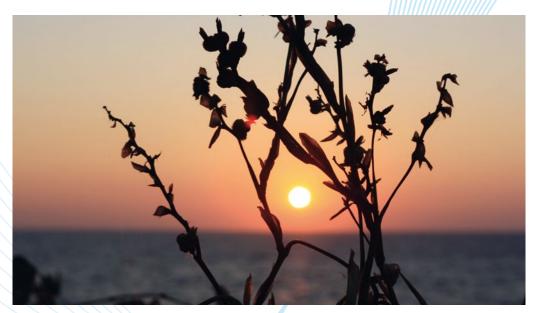
gwf-Wasser|Abwasser

# NETZWERK WISSEN

# Aktuelles aus Bildung und Wissenschaft, Forschung und Entwicklung



© twinlili pixelio.de

# Das EU-Forschungsprojekt CLIMB im Rahmen des Wissenschafts-Clusters CLIWASEC

- Prof. Dr. Ralf Ludwig im Interview
   "Massive ökologische Konsequenzen und wirtschaftliche Verteilungskämpfe"
- EU-Forschungs-Cluster CLIWASEC: Ein internationaler Projektverbund für die Klimafolgenforschung im Mittelmeerraum
- Internationale CLIWASEC-Fachtagung schildert Auswirkungen der Klimaänderung für die Wasserversorgung in den Mittelmeerländern
- CLIWASEC-Projektergebnisse in Politik und Öffentlichkeit tragen
- EU-Forschungsprojekt CLIMB: Die Folgen von Klimawandel und Wasserknappheit im Mittelmeerraum
- Unsicherheiten der Klimamodellierung
- Hydrologische Modellensembles
- Geodatenmanagement auf hohem Niveau

# Massive ökologische Konsequenzen und wirtschaftliche Verteilungskämpfe

Das EU-Forschungsprojekt CLIMB im Rahmen des Wissenschafts-Clusters CLIWASEC

Interview mit Prof. Dr. Ralf Ludwig

gwf: Durch den Klimawandel rechnet man in vielen Regionen der Erde mit massiven Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit für alle Versorgungsbereiche. Welche Folgen sind in diesem Rahmen für den Mittelmeerraum zu erwarten?

Prof. Dr. Ralf Ludwig: Wegen der besonderen Lage in den südlichen Mittelbreiten gilt der Mittelmeerraum in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen übereinstimmend als sog., Hot Spot' des Klimawandels. Auf der Grundlage derzeitig aktueller Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert erwartet man demnach gerade in den Anrainern aus Südeuropa, Nordafrika und dem Nahen und Mittleren Osten massive hydrologische Veränderungen durch steigende Temperaturen und abnehmende Niederschläge bei einer gleichzeitigen Häufung von Extremsituationen. Somit ist bspw. mit verlängerten Dürreperioden, extremen Überschwemmungen, der fortschreitenden Versalzung des küstennahen Grundwassers, aber auch einer allgemein zunehmenden Degradation fruchtbarer Böden zu rechnen. Kurz: Die Sicherung der dortigen Wasserressourcen, die Trinkwasserversorgung sowie die landwirtschaftliche Produktivität sind durch den fortschreitenden Klimawandel akut bedroht. Hinzu kommt, dass in weiten Teilen der Region, v. a. in der Landwirtschaft, traditionell mit nicht nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden gearbeitet wird. Neben den massiven ökologischen Konsequenzen muss daher befürchtet werden, dass es auch zu politischen Konflikten und wirtschaftlichen Verteilungskämpfen kommen kann.



gwf: Welche Ziele verfolgen Sie also in diesem Zusammenhang mit dem Projekt CLIMB?

