

GLOWA-Volta Projekt

Abschlussbericht der zweiten Projektphase

Berichtszeitraum: 01.06.2003-30.05.2006

Projektnummer: 07GWK01

eingereicht beim Bundesministerium für Bildung und Forschung

April 2007

Dieser Bericht ist die deutsche Zusammenfassung des ausführlichen Abschlussberichtes: Rodgers, C. et al. (2007) „GLOWA-Volta. From concept to application. Completion report phase II”, ZEF, Bonn. Für detaillierte Forschungsergebnisse, Abbildungen, Abkürzungen und die Übersicht über Publikationen des Projektes ist der Originalbericht zu konsultieren.



Center for Development Research
University of Bonn
ZEF Bonn



GLOWA-Volta Projekt	1
1. Einleitung: Die zweite Projektphase – Vom Konzept zur Anwendung	3
1.1. Das GLOWA Volta Projekt	3
1.2. Planung und Fortschritt des Projektes	5
1.3. Fortschritte bezüglich Infrastruktur und capacity building	7
1.3.1. Technische Infrastruktur und Forschungsnetzwerk	7
1.3.2. Doktor-, Magister- und Diplomarbeiten.....	9
1.3.4. Kooperation mit lokalen Interessengruppen	9
2. Forschungsergebnisse der einzelnen Unterprojekte	10
2.1. Atmosphäre	10
2.1.1. Unterprojekt A1: Regionale Klimasimulation	10
2.1.2. Unterprojekt A2: Hydro-Meteorologisches Überwachungssystem	11
2.1.3. Unterprojekt A3: Beginn der Regenzeit.....	12
2.2. Landnutzung.....	13
2.2.1. Unterprojekt L1: Wandel und Quantifizierung der Landoberfläche.....	13
2.2.2. Unterprojekt L2: Bodenbeschaffenheit	14
2.2.3. Unterprojekt L3: Vegetationsdynamik.....	15
2.2.4. Unterprojekt L4: Modellierung und räumliche bzw. zeitliche Hochrechnung von Erosion und hydrologischen Prozessen.....	16
2.2.5. Unterprojekt L5: Voraussage von Wandel in der Landnutzung	17
2.3. Wassernutzung	19
2.3.1. Unterprojekt W1: Oberflächenabfluss und hydraulische Berechnungen.....	19
2.3.2. Unterprojekt W2: Wasser und Livelihood	20
2.3.3. Unterprojekt W3: Institutionenanalyse	21
2.4. Technische Integration und Decision Support	23
2.4.1. Unterprojekt D1: Technische Integration von sozioökonomischen und naturwissenschaftlichen Modellen	23
2.4.2. Unterprojekt D2: Haushaltsentscheidungen und political responses	24
2.4.3. Unterprojekt D3: Experimentelle Anwendung von wissenschaftlichem Wissen (Policy Pilot Study).....	24
3.2. Analyse der Ergebnisse der zweiten Projektphase	25
3.3. Ausblick auf Phase III.....	27

1. Einleitung: Die zweite Projektphase – Vom Konzept zur Anwendung

1.1. Das GLOWA Volta Projekt

Das Volta Becken, das sechs westafrikanische Staaten umfasst, ist in vielerlei Hinsicht repräsentativ für andere große Flussbecken der so genannten Entwicklungsländer. Es stellt eine Reihe von Herausforderungen an das Management von Wasserressourcen, wie eine statische bzw. reduzierte Wasserverfügbarkeit als Ergebnis von globalem und regionalem Klimawandel. Risiken bergen aber auch Veränderungen in der Landnutzung, die in den kommenden Jahrzehnten steigende Nachfrage nach Wasser für Haushalte, Landwirtschaft und die Generierung von Wasserkraft, der somit steigende Wettbewerb um Wasserressourcen zwischen den Wassersektoren und schließlich die Verschlechterung von Wasserqualität sowie die Wasserversorgung für Ökosysteme. Andere Herausforderungen umfassen schwache, ineffiziente oder miteinander konkurrierende Wasserrechte und Regierungsstrukturen, unzureichende hydro-klimatische Daten, unangemessene wissenschaftliche Kapazitäten, um politische Entscheidungen effektiv zu stützen, sowie eine geringes Investitionsaufkommen, das dem begrenzten Zugang zu finanziellen Mitteln geschuldet ist. Ein Großteil der Forschung des GLOWA Volta Projektes (GVP) wurde konzipiert, um gerade diese Probleme zu beleuchten. Dementsprechend können unsere Forschungen zu den physischen und sozioökonomischen Determinanten des Wasserkreislaufs im Volta Becken und die Entwicklung eines Werkzeugs zur politischen Entscheidungsfindung zur Stärkung des Wassermanagements im Flussbecken allgemein und über das Volta Becken hinaus beitragen.

Die beiden wichtigsten Anrainerstaaten des Volta Beckens Ghana und Burkina Faso stellen den Kontext des GLOWA Volta Projekts, das vom Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF) in Bonn koordiniert wird. Das 400.000 km² große Flussbecken bedeckt 40,18 % bzw. 42,65 % des jeweiligen nationalen Territoriums. Die beiden Länder umfassen das gesamte Spektrum an klimatischen Zonen (mind. vier: sub-feuchtes Klima im Süden bis semi-arides Klima im Norden des Flussbeckens) und verschiedenste Arten der Landnutzung, an jährlichen Niederschlagsmengen (2.000 mm im südlichen Waldgebieten hin zu weniger als 600 mm in der Sahel) und an Vegetationszonen, des Weiteren die gesamte Bandbreite an soziokultureller und ökonomischer Varianz. Globaler Klimawandel wird als Faktor wahrgenommen, der zur schon existierenden Unregelmäßigkeit und Unvorhersehbarkeit von Niederschlag innerhalb des Flussbeckens beiträgt. Ein prognostiziertes jährliches Bevölkerungswachstum von 2,8 % und die Ausweitung von Bewässerungssystemen in nördlichen Teilen des Beckens werden zu einer Situation führen, in der Haushalte und Bewässerung direkt mit der Wassernutzung für die Energieerzeugung durch neu entstehende Dämme in Burkina Faso und dem schon bestehenden Akosombo Damm am Volta Lake, der 90 % des Stroms für Ghana produziert,

konkurrieren. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass das Projekt nicht nur maßgeblich zum wissenschaftlichen Verständnis der Verbindungen zwischen Klima, Hydrologie und Wandel in der Landnutzung innerhalb eines der wichtigsten westafrikanischen Flussbecken beiträgt, sondern darüber hinaus auch einen Beitrag zur Lösung von Problemen zwischen Wassersektoren liefert.

Der englischsprachige Abschlussbericht der zweiten Projektphase (Rodgers et al. 2007) präsentiert die wichtigsten Forschungsergebnisse und gibt einen Überblick über die bisher publizierten und produzierten Doktor-, Magister- und Diplomarbeiten. Er ist dem Forschungsantrag entsprechend in vier Forschungsbereiche bzw. Unterprojekte unterteilt (Atmosphäre, Landnutzung, Wassernutzung, technische Integration). Einige Arbeiten der zweiten Phase konnten diesen vier Bereichen nicht eindeutig zugeordnet werden, da sie zwei oder drei der Unterprojekte umfassen, z.B. die Arbeiten zu Landnutzung, die übergreifend alle Unterprojekte zu Landnutzung miteinbezogen, die Kopplung von atmosphärischen und hydrologischen Modellen (ursprünglich Unterprojekte A1 und W1) sowie die *Multi-Agent-Systems* (MAS) Modelle, die von Dr. Quang Bao Le entwickelt wurden und die Bereiche Landnutzung und Wassernutzung verbinden. Diese Zusammenfassung erhebt nur den Anspruch, einen Überblick über den Verlauf der zweiten Forschungsphase zu geben und allgemein über den Fortschritt in den Unterprojekten zu berichten. Für detaillierte Angaben, Abbildungen und die Publikationsliste ist der Originalbericht zu konsultieren.

Unserer Wahrnehmung nach wurde die zweite Phase des GLOWA Volta Projektes angemessen und ausreichend finanziell gefördert, so dass die Verfügbarkeit von Geldern nur in Ausnahmefällen zu einer Einschränkung der Forschungsaktivitäten und deren erfolgreichem Abschluss führten. Stattdessen erwies sich der häufige Personalwechsel innerhalb des Projektteams als größtes Problem von Phase II. Wie schon in der ersten Phase setzte das Projekt auf die Arbeit von Doktoranden, von denen viele aus den Ländern des Volta Beckens stammten. Obwohl viele Absolventen dem Projekt weiterhin als *post-docs* zur Verfügung standen bzw. ihre Arbeit an Partnerinstituten des Projekts in Ghana und Burkina Faso fortsetzen, verdingten sich viele Absolventen auch auf dem internationalen Arbeitsmarkt und waren somit für eine weitere intensive Zusammenarbeit mit dem Projekt verloren, sobald ihre fachliche Qualifikation innerhalb des Projekts abgeschlossen war. Desweiteren wechselten wissenschaftliche Mitarbeiter und Koordinatoren vom GLOWA Volta Projekt zu dauerhaften Anstellungen an andere Forschungsinstitutionen oder internationale Forschungszentren, einschließlich dem International Water Management Institute (IWMI). Viele der ehemaligen Mitarbeiter sind weiterhin informell mit dem Projekt verbunden, aber widmen ihre Hauptarbeitszeit ihren neuen Aufgaben. Als Ergebnis des Personalwechsels traten Diskontinuitäten in der Projektarbeit auf. Der Zugang zu sozioökonomischen und physischen Daten war weiterhin ein Bereich, in den das Projekt große Anstrengungen investierte, auch wenn die großen Datenlücken im Verlauf der ersten und zu Beginn der zweiten Projektphase ausgeräumt werden konnten. Die ausgewählten Simulationsmodelle

wurden während Phase II hinsichtlich ihrer Eignung und ihrer Leistungsfähigkeit überprüft und die Auswahl größtenteils bestätigt. Da die Modelle nicht ex ante auf der Basis ihrer Kompatibilität zueinander ausgewählt wurden, bestand die Arbeit darin, Verbindungen und Funktionen zur Integration zu entwickeln, was sich als sehr aufwendig herausstellte. Eine Integrationsstrategie, die auf verschiedenen Komponenten basiert (siehe D1 Unterprojekt im englischsprachigen Bericht), wurde seit Mitte der zweiten Forschungsphase konsequent verfolgt.

