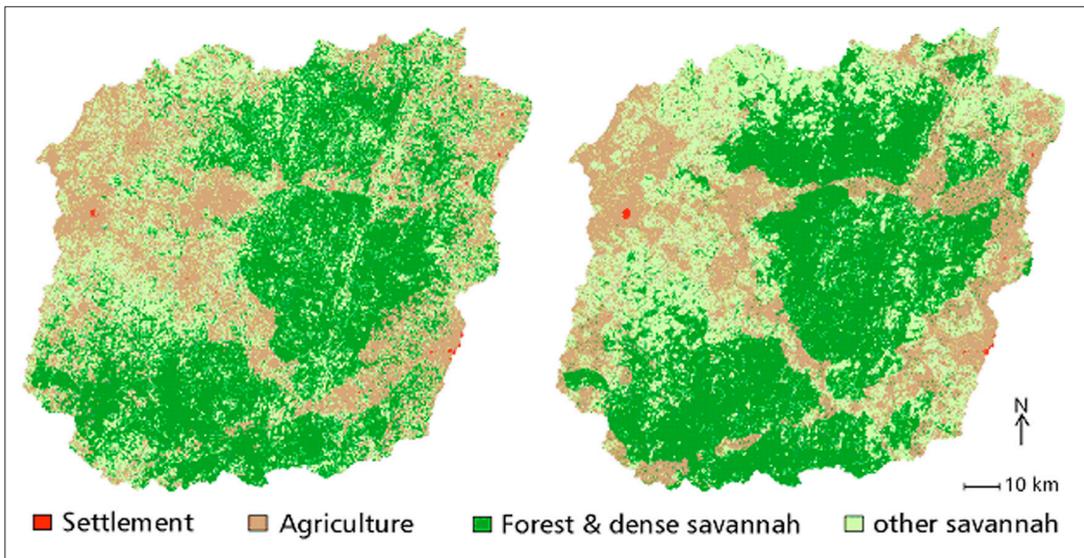


Abb. 4.4-3: Räumliche Verteilung der Landnutzung und Landbedeckung am Oberlauf des Ouémé für das Jahr 2000: **Rechts:** aus Satellitenbeobachtung, **Links:** aus dem Modell (Quelle M. Judex, mit freundlicher Genehmigung des Autors).

Land in Ackerflächen verwandelt. Weitere Nutzungsänderungen werden sich auf die Flächen entlang von Straßen und in der Nähe von Waldgebieten entwickeln, wo die Wahrscheinlichkeit landwirtschaftlicher Nutzung hoch ist. Dies wird zu einer hohen Abholzungsrate in diesen Bereichen führen. Wenn die geschützten Wälder (im Staatsbesitz) nicht überwacht werden, führt dies im wirtschaftlich pessimistischen Szenario dazu, dass Teile der Schutzwaldgebiete vermutlich in Ackerflächen verwandelt werden. Nachteilige Auswirkungen können durch Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und Verbesserung der Landnutzungsplanung gemindert werden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Modell zur Landnutzungsänderung ein hervorragendes Werkzeug für die Behörden in Benin ist, z.B. INRAB (Institut National des Recherches Agricoles du Bénin). Ausführlichere Details zum System finden sich bei MENZ et al. (2010).

Schlussbetrachtung

IMPETUS gründet sich auf einen interdisziplinären, ganzheitlichen Ansatz, auf dessen Grundlage verschiedene, nachfolgend zusammengefasste Erfahrungen gemacht wurden:

Es wurde festgestellt, dass tropisch-extratropische Wechselwirkungen im Klimasystem über Nordafrika für bis zu 40% der Niederschläge im Drâa Tal verantwortlich sind (KNIPPERTZ 2003). Dieser Prozess kann die oft bestehende Inkonsistenz (vgl. FINK et al. 2010) zu den Schwankungen des Niederschlags in der Region nordwestlich des Atlas Gebirges erklären. Dies stellt die Klimaprognosen im 4. Sachstandsbericht des IPCC (CHRISTENSEN et al. 2007) für diese Region in Frage, d.h. die Einstufung des gesamten Maghreb als Zone mit »sehr wahrscheinlicher« Tendenz zu geringeren Gesamtniederschlägen.

Eine andere Methode zum Umgang mit Klimamodellunsicherheiten bietet der Multi-Modellansatz (CHRISTOPH et al. 2010). IMPETUS war das erste Projekt weltweit, in dem Ensemble Prognosen zum regionalen Klima erstellt wurden, die realistische, transiente Landnutzungsänderungen für Westafrika beinhalten. Es zeigte sich, dass der beobachtete und projizierte Niederschlagsrückgang in diesem Modell weitestgehend mit der Abholzung von Wäldern verbunden ist.

Die Entwicklung der regionalen Klimamodellierung schreitet rasch voran und Ergebnisse aus Multi-Modell-Simulationen werden der wissenschaftlichen Gemeinschaft immer besser zugänglich werden und auch Niederschlag erzeugende Prozesse werden in Zukunft realistischer erfasst werden können.