Prof. Dr. Ralf Ludwig: Das Projekt CLIMB ist zunächst darauf ausgerichtet, die wissenschaftliche Basis für das Verstehen des Klimawandels im Mittelmeerraum zu stärken, dessen mögliche Folgen genauer als bisher möglich abzuschätzen und schließlich im Dialog mit den Akteuren vor Ort zu nachhaltigen

Lösungsansätzen für regionalspezifische Probleme für die Sicherung der Wasserressourcen zu gelangen. Ein zentrales Problem der Klimafolgenforschung besteht darin, dass die Projektionen des Klimawandels und seiner Konsequenzen zumeist mit hohen Unsicherheiten einhergehen, was die öffentliche Akzeptanz hemmt und insbesondere für die Umsetzung selbst bester Vorschläge sehr hinderlich ist. CLIMB setzt an diesem Punkt an und zielt auf eine Reduktion der Unsicherheiten in der Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels auf die Wasdes Mittelmeerserressourcen raumes ab. Wir setzen auf ein Monitoring- und Modellierungssystem, das in einem neuen konzeptionellen Rahmen Geländemessungen, Fernerkundungstechniken, Ensembles aus regionalen Klimamodellen und hydrologischen Modellen mit einer sozio-ökonomischen Faktorenanalyse verbindet. Der systemare Zusammenhang zwischen Umwelt und Mensch, hier also z.B. die Veränderung von Wasserdargebot und Wassernachfrage, steht dabei absolut im Vordergrund.

gwf: Die EU-Kommission hat für dieses Themenfeld mehrere Projekte gefördert. Besteht hier eine Vernetzung und wenn ja, wie kann man sich die Zusammenarbeit vorstellen?

Prof. Dr. Ralf Ludwig: Das breite Spektrum der Folgen des Klimawandels für den Mittelmeerraum kann ein einzelnes Projekt unmöglich alleine bedienen. Die einzelnen Bausteine dieses komplexen Gefüges aus Ökologie, Ökonomie und auch Sozialem sind aber nicht trennbar. Um dem gerecht zu werden, hat die EU-Kommission für diese Fragestellung insgesamt drei Projekte gefördert: aus dem Umweltbereich neben CLIMB auch noch das Projekt WASSERMed sowie aus den Sozialund Geisteswissenschaften das Projekt CLICO. Die drei Projekte haben sich in der Folge als unabhängige Partner in einem Forschungs-Cluster CLIWASEC (,CLImate Change, WAter and SECurity') zur Zusammenarbeit an den Schnittstellen verpflichtet und ein gemeinsames Arbeitspaket etabliert, mit dem auf der Basis einer kritischen Masse an Projektpartnern unter Beibehaltung der jeweiligen Kernkompetenzen multidisziplinäre, wissenschaftliche Synergien erzielt und die Kommunikation bzw. der Wirkungsgrad bei den Akteuren und Entscheidungsträgern vor Ort verbessert werden.

## **Prof. Dr. Ralf Ludwig Department für Geographie** Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)

Thema der Forschungsausrichtung von Prof. Dr. Ralf Ludwig ist die Entwicklung integrativer Methoden räumlich verteilten und wechselwirkenden Analyse von Prozessen an der Erdoberfläche. Eine Verbesserung des Verständnisses räumlicher Interaktion durch prozessorientierte Modelle wird durch die Nutzung von modernen



Prof. Ralf Ludwig (links) und sein Team (rechts: Dipl.-Geogr. Swen Meyer) erforschen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen im Mittelmeerraum. © Bayerische Staatskanzlei

Monitoringtechniken (z.B. Fernerkundung) und Methoden zur Erfassung und Verarbeitung von Umweltinformationen (z.B. mit Geographischen Informationssystemen [GIS]) ermöglicht. Die Schwerpunkte seiner wissenschaftlichen Arbeit setzt Prof. Dr. Ludwig in der Methodenentwicklung, und zwar im Bereich der prozessorientierten und flächendifferenzierten Umweltmodellierung mit Hilfe der Fernerkundung und GIS. Im Zentrum seines Forschungsinteresses stehen Fragestellungen des globalen Klimawandels und seiner Auswirkungen auf die Wasser- und Stoffumsätze in mesoskaligen Flusseinzugsgebieten (Flächen bis zu mehreren 1000 km²). Die bidirektionale Kopplung von Klima- und Landoberflächenmodellen zur Beurteilung der spezifischen Wechselwirkungen stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Sie erfordert die Entwicklung geeigneter Skalierungsansätze, mit denen die Informationsveränderung bei Skalenübergängen quantifiziert und für die Regionalisierung von Modellansätzen bewertet werden kann.