Die Infrastruktur für die Forschung erwies sich als funktional, was zu einem Großteil dem Engagement und der Erfahrung der Koordinatoren zu verdanken ist. In Ghana war es Dr. Boubacar Barry, der seit Juni 2005 Dr. Mark Andreini ersetzte, der eine Anstellung im IWMI Büro in Washington D.C. annahm. Dr. Konrad Vielhauer fungierte als Projektkoordinator in Burkina Faso seit der Ausweitung der Forschungsaktivitäten in diesen Teil des Volta Beckens. Die Effektivität ihre Arbeit wurde durch Partnerinstitutionen gestärkt. Als wichtigste Unterstützer sind IWMI, der *Ghanaian Council for Scientific and Industrial Research* (CSIR) in Ghana bzw. die *Dreyer Stiftung* und *INERA* in Burkina Faso zu nennen. Schließlich war die Einbettung des Projektes in die politische Matrix, die dauerhafte Zusammenarbeit mit den Regierungen von Ghana und Burkina Faso sowie einer Reihe von internationalen Akteuren von Vorteil.

1.2. Planung und Fortschritt des Projektes

Die Zielstellungen des GLOWA Volta Projektes bleiben im Vergleich zum ersten und zweiten Forschungsantrag unverändert: (1) die Analyse der physischen und sozioökonomischen Determinanten des Wasserkreislaufs im Volta Flussbecken; (2) die Entwicklung eines wissenschaftlich-basierten Systems zur politischen Entscheidungsfindung (*Decision Support System, DSS*) zur Beurteilung und Entwicklung der Wasserressourcen im Volta Becken. Das DSS soll Entscheidungsträgern ermöglichen, die Auswirkungen von Klimawandel und Veränderungen in der Landnutzung mit ihren Politiken, Investitionen und Interventionen hinsichtlich ihrer sozialen, ökonomischen und biologischen Produktivität der Wasserressourcen abzustimmen. Integraler Bestandteil dieser Bemühungen ist die Entwicklung von wissenschaftlicher Kapazität und Infrastruktur innerhalb des Volta Beckens, um die Nachhaltigkeit des DSS nach Abschluss der formalen GVP Aktivitäten zu gewährleisten. Die Entwicklung lokaler Expertise durch Bildung und Training, Zusammenarbeit in der Forschung und die Partizipation von Interessengruppen ist momentan eine der erfolgreichsten Aktivitäten des Projekts und wurde zur dritten offiziellen Zielsetzung erhoben. Die zweite Phase von GLOWA Volta wurde im Juni 2003 initiiert und es wurden

vier strategische Ziele für diese Forschungsphase identifiziert:

- Erfolgreicher Abschluss der Aktivitäten aus Phase I
- Ausweitung wesentlicher Forschungsaktivitäten auf Burkina Faso
- Technische Integration der disziplinären Modelle und interdisziplinärer Wissensaustausch
- Design, Test und erste Anwendung eines Prototypen des DSS für das White Volta Becken

Allgemein kann konstatiert werden, dass das erste und das zweite Ziel uneingeschränkt erreicht wurden und große Fortschritte in Richtung der beiden verbleibenden Ziele zu verzeichnen sind. Zusätzliche Aktivitäten, die nicht explizit im Forschungsvorhaben der zweiten Phase geplant waren, umfassten (a) eine multidisziplinäre Bewertung von Bewässerung durch Brunnen (*shallow groundwater irrigation*), (b) eine integrierte Analyse von kleinen Reservoiren, und (c) eine Analyse der Sektoren Landwirtschaft und Wasserkraft mithilfe des CIRAD MATA (*Multi-Level Analysis Tool for Agriculture*), eines bio-ökonomischen Modells, und des *West African Power Pool* (WAPP). Obwohl diese Aktivitäten für die dritte Phase vorgesehen waren (siehe Forschungsantrag für die dritte Phase), wurde ihr Grundstein schon in der zweiten Phase erfolgreich gelegt. Diese Aktivitäten sorgten für eine Verbindung des Projektes zu der im Entstehen begriffenen *Volta River Basin Authority*, die 2006 formell ins Leben gerufen wurde.

Einige Personalwechsel trugen zur Neuorientierung der Forschung während der zweiten Phase bei. Als wichtigste Veränderungen sind zu nennen: (1) die seit Ende 2003 offene Stelle (vorher besetzt durch Michael Schmidt, DLR/ Universität Würzburg) konnte erst Ende 2004 mit Dr. Sasa Fistic neu besetzt werden, die wiederum Ende 2005 von Dr. Tobias Landmann abgelöst wurde. Als Konsequenz der vakanten Stelle und der Personalwechsel kam das Vorhaben *cellular automata* basiertes LULC Modell in Verzug und wird nun erst Ende 2007 fertig gestellt sein; (2) Ende 2004 gab Thomas Berger seine Arbeit beim ZEF auf und wechselte an die Universität Hohenheim. Seine Aufgabe, die Identifizierung und Nutzung von *Multi-Agent-System* (MAS)-basierten Modellen für kommunales Wassermanagement, blieb darum unvollendet, obwohl Dr. Berger weiterhin mit dem GLOWA Volta Projekt zusammenarbeitet. Dr. Bergers Position als führender Ökonom des GVP wurde erst am Ende der zweiten Phase mit Dr. Victor Afari-Sefa neu besetzt. Dr. Afari-Sefa ist Agrarökonom, dessen Expertise im Bereich Partial Equilibrium - im Unterschied zu MAS - zu finden ist, sodass die Komponente der ökonomischen Entscheidungen eine dementsprechende Neuorientierung erfuhr; (3) Die Entwicklung des *agent-based* GV-LUDAS, das während der ersten Phase zügig unter Dr. Soojin Park vorangetrieben wurde, wurde mit dessen Rückkehr nach Korea im Jahr 2003 unterbrochen, aber unter Dr. Quang Bao Le 2005 fortgeführt; (4)

Nick van de Giesen, der wissenschaftliche Koordinator des GVP, nahm Mitte 2004 eine dauerhafte Stellung an der technischen Universität in Delft an. Seine Aufgaben wurden von Dr. Charles Rodgers (*International Food Policy Research Institute*, IFPRI, Washington D.C.) im Juli 2004 übernommen. Da sich die Verträge der beiden zeitlich überschneiden, konnte Dr. Rodgers von Dr. van de Giesen in sein neues Aufgabenfeld eingeführt werden. Nick van de Giesen steht dem Projekt weiterhin beratend zur Seite.

1.3. Fortschritte bezüglich Infrastruktur und capacity building

1.3.1. Technische Infrastruktur und Forschungsnetzwerk

Während der zweiten Projektphase wurden die Forschungsaktivitäten auf Burkina Faso ausgeweitet, hauptsächlich durch eine wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem *Institut de l'Environnement et de Recherche Agricoles* (INERA) und durch die Etablierung eines Forschungsnetzwerkes, das das Projekt mit BIOTA-West Africa und dem *Virtual Institute* der Dreyer Stiftung vernetzt. Das Forschungsnetzwerk in Ghana wurde gestärkt und ausgebaut. Anfang 2005 wurde das White Volta Pilotprojekt formal initiiert. Dafür kooperierte das Projekt mit der Ghanaischen *Water Resources Commission* (WRC) und dem IFPRI im Rahmen des *Challenge Program on Food and Water* (CPWF) und des *Governance and Modelling Project* (GMP). Ein gemeinsames Büro in Bolgatanga (*Upper East Region*) wurden eingerichtet und gemeinsame Untersuchungen zu Bewässerung mit Brunnen und Pumpen an Flussläufen begonnen. Die Untersuchungen sind von großem Interesse für die WRC und für das Ghanaische *Ministry of Food and Agriculture* (MoFA). Die Infrastruktur für die Forschung verbesserte sich durch die Integration des Projekts und den Aktivitäten in regionalen Forschungsnetzwerken, wie dem *Multi-scale Monitoring Concept* in Burkina Faso, das GVP mit BIOTA-West Africa (BMBF) und dem burkinischen Counterpart INERA vereint. Das *Biophysical Observation Network* (BON) kombiniert wichtige Eigenschaften von bio-physikalischen Basismessungen mit Fernerkundungstechniken, um eine Überwachung der Vegetation, hydrologischer und bio-geophysikalischer Prozesse sowie eine Bewertung der klimatischen Dynamik aufgrund von Beobachtungen der Biosphäre zu ermöglichen. Im Jahr 2004 wurde das *Centre de Recherches et de Formation Scientifique* (CRFS) in Dano/ Burkina Faso, eine internationale Forschungseinrichtung eingeweiht, das von der Dreyer Stiftung gebaut und von ZEF/ GVP, BIOTA-West Africa, dem Helmholtz Institut and INERA genutzt wird. Um den Transfer und die Entwicklung von rechenintensiven numerischen Modellierungsaktivitäten zu gewährleisten, etablierte das Projekt eine formale

Arbeitskooperation mit dem *Kofi Annan Center of Excellence in Information and Communications Technology* (KACE), einer indisch-ghanaischen Einrichtung in Accra.