Zusätzlich zu den bereits genannten Schlussfolge-

rungen wurden spezifische Erfahrungen gemacht: Die Datengrundlage für beide Einzugsgebiete war sehr beschränkt, insbesondere im Hinblick auf die räumlich stark differenzierte subtropische Gebirgsregion im Einzugsgebiet des Drâa. Zur Verbesserung wurden 13 Klimastationen aufgestellt, die einem Temperatur- und Ariditätsgradienten von Nord nach Süd folgen und die wichtigsten topographischen und geologischen Einheiten abdecken. Besonders erwähnenswert sind die sechs Stationen in der Jbel M'Goun Region (1.900 m bis 3.850 m ü.d.M.), die im nordafrikanischen Hochgebirge einzigartig sind. Die Überwachung der Schneedecke an den drei höchstgelegenen Stationen ist von zentraler Bedeutung für die Vorhersage der Frühjahrschmelze. Diese Informationen standen regionalen marokkanischen Wasser- und Agrarbehörden zuvor nicht zur Verfügung. Das Messnetz konnte in diesem Bereich an marokkanische Partner übergeben werden, um ein langfristiges Monitoring zu gewährleisten. Techniker wurden in der operationellen Anwendung des Messnetzes unterrichtet, einschließlich des Modellsystems für die Berechnung des Abflusses aus der Schneeschmelze.

Im Rahmen von IMPETUS wurde auch ein regelmäßig tagendes Steuerungsgremium im jeweiligen Land eingerichtet, das aus Stakeholdern unterschiedlicher Art und Ebenen bestand und die laufenden wissenschaftlichen Arbeiten beratend begleitete. In der vierten Phase wurden auf Vorschlag dieses Gremiums zahlreiche Mitarbeiter von Partnerorganisationen vor Ort zu sog. Multiplikatoren ausgebildet, die eine nachhaltige Verankerung von IMPETUS Wissen im Lande gewährleisten, indem sie in Zukunft andere Mitarbeiter intensiv schulen werden.

Danksagung

Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 07GWK02, 01LW0301A, 01LW06001A, 01LW0903A, sowie mit Mitteln des Ministeriums für Innovation, Wissenschaft Forschung und Technologie des Landes Nordrhein Westfalens unter dem Förderkennzeichen 31321200200 sowie durch die Universitäten Köln und Bonn gefördert.

Literatur

CHRISTENSEN J. H., HEWITSON B., BUSUIOC A., CHEN A., GAO X., HELD I., JONES R., KOLLI R. K., KWON W.T., LAPRISE R., MAGANA RUEDA V., MEARN L., MENENDEZ C. G., RÄISÄNEN J., RINKE A., SARR A. & WHETTON P. (2007): Regional climate projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Marquis M, Averyt K, Tignor MMB, Miller HLR Jr, Chen Z (Hrsg.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press,

- Cambridge. 847-940.
- CHRISTOPH M., A. H. FINK, H. PAETH, K. BORN, M. KERSCHGENS & K. PIECHA(2010): Climate scenarios. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 402-425.
- DOEVENSPECK, M. & M. HELDMANN(2010): Population projections for Benin. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 442-448.
- FINK A. H., M. CHRISTOPH, K. BORN, T. BRÜCHER, K. PIECHA, S. POHLE, O. SCHULZ & V. ERMERT (2010): Regional geography of West and Northwest Africa: An Introduction – Climate. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 54-58.
- KLOSE S., H. BUSCHE, A. KLOSE, O. SCHULZ, B. DIEKKRÜGER, B. REICHERT & M. WINIGER (2010). Impacts of global change on water resources and soil salinity in Southern Morocco. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 592-610.
- KNIPPERTZ P. (2003): Tropical–extratropical interactions causing precipitation in Northwest Africa: Statistical analysis and seasonal variations. *Mon Wea Rev* 13: 3069-3075.
- MENZ G., M. JUDEX, V. OREKAN, A. KUHN, M. HELDMANN & H.P. THAMM (2010): Land use and land cover modeling in Central Benin. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 512-534.
- OBASI G. O. P. (1999): Hydrology and water resources: a global challenge for WMO. Lecture at the 14th Conference on Hydrology 79th Annual Meeting of the American Meteorological Society. Dallas, Texas, USA, 16 pp.
- PAETH H. (2004) Key factors in African climate change evaluated by a regional climate model. *Erdkunde* 58:290-315.
- REICHERT B. & A. JAEGER (2010): Socioeconomic scenarios. In: SPETH P., M. CHRISTOPH & B. DIEKKRÜGER: Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa. Springer Heidelberg, DOI 10.1007/9783642129575. 426-441.
- VERBURG P. H., W. SOEPBOER & A. VELDKAMP (2002): Modelling the spatial dynamics of regional land use: the CLUES model. In: *Environmental* 30 (3), 391-405.
- Dr. Michael Christoph*
Institut für Geophysik und Meteorologie
Universität zu Köln
Kerpener Str.13 - 50923 Köln
christoph@meteo.uni-koeln.de
- Prof. Dr. Andreas H. Fink*
Institut für Geophysik und Meteorologie
Universität zu Köln
fink@meteo.uni-koeln.de
- Prof. Dr. Bernd Diekkrüger*
Geographisches Institut
Universität Bonn
b.diekkruenger@uni-bonn.de
- Prof. Dr. Heiner Goldbach*
Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und
Ressourcenschutz - Bereich Pflanzenernährung
Universität Bonn
h.goldbach@uni-bonn.de
- Prof. Dr. Thomas Heckelei*
Institut für Lebensmittel- und Ressourcenökonomik
Universität Bonn
thomas.heckelei@ilr.uni-bonn.de
- Prof. Dr. Barbara Reichert*
Steinmann Institut - Geologie
Universität Bonn
b.reichert@uni-bonn.de
- Prof. Dr. Martin Rössler*
Institut für Ethnologie
Universität zu Köln
martin.roessler@uni-koeln.de
- Prof. Dr. Peter Speth*
Institut für Geophysik und Meteorologie
Universität zu Köln
speth@meteo.uni-koeln.de