All dies erfordert die weitergehende Operationalisierung der Fernerkundung in Umweltfragen auf Basis neuer Satellitensysteme, die Prof. Dr. Ludwig vorrangig zur multiskaligen Change Detection, Parameterableitung (Verbesserung durch Datenfusion) und Datenassimilierung in Landoberflächenmodelle einsetzt. Regionale Schwerpunkte in der Forschung setzt Prof. Dr. Ludwig im Alpen- und Mittelmeerraum und in Nordamerika (v. a. Ostkanada).

#### Wissenschaftliche und berufliche Laufbahn

1994 Diplom in Geographie, LMU München

1999 Promotion (Dr. rer. nat.), LMU München

1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, LMU München

2001 Wissenschaftlicher Assistent, LMU München

2005 Professor für Physische Geographie und Fernerkundung, Geographisches Institut, Christian-Albrechts-Universität (CAU) Kiel

2007 Professor für Angewandte Physische Geographie und Umweltmodellierung, Department für Geographie, LMU München

2010 Koordinator, EU-Forschungsprojekt CLIMB (FP7)

2011 Prodekan, Fakultät für Geowissenschaften, LMU München

#### Forschungsschwerpunkte

- Umwelt- und hydrologische Modellierung
- Auswirkungen des Klima- und Landnutzungswandels auf Wasserressourcen
- Modellkomplexität und Unsicherheiten in der Hydrologie
- Skalierung von Bodenoberflächenparametern in der Hydrologie
- Multisensorische und multiparametrische Fernerkundung von Oberflächenprozessen
- Radargestützte Fernerkundung zur Parametergewinnung und Datenanpassung in Umweltmodellen



Zu den gemeinsamen Aktivitäten zählen neben dem Austausch komplementären Wissens in den Untersuchungsgebieten auch die Abfassung von wissenschaftlichen Veröffentlichungen oder Empfehlungen für politische, behördliche und wirtschaftliche Entscheidungsträger auf unterschiedlichen Ebeweiteres wichtiges nen. Ein Element der Zusammenarbeit ist die Veranstaltung gemeinsamer Jahrestagungen, wie hier in München, bei denen Interessenten aus Wissenschaft und Praxis über die Forschungsfortschritte informiert werden.

Am Ende soll ein integriertes Analyseinstrument zur Bewertung von Vulnerabilität und Risiko für die Sicherung der Wasserverfügbarkeit unter dem Einfluss des Klimawandels zur Verfügung stehen, mit dem ein nachhaltiges Management von Wasserressourcen, die Entwicklung angepasster Landwirtschaftspraktiken oder die Erkennung und Reduktion von Konfliktpotentialen durch Nutzungskonkurrenz möglich wird.

gwf: Das Projekt CLIMB führt seine Arbeiten in insgesamt sieben Untersuchungsgebieten durch. Wie kam es zu dieser Auswahl und was können Sie in diesen Gebieten lernen?

Prof. Dr. Ralf Ludwig: Das ist richtig. Wie bereits erwähnt sind die Folgen des Klimawandels sehr facettenreich. Mit der Auswahl von sieben Untersuchungsgebieten soll gewährleistet werden, dass CLIMB dieser Vielfalt Rechnung tragen kann und ein breites Spektrum an Methoden entwickelt, das Lösungen für die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Region anbietet. Zielgröße sind in jedem Fall kleinere Fluss- oder Grundwassereinzugsgebiete, in denen typische wasserbezogene Probleme und Nutzungskonflikte repräsentativ behandelt werden können. Dazu kommt die Beteiligung kompetenter Projektpartner aus der jeweiligen Region, die einen effizienten Einstieg in das jeweilige Themenfeld ermöglichen

sollen und einen direkten Zugang zu den wesentlichen Wasserakteuren herstellen können. Im Idealfall gelingt es dem Projekt dadurch, die entwickelten Analysewerkzeuge zu regionalisieren, d.h. sie auch für andere Gebiete der Region allgemeingültig einsetzbar zu machen.