Die europäische Raumfahrtbehörde ESA plant eine Mission zur Beobachtung von Bodenfeuchte und Salzgehalt in Ozeanen (SMOS), die Anfang 2008 gestartet werden soll (<http://www.esa.int/esaOP/LPsmos.html>). Das GVP machte den Vorschlag, an diesem Projekt teilzunehmen, wurde in das SMOS Datenbeschaffungs- und Datenvalidierungsteam (SVRT) aufgenommen und wird dort hauptsächlich durch den Doktoranden Jan Friesen vertreten. Im GVP wurde ein Beobachtungsnetzwerk zur Überwachung der Bodenfeuchte entlang eines Transekts auf drei bestehenden Versuchsflächen des GVP aufgebaut: Boudtenga, Tamale und Ejura. Die Messstationen in Dano und Navrongo sind ebenfalls mit automatischen Klimastationen ausgerüstet, die Bodenfeuchte in hoher zeitlicher Auflösung messen (Friesen 2005). In diesen Messstationen werden wichtige Daten vor Ort erhoben, die benötigt werden, um die Messungen der SMOS Mission zu kalibrieren und zu validieren. Die erhobenen Daten sollen auch zur Kalibrierung und Validierung des mesoskaligen Klimamodells MM5 verwendet werden, das vom IMK-IFU angewendet wird und kurzzeitige Klimavorhersagen für das Volta Becken ermöglicht. Die Beobachtung von Bodenfeuchte mit Hilfe von Fernerkundungsdaten wird ein wichtiges Instrument für das Klimamonitoring im GVP werden.

Im Naturpark Bontioli, Burkina Faso, wurden in Zusammenarbeit mit BIOTA-West Africa vier Testflächen für die Messung von *sap flow* angelegt, um die Validierung des Klimamodells MM5 und hydrologischer Modelle (WaSiM-ETH) zu ermöglichen. Die Testflächen wurden so ausgesucht, dass sie eine große Zahl der dominanten Baumarten im Volta Becken repräsentieren. Die auf diesen Testflächen gewonnenen Daten können zur Validierung der Evapotranspiration großer Flächen dienen, die mit numerischen Modellen, Szintillometermessungen (LAS), Eddi-Kovarianzmessungen und SEBAL und SEBAL- verwandten Energiebilanzalgorithmen abgeschätzt wird.

Um das Verständnis des Grundwasserregimes zu verbessern, wurden vier Stationen im Teileinzugsgebiet Nakambe des White Volta in Burkina Faso mit Regenmessern, Piezometern und Divern (Geräte zur Messung des Wasserstandes) ausgerüstet. Die Instrumente wurden täglich abgelesen und lieferten Daten, auf deren Grundlage eine Abschätzung der jährlichen Grundwasserneubildung ermöglicht wurde. Weiterhin wurden an 15 Messstellen täglich Wasserproben entnommen, um die Entwicklung der Qualität und Quantität des Grundwassers zu beobachten. Anfang 2006 wurde mit einer grundlegenden Untersuchung der Grundwasserneubildung in der Upper East Region, Ghana, begonnen (Emmanuel Obuobie,

Doktorand aus Ghana). Während dieser Arbeit soll ein regionales Netzwerk aus Klima- und Grundwassersensoren aufgebaut werden, deren Messungen mit Berechnungen des USDS-ARS Modell SWAT ergänzt werden sollen.

Um die Kalibrierung und Validierung gekoppelter Klimamodelle und hydrologischer Modelle zu ermöglichen, wurde im Frühjahr 2004 ein dichtes Beobachtungsnetz für Niederschlag und Oberflächenabfluss unter Beteiligung von Wissenschaftlern des ZEF, des IMK-IFU und des hydrologischen Dienstes Ghana (HSD) aufgebaut. Im Oktober 2004 wurden zwei HydroArgos an zwei Standorten installiert, die nach Beratungen mit dem HSD ausgesucht worden waren. Die HydroArgos Einheiten übermitteln die Daten der Wasserstandsmessungen der vor Ort installierten Diver via Satellit auf eine Internetplattform, so dass die Daten nahezu in Echtzeit sowohl in Deutschland als auch in Ghana abgerufen und analysiert werden können.

1.3.2. Doktor-, Magister- und Diplomarbeiten

Die meisten Doktoranden des Projekts durchliefen die *Bonn International Graduate School for Development Research* (BIGS-DR) am ZEF in Bonn. Alle Dissertationsprojekte der ersten Phase waren mit Ende der zweiten Phase abgeschlossen, aber vierzehn Doktoranden, die in der zweiten Phase begonnen haben, werden ihre Arbeiten erst bis Mitte 2007 (erstes Drittel der Phase III) beenden. In der zweiten Phase schlossen zweiundzwanzig Doktoranden erfolgreich ab. Dazu kommen noch acht Magister- und vier Diplomarbeiten, die beendet wurden. Die zeitliche Planung und Durchführung von Dissertationsprojekten ist nicht notwendigerweise kongruent mit den Phasen des GLOWA Volta Projektes, da andere Faktoren wie akademische Programme, der Wechsel von Regen- und Trockenzeit im Untersuchungsgebiet, Vegetationszyklen, oder die Vorgaben der Prüfungstermine durch die jeweiligen Fakultäten auch in die Zeitplanung der einzelnen Vorhaben eingreifen. Abgesehen von den so verursachten zeitlichen Verschiebungen hat sich der Einsatz von Doktoranden bewährt. Nur ein Kandidat zog sich aus dem Projekt aufgrund persönlicher Gründe zurück.

1.3.4. Kooperation mit lokalen Interessengruppen

Mit Fortschreiten des Projekts und der Entwicklung des DSS rücken das Interesse und der Bedarf der lokalen Entscheidungsträger und Interessengruppen nach Informationen zur Entscheidungsfindung in den Fokus des Projekts. Sie werden bei der Entwicklung der Nutzeroberfläche, der Auswahl der *use cases* und bei der Identifizierung anwendbaren Wissens aus der vorhandenen Datenmenge als Maßgabe betrachtet und bei der Beratung dementsprechend berücksichtigt. Eine Reihe von *Stakeholder-Workshops* wurde in der zweiten Phase vom Projekt organisiert und durchgeführt, um lokale Interessen und

Bedürfnisse auszuloten und das Projekt sowie erste Forschungsergebnisse einer breiteren Öffentlichkeit aus Wasserexperten und lokalen Interessengruppen vorzustellen. Die Workshops stärkten das Netzwerk zwischen dem Projekt und lokalen Akteuren und resultierten in professionelle Partnerschaften, wie mit der *Canadian International Development Agency* (CIDA) im Bereich Grundwasservorkommen, die 2005 zustande kam (siehe Abschnitt 2.4.3. des D3 Unterprojektes im englischsprachigen Bericht).

2. Forschungsergebnisse der einzelnen Unterprojekte

2.1. Atmosphäre

2.1.1. Unterprojekt A1: Regionale Klimasimulation

G. Jung, H. Kunstmann

Ziel des Unterprojekts war die Kopplung von klimatischen und hydrologischen Simulationen zur Generierung quantitativer Daten, die zur Bewertung lokaler Strategien, die auf Klimawandel durch Anpassung oder Wandel reagieren, eingesetzt werden können. Um die möglichen Auswirkungen von Klimawandel auf regionales Klima und hydrologische Prozesse im Volta Becken zu erforschen, wurden gekoppelte Simulationen durchgeführt. Der Validierung des mesoskaligen meteorologischen Modells MM5 folgend, wurde das Modell zur Generierung zweier 10-Jahres-Zeitintervalle eingesetzt. Während die Daten von 1991-2000 das aktuelle Klima repräsentieren, sind die Daten von 2030-2939 eine Projektion zukünftiger Klimaverhältnisse. Diese regionalen Klimasimulationen wurden dann mit dem physisch basierten hydrologischen Modell WaSiM verbunden, wobei die Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells in der Untersuchungsregion als Richtwert galt. Dieses gekoppelte Modell bietet die Grundlage für eine Reihe von empirischen Wassermanagementuntersuchungen, die 2006 begannen und in der dritten Phase des Projektes fortgeführt werden.