Auswahlkriterien für die CLIMB-Gebiete waren also v.a. vorhandene Wasserversorgungsprobleme oder -konflikte, die durch den Klimawandel mutmaßlich verschärft werden, eine repräsentative geographische Verteilung im Mittelmeerraum, dazu die lokale Expertise durch einen Projektpartner und eine unter den gegebenen Umständen akzeptable Datenbasis, die ein wissenschaftliches Arbeiten ermöglicht. Die Wahl fiel letztlich auf die Thau-Lagune in Südfrankreich, mit einer bedenklichen Gewässerbelastung durch Aquakulturen, das Noce-Gebiet im italienischen Trentino, mit intensivem Obstbau, Skitourismus und Wasserkraftnutzung, die Izmit-Bucht im türkischen Kocaeli, belastet durch schwerindustrielle Gewässerverschmutzung, den Gaza-Streifen, der durch akuten Wassermangel im Konfliktfeld mit Israel gekennzeichnet ist, das Nil-Delta mit seiner traditionell sehr wasserintensiven Bewässerungslandwirtschaft, Küstenerosion und Versalzung der Grundwasservorkommen durch eine nicht-nachhaltige Entnahme, das Chiba-Einzugsgebiet im tunesischen Cap Bon, in dem, ähnlich wie im sardinischen Rio Mannu di San Sperate, die intensive Landwirtschaft die bereits heute bestehenden Wasserkonflikte unter dem Einfluss des Klimawandels verschärfen wird.

gwf: Welchen Beitrag kann CLIMB im Rahmen des CLIWASEC-Clusters leisten, um wissenschaftliche Ergebnisse in die konkrete Anwendung zu bringen?

Prof. Dr. Ralf Ludwig: Nun, zunächst investieren wir sehr viel, um das Interesse der Akteure für unser Forschungsthema auf unterschiedlichen Ebenen, d.h. lokal, regional oder auf europäischer Ebene, zu wecken.

Das ist leider deutlich schwieriger als man es bei der Aktualität des Themas erwarten würde. Auch deswegen ist die Arbeit im CLIWASEC-Cluster so wichtig, da wir dadurch eine kritische Masse und damit eine bessere Sichtbarkeit erreichen können. So publizieren wir auf der, globalen Skala' neben den üblichen wissenschaftlichen Fachartikeln allgemeinverauch regelmäßig ständliche Newsletter oder verfassen sog. Policy Briefs, mit denen insbesondere politische Entscheidungsträger auf europäischer Ebene über den Fortgang der Arbeiten informiert werden und Empfehlungen erhalten, welche Handlungsspielräume in diesem Themenfeld auf welche Art und Weise genutzt werden können. Dazu zählen auch Fachbeiträge für den Weltklimarat (IPCC) oder das Weltklimaprogramm der Vereinten Nationen (UNFCC). Für potentielle Endnutzer auf der regionalen bis lokalen Skala entwickeln wir in CLIMB ein benutzerfreundliches Web-GIS-Interface. über das sich sowohl Entscheidungsträger als auch die interessierte Öffentlichkeit über die Ergebnisse des Projekts informieren können. Es ist sehr erfreulich, dass uns und anderen Projekten von Seiten der EU-Kommission nun über eine zentrale Datenbank bei der europäischen Umweltagentur EEA endlich die Möglichkeit gegeben wird, dass wir unsere Erkenntnisse auch über die Projektlaufzeit hinaus zugreifbar machen können. Leider war das durch die geltenden Förderinstrumente in der Vergangenheit nicht gewährleistet, wodurch nicht wenige wichtige Ergebnisse früherer Projekte fast unwiederbringlich verloren gegangen sind.

gwf: Herr Prof. Dr. Ralf Ludwig, vielen Dank für das Interview.