Erreichte Ziele:

- Validierung des mesoskaligen meteorologischen Modells MM5
- Kalibrierung and Validierung von WaSiM auf drei verschachtelten Ebenen innerhalb des Volta Beckens
- Analyse der Ergebnisse der regionalen Klimasimulation für die Perioden 1991-2000 und 2030-2039
- Durchführung und Analyse gekoppelter regionaler klimatologisch-hydrologischer Simulationen
- Vorläufige statistische Analyse des regionalen Klimawandels für die vergangenen Jahre
- Statistische Analyse des Wandels von Oberflächen- und Unterflur-Wasserhaushaltskomponenten

Weiterführende Arbeiten:

- Gekoppelte Simulationen von Klimawandel und LUCC

2.1.2. Unterprojekt A2: Hydro-Meteorologisches Überwachungssystem

J. Friesen, J. Hendrickx; H. Kunstmann, A. Moene, D. Schüttemeyer, S. Wagner

Beachtlicher Fortschritt der Arbeit des Unterprojektes A2 wurde im Hinblick auf ein operationales HMMS erzielt, obwohl verbleibende Herausforderungen in der dritten Projektphase angegangen werden müssen. Obwohl viele Arten von klimatischen und hydrologischen Daten zeitnah durch den Einsatz von Satellitenaufnahmen und Fernerkundung zugänglich sein werden, müssen die vorhandenen Fernerkundungsdaten erst kalibriert und/oder validiert werden, bevor sie erfolgreich eingesetzt werden können. Eine Möglichkeit im Umgang mit diesem Problem besteht darin, die erforderlichen Daten mit einem meteorologischen Modell zur Verfügung zu stellen und simulierte klimatische Daten für die gekoppelten hydrologischen Modelle zu nutzen. Das Unterprojekt untersuchte, inwiefern meteorologische Modelle in der Lage sind, die erforderlichen Daten in ausreichender Genauigkeit für eine Vorhersage zu liefern. Das mesoskalige, meteorologische Modell MM5 und das *Distributed Parameter Water Balance Simulationsmodell* WaSiM wurden auf das Nakambe Becken des White Volta angewendet. Vor der Kopplung wurden beide Modelle separat kalibriert und validiert. Zusätzlich zu meteorologischen Datenlücken, waren Gitterdaten zu Eigenschaften der Landoberfläche (Albedo, LAI, usw.) schwer zu beschaffen, obwohl sie als essentieller Input für die hydrologischen Modelle dienen. Fernerkundung ist in der Lage, globale, räumlich detaillierte Informationen zur Landoberfläche zu liefern, was vor allem in den Gebieten des Voltabeckens von Interesse ist, wo diese Informationen auf anderem Wege nur schwer zugänglich sind.

Erreichte Ziele:

- Operative web-basierte Klimavorhersage für das Volta Becken
- Installation and Operationalisierung der zeitnahen Flussablaufmessung unter Anwendung von HydroArgos
- Erfolgreicher Test der *Makkink-Vegetative-Fraction*-Methode für die großflächige Berechnung von Energiebilanzen an der Oberfläche mittels Fernerkundung
- Erfolgreicher Test der SEBAL-Methode für die großflächige Bewertung von Energiebilanzen an der Oberfläche mittels Fernerkundung unter Anwendung von LANDSAT- und MODIS- Bildern

Weiterführende Arbeiten:

- Berechnung von Energiebilanzen mithilfe des Large-Aperture-Szintillometernetzwerkes; Vergleich mit Fernerkundungsmethoden und MM5 Simulationen

2.1.3. Unterprojekt A3: Beginn der Regenzeit

H. Kunstmann, P. Laux

Während der zweiten Forschungsphase konzentrierten sich die Arbeiten auf die Entwicklung und Verbesserung von Instrumenten zur Voraussage des regional-spezifischen Beginns der Regenzeit. Eine *Fuzzy-logic*-basierte Definition des Einsetzens der Regenzeit wurde entwickelt, eine lineare Diskriminanzanalyse und eine lineare Regressionsanalyse wurden angewandt, um die Wahrscheinlichkeit festzustellen, mit der der beobachtete Regenfall als Signal für das Einsetzen der Regenzeit gewertet werden kann. Desweiteren wurden großskalige Zirkulationsmuster über eine automatische objektive Zirkulationsmuster-Analyse mit dem Einsetzen der Regenzeit verbunden. Eine lineare Tendenzanalyse des jährlichen und monatlichen Klimas (Niederschlag, Temperatur, Abfluss) wurde durchgeführt und eine Verbindung zu verschiedenen Klimaindices, wie NAO, hergestellt. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt lag in der Modellierung täglicher Niederschlagseigenschaften (z.B. Regenfallwahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeit von Dürreperioden) unter Anwendung von *Markov chains*, um wichtige Informationen für landwirtschaftliches Management zu erhalten. Seit 2005 besteht durch das GLOWA Volta Projekt die Möglichkeit, online eine numerische Wettervorhersage für Westafrika und das Volta Becken abzurufen. Globale AVN Reanalysen in 2.5 x 2.5 Auflösung werden täglich automatisch abgefragt und dynamisch auf eine Auflösung von 27 x 27 km² heruntergerechnet. Die Vorhersage wird hinsichtlich der Temperatur, des Niederschlages, Infiltration und Bodenfeuchte interpretiert. Diese Interpretation wird grafisch dargestellt und auf die GLOWA Volta Webseite gestellt, wo sie allen Internetnutzern zur Verfügung steht. Die Wettervorhersage befindet sich unter dem link <http://www.glowa-volta.de/atm/forecast.htm>

Erreichte Ziele:

- Biophysikalisch-basierte Definition des Einsetzens der Regenzeit
- Statistische Analyse der durchschnittlichen Einsetzens der Regenzeit und seiner Variabilität
- Analyse der räumlichen Muster der mittleren und Standard Abweichung des Einsetzens der Regenzeit
- Zirkulationsmusterdefinition und -klassifikation basierend auf *fuzzy rules*

- Vorhersage der Regenzeit (Nutzerplattform)
- *Markov chain* Analyse der Regenfallwahrscheinlichkeit
- Räumlich differenzierte Richtlinien für optimale Zeiten für die Aussaat

Weiterführende Arbeiten:

- Auswirkung von Klimavariabilität auf landwirtschaftliche Erträge

2.2. Landnutzung

2.2.1. Unterprojekt L1: Wandel und Quantifizierung der Landoberfläche

T. Landmann, M. Schmidt, M. Schramm

Die Unterprojekte zur Landnutzung konzentrieren sich auf die Dokumentation, die Modellierung und das Verstehen von Veränderungen in der Landnutzung und Bodenbedeckung (LULC), die beide sowohl aus anthropogenen Aktivitäten resultieren, z.B. Prozessen, die der wirtschaftlichen Entwicklung dienen, als auch durch Umweltfaktoren wie dem globalen und regionalen Klimawandel beeinflusst werden.

Von solchen LULC-Veränderungen, besonders denjenigen, die sich auf regionaler Ebene manifestieren, wird angenommen, dass sie rückwirkend auf atmosphärische und damit verbundene hydrologische Oberflächen- und Unterflurprozesse einwirken (*feed back*).

Die größten methodischen Herausforderungen waren somit (a) Algorithmen und Methoden zu entwickeln, um LULC-Parameter aus Fernerkundungsbildern zu generieren; (b) Jahreszyklen des biophysikalischen Verhaltens von Pflanzen zu erfassen und zu quantifizieren und (c) die dazu benötigten Fernerkundungsdaten effektiv zu erfassen, aufzubereiten und zu interpretieren.

Biophysikalische Zeitreihen, die für eine LULC-Analyse benötigt werden, beinhalten den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), den Leaf Area Index (LAI) und andere Oberflächenparameter einschließlich der Oberflächenalbedo, der Oberflächentemperatur (LST) und dem Oberflächenemissionsvermögen.

Zeitreihen wurden unter Zuhilfenahme zweier RS-Plattformen zusammengestellt: 30-Meter LANDSAT-TM Daten aus 1990 sowie 30-Meter LANDSAT-ETM+ Daten aus 2000 wurden zusammengesetzt, um Landnutzung und Bodenbedeckung sowie dekadische LULC-Veränderungen für das gesamte Volta Becken zu kartieren.

Diese Tiles bilden die Grundlage für das *cellular automata Modell zum Wandel der Landnutzung* (Unterprojekt 5) und für die Parametrierung der Oberfläche, die in den mesoskaligen Klimamodellen (MM5) und der Hydrologie (WaSiM-ETH) genutzt werden.

Aus LANDSAT Daten, die das gesamte Becken zwischen 1990 und 2000 umfassen, wurden Zeitreihen erstellt und atmosphärische Korrekturen durchgeführt. Diese wiederum wurden automatisch in der ersten Stufe eines mehrstufigen automatischen Verfahrens klassifiziert, das auf dem FAO-Landklassifizierungsmodell basiert.

An vielen Orten wurden Felddaten für Schlüsselvariablen wie Albedo und LAI gesammelt. Zusätzlich wurden Tiles des gesamten Beckens mithilfe von MODIS/TERRA Bildern aus 2000-2004 zusammengesetzt, um die Vegetationsdynamik der verschiedenen Jahre vergleichen zu können. Diese Daten wurden dafür benutzt, um die saisonale Reaktion der Vegetation auf die Veränderung klimatischer Variablen zu analysieren, um daraus ein Modell für jährliche Vegetationsdynamiken in Westafrika zu entwickeln.

Die MODIS-Bilder, die eine höhere zeitliche (aber eine niedrigere räumliche) Auflösung besitzen, werden auch zur Auffrischung der 30-Meter LANDSAT-Reihe genutzt, die nicht mehr verfügbar ist, und um die endgültigen Landklassifizierungsentscheidungen und die Aussagen zum Wandel zu verbessern.