# **EU-Forschungs-Cluster CLIWASEC:** Ein internationaler Projektverbund für die Klimafolgenforschung im Mittelmeerraum

**B**ereits heute sind die Folgen des Klimawandels für die Einwohner der Mittelmeerstaaten spürbar. Betroffen durch die Wasserknappheit sind nicht nur die Industrie und die Landwirtschaft, sondern auch die Wohnbevölkerung und deren Lebensräume (zu den aktuellen Forschungsergebnissen siehe auch Artikel Seite 7 "Internationale CLI-WASEC-Fachtagung schildert Auswirkungen der Klimaänderung für die Wasserversorgung in den Mittelmeerländern"). Soziale Konflikte um Wasserressourcen könnten sich daher verschärfen.

EU-Kommission steuert Maßnahmen gegen den Klimawandel durch eine ganzheitliche Energie- und Klimawandelpolitik, die im Jahre 2008 ihren Ausgangspunkt hatte. Gerade der interdisziplinäre Aspekt ist dabei der Kommission wichtig, denn Maßnahmen zur effektiven Vorbeugung beziehungsweise Anpassung an die vielfältigen Konsequenzen des Klimawandels können nur über fachübergreifende Kooperationen und interdisziplinäres Arbeiten entwickelt werden. Aus diesem Grund hat die Europäische Kommission 2008 im 7. Forschungsrahmenprogramm eine koordinierte Ausschreibung gestartet, in der Proiekte aus den Themenfeldern "Umwelt inklusive Klimawandel" und "Sozial-, Wirtschafts- und Geisteswissenschaften" zusammenarbeiten. Den Zuschlag haben die Projekte CLIMB, WASSERMed und CLICO erhalten, die sich seit Anfang 2010 im Auftrag der EU zum Forschungs-Cluster CLIWASEC (Climate Change Impacts on Water and Security) zusammengeschlossen haben, um durch die Zusammenarbeit der einzelnen Projekte einen wissenschaftlichen Mehrwert und eine stärkere Außenwirkung zu erzielen.

Im Cluster sind insgesamt 44 Institutionen aus 19 Ländern zum Thema "Auswirkungen des Klimawandels auf Wasser und Sicherheit im Mittelmeerraum" vernetzt. Die EU fördert CLIWASEC in der Summe der drei Einzelprojekte mit einem Gesamtbudget von ca. 9,3 Mio. Euro. Dabei kommen die Projekte WASSERMed und CLICO Ende 2012 zum Abschluss, das Projekt CLIMB im Dezember 2013.

# **Synergien des Clusters**

Ziel des Clusters ist es, die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Folgen des Klimawandels und der Wasserknappheit im Mittelmeerraum zu ermitteln und zu analysieren. Durch den Zusammenschluss der einzelnen Projekte nutzt das Cluster Synergien zwischen thematisch verwandten Forschungsvorhaben. Zusätzlich beschäftigt sich ein Arbeitspaket des Projektes CLIMB mit der Einbindung weiterer internationaler, nationaler und regionaler Projekte bzw. Initiativen, die sich mit diesem wissenschaftlichen Gegenstand auseinandersetzen (weitere Informationen zur Projektstruktur von CLIMB siehe auch Artikel Seite 11 "EU-Forschungsprojekt CLIMB: Die Folgen von Klimawandel und Wasserknappheit im Mittelmeerraum"). Erarbeitetes Wissen der Einzelprojekte soll in CLIWASEC weitere Anwendung und Verbreitung finden.

#### Das EU-Forschungs-Cluster **CLIWASEC im Detail:**

Jedes einzelne Projekt in CLIWASEC beschäftigt sich mit einem anderen Teilaspekt der Probleme, die der Klimawandel und die daraus resultierende Wasserknappheit am Mittelmeer hervorrufen. Hier geht es nicht



Zunehmendes Dürrerisiko kann zu Konflikten führen.