Ein weiteres Ziel war es, ein Modell zu entwickeln, das Prognosen zur Landkonversion in so genannten *hot spot areas* innerhalb des Beckens ermöglicht. Datensätze und Produkte, die bei der Beschaffung und der Analyse räumlicher und zeitlicher Dynamiken and Veränderungen der Vegetation genutzt wurden, bestehen aus mittel- und hochaufgelösten Fernerkundungsdaten und höherwertigen biophysikalischen und Oberflächenprodukten.

Erreichte Ziele:

- Vollständige, hochaufgelöste (30 m LANDSAT) LUCC-Karten für das gesamte Volta-Becken aus 1990 und 2000
- MODIS 250m LUCC-Karten für 2001 und 2005
- LUCC-Karte des Volta-Beckens für FAO Level 1 Klassifizierungen

Weiterführende Arbeiten:

- 'Funktionale Abhängigkeiten und Regeln für die wichtigsten Vektoränderungen' basierend auf vollständig validierten LC und LCC Daten

2.2.2. Unterprojekt L2: Bodenbeschaffenheit

W. Agyare, C. D. Dedzoe, J. Friesen

Bodencharakteristika sind als Input-Parameter von entscheidender Bedeutung für meteorologische, hydrologische und LUC und LUCC -Modelle. Diese Parameter sind

heterogen über Landschaftsräume verteilt, zeigen kleinräumig hohe Variabilitäten und sind bei der Nutzung von Fernerkundungstechniken schwierig zu messen bzw. zu schätzen. Gute Schätzungen der wichtigsten Bodeneigenschaften sind jedoch für viele Ziele des GLOWA Volta Projektes (GVP) notwendig, einschließlich der Parametrisierung verschiedener GVP-Modelle wie etwa WaSiM-ETH, GV LUDAS und MIKE BASIN. Die einzig verfügbaren Bodenkarten für das gesamte Becken waren in der ersten Projektphase zunächst die Oberflächenstrukturkarten der FAO, die relativ grob aufgelöst sind und zur Bestimmung von geo-hydrologischen Beschaffenheiten wenig nützlich sind. In der ersten Projektphase wurden während des *Common Sampling Frames*, einer groß angelegten Haushaltsbefragung, im Feld mehr als 2000 geo-referenzierte Bodenproben entnommen. Sie können zwar dazu beitragen, die Eignung der Böden für landwirtschaftliche Nutzung auf lokaler Ebene zu bewerten. Dennoch sind diese Proben unzureichend, um eine Datenbank für das gesamte Becken zu erstellen, da prädiktive Methoden fehlen, um weitere bereits erhobene Daten zu Klima, Topographie und Vegetation zu verwerthen. Um die Einschätzung von geo-hydrologischen Eigenschaften zu verbessern, wurde 2005 eine Feldforschung durchgeführt, bei der Bodenproben zur Erstellung von Karten für das White Volta Becken in Ghana zusammengetragen wurden. Hierzu wurden *Artificial Neural Network* (ANN)-gestützte prädiktive Methoden verwendet. Dieses Programm zur Bodenklassifizierung durch Pedotransfer-Funktionen und das ANN wurde ausgeweitet, so dass es nun die wichtigen Gebiete Nordghanas umfasst. Die Datenerhebung im Feld, die Laborarbeit sowie die Analyse der Daten mittels neuronaler Netzalgorithmen wurde während Phase II fertiggestellt.

Erreichte Ziele:

- Modellierung der räumlichen Verteilung von gesättigten Durchlässigkeitsbeiwerten durch Pedotransfer-Funktionen / *Artificial Neural Network*

Weiterführende Arbeiten:

- Großräumige Ermittlung der Bodenfeuchte und Monitoring mithilfe von Bodenfeuchte-Transekten und Fernerkundungsbildern (METOP)

2.2.3. Unterprojekt L3: Vegetationsdynamik

T. Landmann, M. Schmidt, M. Schramm , L. Tia, D.S. Kpongor

Die wichtigsten Ziele, die für das Unterprojekt L3 formuliert wurden, waren die Identifizierung und Zeitreihenanalysen der phänologischen Zyklen bestimmter Vegetationstypen innerhalb des Volta-Beckens. Der primäre Grund für diese Analyse war der Bedarf, mesoskalige Klimamodelle (MM5) beziehungsweise hydrologische Modelle

(WaSiM) hinsichtlich der saisonalen Abfolge wichtiger Bodenoberflächenprozesse zu parametrieren. Biophysikalische Daten, die aus Fernerkundungsdaten generiert wurden, wurden genutzt, um Einflüsse von saisonalen Klimaveränderungen und Verlusten an Biodiversität abzuschätzen. Die zeitliche Entwicklung eines Oberflächentyps schafft die Voraussetzungen sowohl für die Ermittlung der Phänologie von Pflanzen als auch für die Klassifizierung der Vegetation. Daten mit hoher zeitlicher Auflösung und täglicher Erfassung des Forschungsgebietes, wie sie z.B. MODIS bereitstellt, werden zur kontinuierlichen Ermittlung von Vegetationsdynamiken verwendet. Zeitreihen für Westafrika wurden mithilfe von Mosaiken der MODIS-Produkte NDVI, LAI, Oberflächenalbedo, LST und Oberflächenemissionsvermögen der Jahre 2000-2004, um Wolken und Wolkenschatten korrigiert. Vier MODIS-Module decken das Forschungsgebiet ab.

Erreichte Ziele: (siehe L5)

Weiterführende Arbeiten:

- Modellierung des Wachstums und des Ernteertrags wichtiger landwirtschaftlicher Anbauprodukte
- Langzeiteinflüsse von Regenfeldbau auf die Bodenfruchtbarkeit

2.2.4. Unterprojekt L4: Modellierung und räumliche bzw. zeitliche Hochrechnung von Erosion und hydrologischen Prozessen

B. Antwi, A. Brunner, H. Kunstmann, L. Tamene

Gegliederte mesoskalige hydrologische oder regionale Klimamodelle verwenden oft eine Rasterauflösung, die zur Darstellung der Oberflächenheterogenität (Boden, Vegetation, Oberflächenrauigkeit) zu gering ist. Der Einfluss der Heterogenität innerhalb einer Rasterzelle wird dabei nicht berücksichtigt. Informationen über die Landoberfläche sind oft in höherer Auflösung erhältlich (z.B. aus Satellitenbildern), und die geringe Modellauflösung ist nur auf limitierte Rechnerleistung zurückzuführen. Wenn kleinräumige Effekte auf größerem Maßstab berücksichtigt werden sollen, müssen Aggregierungstechniken angewendet werden, um sinnvolle Modellparameter abzuleiten. Bei den Untersuchungen zur Bodenerosion, die 2005 durchgeführt wurden, wurde ein integrierter Ansatz zur Messung des Sedimentbudgets von Hochland-Einzugsgebieten in Ghana und Burkina Faso angewendet. Feldforschung wurde an drei kleinen Reservoireinzugsgebieten in Burkina Faso durchgeführt. Eine Isotopenanalyse (Cs-137) wurde erfolgreich zur Bestimmung von Erosion und Deposition innerhalb der Einzugsgebiete angewendet. Die Menge des Sediments, das in den Reservoiren abgelagert worden war, wurde mittels einer bathymetrischen Untersuchung und der Entnahme

von Bodenproben bestimmt, wodurch eine unabhängige Berechnung des Sedimentbudgets des Einzugsgebiets möglich wurde. Bodenerosion und die Sedimentation in den Reservoirien sind deutliche Anzeichen für die Degradation der Landoberfläche im semi-ariden Burkina Faso. Der Verlust des nährstoffreichen Oberbodens und die rasch fortschreitende Sedimentation in den kleinen Reservoirien hat schwerwiegende Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktivität, besonders in Ländern mit begrenzten Wasserressourcen. Deshalb ist es notwendig sowohl *onsite* als auch *offsite* Effekte der Bodenerosion zu beobachten und neue Ansätze zur Bestimmung der Sedimentdynamik in einem komplexen Landschaftssystem zu entwickeln. Die in Phase II durchgeführte Forschung zur Bodenerosion stellt einen integrierten Ansatz zur Messung der Sedimentbudgets kleiner Reservoirie in Burkina Faso dar. Die dominierenden Faktoren die zur Bodenerosion beitragen wurden auf verschiedenen räumlichen Skalen identifiziert und der Einfluss von *onsite* und *offsite* Schäden durch Bodenerosion auf die gefährdete Landschaft evaluiert.

Erreichte Ziele:

- Ableitung von Regeln für die Bestimmung von effektiven Landoberflächenparametern auf der entsprechenden Skala für das SVAT-Modell mit Hilfe von inverser Modellierung und *second-order-first-moment-propagation*
- Simulationsansätze zur Quantifizierung von Bodenerosion und Deposition in Einzugsgebieten kleiner Reservoirie
- Eingliederung von Bodenerosionsalgorithmen in das Modellsystem GV LUDAS MAS
- Einführung von Referenzwerten zur Bestimmung von hot spots der Erosions- und Depositionsgefährdung mit Hilfe von Umwelttracern

Weiterführende Arbeiten:

- Anwendung einer verbesserten GV LUDAS Version zur Bewertung von Strategien und Maßnahmen zum Bodenschutz auf kommunaler Ebene

2.2.5. Unterprojekt L5: Voraussage von Wandel in der Landnutzung

C. Costa, T. Landmann, W. Laube, Q.B. Le, J. Schindler, M. Schmidt, M. Schramm, L. Tamene, K. Zitzmann

Zur Abschätzung von Veränderungen im Ökosystem und im biochemischen Kreislauf des Voltabeckens sind Informationen über großskalige Vegetationsveränderungen, die mit der Änderung des Klimas und der Landnutzung einhergehen, notwendig. Fernerkundungsanalysen des gesamten Beckens können verwendet werden, um *hot spots* oder Bereiche mit signifikanten oder sehr schnellen Veränderungen zu identifizieren, für welche

dann eine Änderungserkennung auf der Grundlage von LANDSAT Daten ab den 70er Jahren durchgeführt werden kann. Um zukünftige Veränderungen voraussagen zu können, ist es nötig, vorangegangene Veränderungen und ihre Auslöser zu verstehen. Im GVP wurde ein zweistufiger Ansatz zur Modellierung von Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungen gewählt. Dazu wurden agentenbasierte Modelle zur Abbildung von Mensch-Umwelt Interaktionen (GV-LUDAS) auf kommunaler Ebene entwickelt, wobei ein relativ komplexes Regelwerk verwendet wurde. Die wichtigsten Regeln wurden verwendet, um ein *cellular automata* basiertes Modell für die Veränderung der Landnutzung in relativ geringer Auflösung für das gesamte Volta Becken zu parametrisieren. Die Entwicklung des *agent-based* LUDAS Modells, machte unter Dr. Soojin Park während der ersten Projektphase große Fortschritte, wurde aber durch Dr. Parks Rückkehr nach Korea unterbrochen. Dr. Quang Bao Lee führte die Entwicklung von LUDAS ab 2005 fort. So wurden schnell Fortschritte in der Parametrisierung einer verbesserten LUDAS Version in der *Upper East Region* in Ghana und in Dano in Burkina Faso erzielt. Zusätzlich zu der Identifizierung geeigneter Regeln für das *cellular automata* basierte Modell auf der Ebene des gesamten Volta Beckens bietet GV-LUDAS Entscheidungshilfen für das Management der natürlichen Ressourcen auf lokaler Ebene.

Erreichte Ziele:

- Weiterentwicklung des dynamischen, globalen Lund- Potsdam- Jena (LPJ) Vegetationsmodells zur Simulation der Vegetationsdynamik, um großskalige Veränderungen der Vegetation und des Kohlenstoffkreislaufs abzubilden
- Regionales GIS-basiertes Modell zur Berechnung der Landbedeckungsänderungen in der *Upper East Region* Ghanas
- Erhebung und Zusammenführung räumlicher Daten für die Entwicklung von GV LUDAS in Ghana und Burkina Faso
- Ein funktionierender Prototyp des *agent-based* Modells GV LUDAS zur Simulation der Landnutzungsänderungen, das zur Bewertung von Entscheidungen betreffend die Landnutzung auf kommunaler Ebene eingesetzt werden kann

Weiterführende Arbeiten:

- Einbeziehung von Bodenerosion- und hydrologischen Prozessmodellen in MAS /GV LUDAS

2.3. Wassernutzung

2.3.1. Unterprojekt W1: Oberflächenabfluss und hydraulische Berechnungen

N. Van de Giesen, M.V. Mdemu, N. Martin, B. Nyarko, C. Rodgers, J.-P. Sandwidi, L. Bharati

Das Hauptziel des Unterprojektes W1 während der zweiten Projektphase war es, die Modellierung von Oberflächenhydrologie und Oberflächenabfluss auf räumlicher und zeitlicher Skala mit Hilfe numerischer Simulationsmodelle, auf Grundlage von historischen oder aktuellen Klimadaten oder alternativ auf Grundlage von Klimaszenarien aus Modellberechnungen zu operationalisieren. Diese Anwendung kann als zentrales Element des GVP angesehen werden, denn mit ihr wird es möglich, Aussagen über den Einfluss der Umweltveränderungen auf den Wasserkreislauf im Volta Becken zu treffen. Die erste Simulationsanwendung die im GVP ausgearbeitet wurde, ist das physikalisch basierte hydrologische Modell WaSim-ETH. WaSim wurde bereits erfolgreich für drei verschiedene räumlichen Skalen im Volta Becken kalibriert und validiert. Auf der Teileinzugsgebietskala (10^2 - 10^4 km²) im Atankwidi-Einzugsgebiet in der *Upper East Region* in Ghana, auf der Einzugsgebietskala (10^5 km²) im White Volta Becken, womit bereits große Teile Ghanas und Burkina Fasos abgedeckt werden sowie auf der Skala des gesamten Volta Beckens (4×10^6 km²). Fortschritte wurden auch in der Anwendung konzeptioneller und statistischer Modelle gemacht, die eine unabhängige Analyse der Veränderungen im Wasserkreislauf als Antwort auf sich verändernde Klimabedingungen über einen historischen Zeitraum ermöglichen. Zu den grundlegenden Zielen von W1 gehörte ebenfalls die Entwicklung von Methoden zur Simulation von Grundwasserneubildung und der Abschätzung des Potentials der Grundwasserentwicklung im Volta Becken; die Bewertung des Einflusses von Dammbauten (groß und klein) auf die Hydrologie des Beckens und auf die Möglichkeiten des Wassermanagements. Ein weiteres Ziel war die Beobachtung und Modellierung der Entwicklung regelmäßig überfluteter Flussauenbereiche. Die Atankwidi Grundwasserstudie wurde 2005 abgeschlossen und es wurden auch entscheidende Fortschritte bei der Grundwasseruntersuchung in Burkina Faso, die in der Region unterhalb des Komienga Dammes durchgeführt wird, gemacht. Diese Studie wird 2007 abgeschlossen sein. Eine dritte Untersuchung, die sich mit dem Mechanismus der räumlichen Verteilung der Grundwasserneubildung in der *Upper East Region* in Ghana beschäftigt, wurde Anfang 2006 begonnen. Eine Studie zum Einfluss des geplanten Bui Dammes auf die Entwicklung des Black Volta im Westen Ghanas wurde 2005 vorbereitet und dient als Vorstudie für eine umfangreichere Untersuchung des Bui Dammes in der dritten Projektphase. Flussauen und Feuchtgebiete unterstützen die traditionelle Bewässerungslandwirtschaft im Volta Becken. Außerdem beeinflusst die Entwicklung von Auenbereichen den Oberflächenabfluss und die Hydraulik des Flussbettes, vor allem während der Überflutungsperioden. Die Studie, die sich

mit der Hydrologie der Flussauen im White Volta Becken beschäftigt wird voraussichtlich Mitte 2007 fertig gestellt.

Erreichte Ziele:

- Fehlerbewertung der vorhandenen hydrologischen Daten
- Monte Carlo Simulation zur Bestimmung der Sensitivität der hydrologischen Modellergebnisse gegenüber den Eingabeparametern
- Quantifizierung der Grundwassernentnahme zur Trinkwasserversorgung
- Karte der Vulnerabilität aufgrund niedriger Grundwasserstände für die *Upper East Region*
- Grundwassermodellierung und -analyse und die Ausweitung der Berechnungen auf Gebiete in Burkina Faso
- Erste Analysen zur Hydrologie der Flussauen
- Analyse des Überflutungsregimes ausgewählter Auengebiete
- Zeitreihenanalyse von Oberflächenabfluss und Niederschlag
- Ein validiertes Berechnungsmodell für die Abflussanalyse in den Flussauen
- Umfassender Datensatz zu Reservoiren in der *Upper East Region* und anderen Regionen im Voltabecken
- Charakterisierung der Wassernutzung an kleinen Dämmen

Weiterführende Arbeiten:

- Die Analyse der Flussauen
- Die Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Bui Dammes

2.3.2. Unterprojekt W2: Wasser und Livelihood

T. Berger, T. Carbone, S. Engel, M. Plotnikova; C. Traore, P. Scannapieco, D.T. Yilma

Das Ziel des Unterprojektes während der zweiten Projektphase war die Untersuchung der Kausalitäten zwischen (a) dem Zugang zu and dem Bedarf an Wasser unterschiedlicher Qualität auf Haushaltsebene, (b) der Wassernutzung innerhalb der Haushalte, (c) dem Risiko nachteiliger Gesundheitsrisiken, und (d) dem Lebensunterhalt der Haushalte. Um diese Ziele in die Praxis umzusetzen, musste die sozioökonomische Datengrundlage erweitert und um

Daten aus dem Teil des Volta Beckens in Burkina Faso ergänzt werden. Eine zweite Runde der *Common Sampling Frame* (CSF) Befragung wurde (Ende 2004 bis Anfang 2005) in Ghana durchgeführt, um das Projekt mit Daten für den historischen Vergleich bzw. mit noch nicht erhobenen, aber benötigten Daten zu versorgen. Eine vergleichbare CSF Befragung wurde 2005 in Burkina Faso durchgeführt. Zusätzliches empirisches Material wurde zu Malariainfektionen und der sich daraus ergebenden Sterblichkeit in Burkina Faso gesammelt, sowie zu Praktiken der Wasseraufbewahrung hinsichtlich der Verschmutzung von Trinkwasser mit Bakterien in Ghana. Weitere Forschungen in den Bereichen Bewässerung, ländliche Kredite, Migration und anderen verwandten Themen wurden im Kontext des Unterprojektes D2 (Entscheidungen der Haushalte) abgeschlossen.

Erreichte Ziele:

- Design der CSF Befragung für Burkina Faso
- Design der Fragebögen zur Erhebung von Wasserbedarf und Wassernutzung, Gesundheitsstatus, landwirtschaftlichen Aktivitäten und Eigenschaften der befragten Haushalte
- Durchführung der Befragung in Ghana und Burkina Faso, einschließlich Messungen von Boden- und Wasserqualität
- Aufbau eines Aufbewahrungssystems für gesammelte Primärdaten
- Statistische Datenanalyse
- Kartierung des Malariarisikos, Kartierung von Epidemiegebieten für Schistosomiasis und Guineawurm

Weiterführende Arbeiten:

- Weitere statistische Datenauswertung

2.3.3. Unterprojekt W3: Institutionenanalyse

I. Eguavoen, E. Fahrenkrug V. Fuest, M. Gensler, S. Haffner, W. Laube, C. van der Schaaf, A. Sessouma, , S. Wolf, E. Youkhana, C. Sebaly

Die Analyse der Wassersektoren und der staatlichen Rahmenbedingungen des Wassermanagements in Ghana wurden während der zweiten Phase erfolgreich abgeschlossen, während sie in Burkina Faso noch weiterverfolgt werden. Das Ziel des W3 Unterprojektes weist Kontinuität auf: (a) die Analyse der Faktoren, die der Implementierung von offiziellen Strategien, Regeln und Gesetzen in verschiedenen Wassersektoren

entgegenwirken, (b) und eine Analyse der Effizienz von Institutionen zum Wassermanagement. Dementsprechend wurde eine Analyse lokaler Formen von Politik, Regelsystemen und Interessengruppen durchgeführt, die die Sektoren Wasserkraft, Bewässerung und Trinkwasser abdecken, wobei der regionale Schwerpunkt auf Accra und der *Upper East Region* in Ghana bzw. dem Nakambe Becken in Burkina Faso lag. Die Analyse der Ghanaischen Wassersektoren wurde um eine Übersicht aller Institutionen in Ghana und Burkina Faso ergänzt. Es standen alle Verwaltungsebenen von national bis lokal im Interesse der Forschungen; die ethnografischen Forschungen fokussierten allerdings auf die lokale Ebene in Form von *in-depth studies*. Darüber hinaus wurden Strategien zur Vermittlung wissenschaftlichen Wissens an lokale Interessengruppen entwickelt und quantitative Daten für die DSS-Modellierung gesammelt.

Die Reformen der Wassersektoren in Ghana sind stark von Dezentralisierungsbestrebungen sowie der Beteiligung des privaten Sektors beeinflusst. Eine Reihe von Fallstudien beschäftigt sich mit Organisationen und Institutionen im Trinkwassersektor, wie der *Water Resources Commission* (WRC), der *Community Water and Sanitation Agency* (CWSA), dem *National Community Water and Sanitation Program* (NCWSP) und der *Ghana Water Company Limited* (GWCL). Auch in Burkina Faso wurden Daten zur Trinkwasserversorgung und den entsprechenden Institutionen gesammelt, dennoch dominieren noch immer die Studien zur Situation in Ghana. Weitere Schwerpunkte der Forschung waren die Beteiligung des privaten Sektors an der Trinkwasserversorgung in Kleinstädten (Ghana und Burkina Faso), Wasserrechte und Management von Haushaltswasser und Bewässerungswasser in Bezug auf ihren Wandel unter den bestehenden Sektorpolitiken. Anders als im Forschungsantrag formuliert, wurden in diesem Unterprojekt auch Daten zur Wassernutzung, Wasserbedarf und lokaler Wasserverfügbarkeit erhoben, da sie den speziellen Kontext der lokalen Institutionen zum Wassermanagement bildeten. Zusätzliche Bereiche der Arbeit wurden von außen oder von anderen Unterprojekten an die Mitarbeiter herangetragen, wie die Themen „*Virtuelles Wasser im Volta Becken*“ und „*Grenzübergreifendes Wassermanagement*“. Diese Arbeiten werden in Phase III fortgeführt.

Erreichte Ziele:

- Übersicht aller formalen Organisationen und Institutionen der Wassersektoren in Ghana and Burkina Faso
- Fallstudien zu ausgewählten Organisationen und nationalen Programmen (Wasserkraft, Trinkwasser und Bewässerung)
- Bewertung der institutionellen Rahmenbedingungen (einschließlich Gewohnheitsrecht) im historischen und entwicklungspolitischen Kontext
- Sammlung detaillierter ethnografischer Daten zu lokalen *livelihoods* in der *Upper East*

Region, Ghana

- Sammlung empirischer Daten für D2 Unterprojekt
- Analyse der lokalen Interessengruppen

Weiterführende Arbeiten:

- Datenanalyse zu lokalem Wassermanagement in Burkina Faso
- Analyse der Wasserrechte in kleinen Bewässerungssystemen in der *Upper East Region, Ghana*
- Grenzüberschreitendes Wassermanagement in Ghana und Burkina Faso
- Virtuelles Wasser im Volta Becken
- Analyse der Daten zu Bewässerung durch Grundwasser

2.4. Technische Integration und Decision Support

2.4.1. Unterprojekt D1: Technische Integration von sozioökonomischen und naturwissenschaftlichen Modellen

C. Rodgers, H. Arendts, L. Bharati, T. Erdenberger, M. Mast, M. Plotnikova, S. Shumilov

Integrierte hydrologisch-ökonomische Modelle, die in GAMS kodiert sind, wurden sowohl für das gesamte Volta Becken als auch für dessen einzelne Wassereinzugsgebiete entwickelt. Vorläufige Ergebnisse zeigen klar den Wert von integrierten Analysen für die Bewertung von Interaktionen zwischen Wasser- und Energiesektor auf. Verschiedene Ansätze zur Verbindung von GAMS mit WaSiM-Modellen wurden erarbeitet und ausgewertet und der *component-based* Ansatz wurde ausgewählt, da er sich in Zukunft um weitere Komponenten erweitern lässt.

Erreichte Ziele:

- Vorläufiges integriertes hydrologisch-ökonomisches Optimierungs- und Verteilungsmodell in GAMS für das gesamte Flussbecken
- Bestätigung des Konzeptes: Integration von WaSiM und GAMS unter Anwendung von PERL *scripts*
- Bestätigung des Konzeptes: Integration von WaSiM und GAMS unter Anwendung von *PEST embedded templates*
- Bestätigung des Konzeptes: Integration of WaSiM and GAMS unter Anwendung von COBIDS
- Entwicklung eines Prototypen der Nutzeroberfläche

Weiterführende Arbeiten:

- COBIS basiertes Integration für GVP-DSS
- Datenintegration und Etablierung eines GVP Geodatenarchives und web-Portals

2.4.2. Unterprojekt D2: Haushaltsentscheidungen und political responses

T. Berger, D. Tsegai, T. Yilma

Die zentrale Fragestellung des Unterprojektes D2 war, zu untersuchen, wie Bauern und ländliche Haushalte im Volta Becken mit unzuverlässigen Regenfällen zurechtkommen. Die Forschung wird hauptsächlich durch Daten gestützt, die während Feldforschungen in Jahr 2002 und 2004 gesammelt wurden. Die Ziele der zweiten Runde der CSF Befragung waren (a) die Erfassung von Daten, die zu zeitlichen Vergleichen (*pooled cross-sectional time series analysis*) dienen können und (b) die Erhöhung von Haushalten innerhalb des Samples, die Bewässerung betreiben. Die erste Runde der CSF Befragung in Burkina Faso wurde 2004/2005 in Kooperation mit CIRAD durchgeführt. Die gesammelten Daten wurden verwendet, um Faktoren zu identifizieren und zu modellieren, die zu Migration beitragen. Außerdem dienten sie zur Analyse der Beziehungen zwischen unsicherem Klima, Wahl der technischen Mittel, und anderen Faktoren, die die Entscheidung der Bauern für Bewässerung beeinflussten.

Erreichte Ziele:

- Funktionales MATA (*Multi-Level Analysis Tool for Agriculture*) bioökonomisches Modell für Burkina Faso

Weiterführende Arbeiten:

- Fertigstellen von MATA-Arbeiten in Burkina Faso
- MATA-Modell für Ghana (Phase III Aktivität)

2.4.3. Unterprojekt D3: Experimentelle Anwendung von wissenschaftlichem Wissen (Policy Pilot Study)

W. Laube, W. Agyare, C. Rodgers

Das Becken des White Volta wurde von der ghanaischen *Water Resources Commission* als Pilotbecken ausgewählt, in dem IWRM Politik und ihre praktische Implementierung erprobt und evaluiert werden soll. Die WRC identifizierte folgende Probleme der Wassersektoren (a) Überflutungen, (b) Wasserknappheit, (c) das Fehlen institutioneller und legaler Rahmenbedingungen für ein adäquates Informations- und Datenmanagement, (d) hoher Fluoridanteil im Grundwasser, (e) Wasserverschmutzung und unangemessene Landnutzung

sowie (f) hoher Salzgehalt des Grundwassers. Außerdem wird das Becken von Ghana und Burkina Faso geteilt. Die speziellen Zielstellungen des *White Volta Policy Pilot Project* (WVPP) sind (1) die Identifizierung lokaler Interessengruppen und Motivation zur Zusammenarbeit und Teilnahme an IWRM, (2) die Etablierung institutioneller Rahmenbedingungen für IWRM, (3) die Entwicklung eines Wasseraktionsplans und (4) die Beobachtung und Evaluierung des IWRM Prozesses. Das WVPP soll als „Labor“ zur Entwicklung und Erprobung der Simulationswerkzeuge dienen und herausfinden, auf welche Art lokale Interessengruppen konsultiert werden können, dass die Interessen der WRC und des Projektes berücksichtigt werden.

Erreichte Ziele:

- Etablierung einer formalen Grundlage zur Kooperation im WVPP mit der Ghanaischen WRC
- WVPP-Workshops (2003, 2005)
- Gemeinsamer GVP / WVPP / IFPRI / CPWF Politik-Workshop (2005)
- Einrichtung eines gemeinsamen WVPP-Büros in Bolgatanga, das mit IFPRI geteilt wird (2005)
- Dr. Wilson Agyare wird als wissenschaftlicher Koordinator für GVP/WVPP eingesetzt
- Zusammenstellung aller Daten zum White Volta Becken (remote sensing, biophysikalische und sozioökonomische Datensätze)
- MIKE BASIN Nutzeroberfläche

Weiterführende Arbeiten:

- Fertigstellen der MIKE BASIN Spezifizierung
- Verbindung von WaSiM-ETH für das White Volta Becken und MIKE BASIN
- Analyse von Entwicklungsstrategien für Bewässerung im White Volta Becken

3.2. Analyse der Ergebnisse der zweiten Projektphase

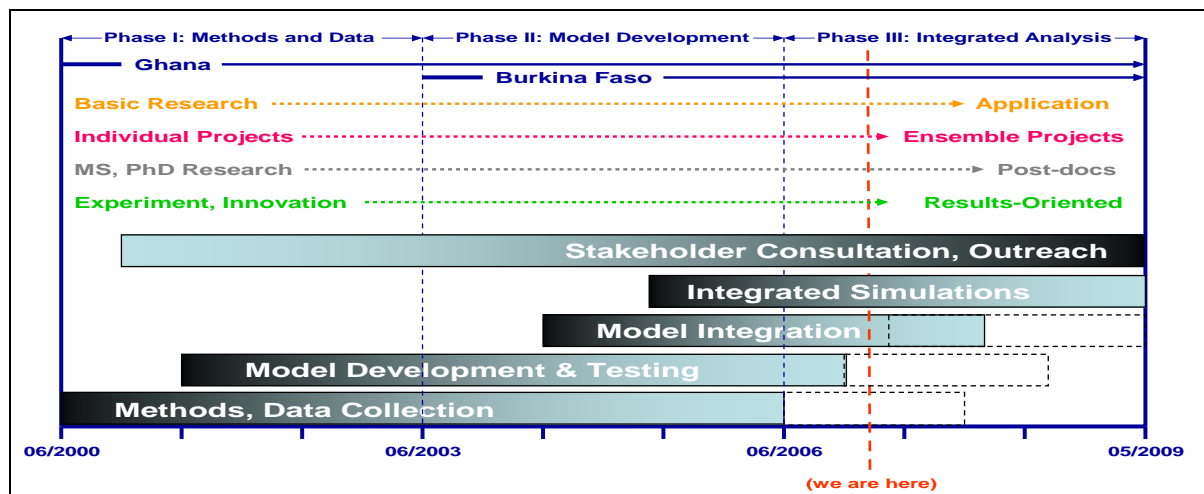
Der Forschungsantrag der zweiten Phase legte ein ehrgeiziges Programm für die Durchführung einer innovativen Forschung unter erschwerten Bedingungen (schlechte Ausgangsdaten, kaum wissenschaftliche Infrastruktur) vor. Deshalb sollte es nicht überraschen, dass einige Forschungsaktivitäten etwas hinter dessen Zeitplan von 2002 zurückliegen. Was tatsächlich überrascht, ist, dass die Verzögerungen fast in jedem dieser

Fälle nicht von erschwerten Umweltbedingungen (Dartenarmut, extremes Klima, logistische Herausforderungen, Gesundheitsrisiken u.ä.) hervorgerufen wurden, sondern auf den Wechsel und (aus Perspektive des Projektes) dem Verlust an Schlüsselpersonal zurückging. Nichtsdestotrotz wurde der Zeitplan für die meisten Forschungsvorhaben des Projektes eingehalten. Die meisten der technisch aufwendigen Aktivitäten des Unterprojektes Atmosphäre wurden planmäßig abgeschlossen und das Projekt kann Anfang der dritten Projektphase auf diese Kapazitäten zur kurzfristigen Wettervorhersage und langfristige Klimasimulationen für das Volta Becken bauen. Zusätzlich wurde ein innovativer Beitrag zur Bestimmung des Beginns der Regenzeit geleistet, einem der meist dokumentierten Unsicherheitsfaktoren für lokale *livelihood* im Volta Becken. Unsere Studien zu Entscheidungsfindungsprozessen zu Wassernutzung und -verteilung, die das breite Spektrum von nationalen Institutionen bis zu den lokalen Gemeinden und Haushalten umfassen, sind im Großen und Ganzen ebenfalls erfolgreich und plangerecht beendet worden.

In den Bereichen, in denen der Fortschritt der Forschung hinter dem ursprünglichen Zeitplan zurückbleibt, sind die Konsequenzen für den Zeitplan und den Erfolg des Gesamtprojektes noch nicht ganz klar abzusehen. Zu diesen Bereichen gehören die Beschaffung, Bearbeitung und Klassifikation von Fernerkundungsbildern, um die saisonale und langfristige Veränderungen der Landoberfläche und Landnutzungsprozesse charakterisieren zu können, sowie in Folge dessen die davon abhängigen Aktivitäten, wie die Entwicklung eines Simulationsmodells für das Volta Becken (*cellular automata*), die Entwicklung der *agent-based* Modelle zur Entscheidungsfindung in Wasserfragen auf Haushaltsebene, die Kalibrierung und Validierung der durch das Modell MM5 generierten *energy flux fields*. In fast allen diesen Bereichen ist ersichtlich, dass das außergewöhnliche Engagement der jeweiligen Mitarbeiter (wie den Kollegen in Würzburg) auf die Reduzierung der verlorenen Zeit gerichtet ist bzw. das Projekt Alternativen entwickelt hat, um die Zielstellungen doch noch im Zeitplan zu erreichen (z.B. durch den Einsatz von *partial equilibrium sectoral models* als Ersatz für *nested, agent-based* ökonomische Modelle). Zur Zeit besteht kein Grund zur Annahme, dass die Ziele nicht erfolgreich oder nicht innerhalb der dritten Phase beendet werden könnten.

3.3. Ausblick auf Phase III

Abbildung 1 Thematischer Zeitplan



Das Projekt wird weiter an der Verbesserung der aktuellen LC- und LCC-Versionen arbeiten, wobei afrikanische Partner bei der Validierung behilflich sein werden bzw. wozu lokale *capacity building* Workshops beitragen werden (z.B. auf *pre-workshops* vor der IES GIS Konferenz in Ougadougou, September 2007).

In Phase III wird das Projekt die LUC-Daten der identifizierten *hot spots* als Grundlage zur Kombination von durch Fernerkundung ermittelte Vektoren des Wandel (Art und Richtung des Wandels) mit sozioökonomischen und biophysikalischen Daten nutzen, um die Signifikanz der verschiedenen Faktoren zu analysieren, die zum Wandel der Landnutzung beitragen. Ähnliche Aktivitäten wurden schon in Phase II durchgeführt, allerdings nur für die Zeiträume 1990 und 2000/2001. In Phase III wird ein Simulationsmodell entwickelt, das in der Lage ist Voraussagen zu treffen.

Laut den Ergebnissen einer internen Projektevaluierung zum Ende der Projektphase muss zusätzliche Aufmerksamkeit und Koordination den Fragen von Datenmanagement, Datenarchivierung und Datenzugang gewidmet werden. Die Produktion von Publikationen soll mehr koordiniert und durch die Projektleitung gefördert werden. Dazu wurde eine interne Inventur der bestehenden Zusammenarbeit der Kollegen innerhalb des Projektes und laufender Publikationsprojekte unternommen und eine Publikationsstrategie für die dritte Projektphase entwickelt. Mitarbeiter des Projektes sollen verstärkt und gezielt ermutigt werden, Publikationen bei ausgesuchten wissenschaftlichen Zeitschriften einzureichen, gemeinsame Arbeiten auf Konferenzen zu präsentieren und ihren Beitrag zur Abschlusspublikation des GLOWA Volta Projektes zu leisten. Die abschließende Datenintegration wird die Hauptbeschäftigung des letzten Jahres der dritten Phase sein und es muss sichergestellt werden, dass die Doktoranden der Phase III, ihre Ergebnisse dem Projekt vor der Beendigung ihrer Dissertationen zur Verfügung stellen. Dementsprechende

Mechanismen sowie die Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden und der Doktoranden untereinander sollen im Projekt stärker institutionalisiert werden.

Abbildung 2 Zeitplan der dritten Projektphase