Tunesien: illegale Wasserentnahme aus einem Wadi.



Rosetta-Gebiet: Nil-Delta, Ägypten.

nur um die ökohydrologischen Folgen, Forschungsgegenstand sind auch die Auswirkungen auf die Menschen, die Industrie, den Touris-



mus und die Landwirtschaft. Gemeinsam entwickeln die Projekte eine umfassende Strategie für diese Region und vergrößern mit ihrer Zusammenarbeit ihre politische und öffentliche Reichweite. Die Aufgaben und Themenbereiche der einzelnen Projekte werden im Folgenden dargestellt:

#### **CLIMB**

Das EU-Forschungsprojekt CLIMB (Climate Induced Changes on the Hydrology of Mediterranean Basins) analysiert im Mittelmeerraum und angrenzenden Regionen klimabedingte Wasserhaushaltsveränderungen und außergewöhnliche Belastungen wie beispielsweise Dürren, Überschwemmungen und die Versalzung von Grundwasser. Ein neu entwickeltes und integriertes Methodenspektrum verbindet ein Monitoring- und Modellierungssystem (Geländemessungen, Fernerkundung, Ensembles regionaler Klima- und hydrologischer Modelle) mit einer sozio-ökonomischen Faktorenanalyse. Die Ergebnisse des Multi-Modell-Ensembles fließen in ein Geographisches Informationssystem (GIS) zur Analyse und Veranschaulichung von Risiko und Vulnerabilität ein. Zusätzlich dient das GIS dazu, lokale und regionale Akteure bei der Planung einer sicheren Wasserverfügbarkeit zu unterstützen.

Weitere Informationen unter www.climb-fp7.eu

#### **WASSERMed**

WASSERMed (Water Availability and Security in Southern Europe and the Mediterranean) beschäftigt sich mit der Wasserverfügbarkeit und Sicherheit in Südeuropa und im Mittelmeerraum und setzt dabei auf einen stärker ökonomisch ausgerichteten Blickwinkel. Gerade die Landwirtschaft, aber auch Schwerindustrie und Tourismus sind auf eine dauerhaft sichere Wasserversorgung angewiesen. Ist diese nicht gewährleistet, können Konflikte und Verteilungskämpfe entstehen. WASSERMed untersucht in diesem Zusammenhang, welche ökonomischen Faktoren den Wasserhaushalt und damit die konfliktfreie Wasserversorgung in der Bevölkerung gefährden. Ebenso bewertet WASSERMed die Maßnahmen zur Vermeidung negativer Auswirkungen und informiert relevante Akteure über mögliche Lösungsan-

Weitere Informationen unter www.wassermed.eu

#### **CLICO**

Im sozialwissenschaftlichen EU-Forschungsprojekt CLICO (Climate Change, Hydro-Conflicts and Human Security) setzen sich die Wissenschaftler mit dem Klimawandel unter dem Aspekt von Wasserkonflikten und menschlicher Sicherheit am Mittelmeer, im Maghreb, Nahen Osten und der Sahelzone auseinander. Im Mittelpunkt steht die soziale Dimension der Thematik. Soziale Faktoren können inner- und zwischenstaatliche Kontroversen um Wasser verschärfen und somit die Unversehrtheit der Bevölkerung gefährden. Das Projekt untersucht im Detail, warum manche Länder und Regionen anfälliger für Dürren, Überschwemmungen und Konflikte sind. Zudem entwickelt es Maßnahmen zur Gewährleistung des Schutzes der Menschen unter globalem und regionalem klimatischen Wandel und den resultierenden Veränderungen im Wasserhaushalt.

Weitere Informationen unter www.clico.org

Weitere Informationen und Ansprechpartner für CLIWASEC in Deutschland:

Prof. Dr. Ralf Ludwig,

Wissenschaftlicher Koordinator CLIMB, Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München,

Luisenstraße 37, 80333 München,

Tel.: (089) 2180-6677, Fax: (089) 2180-17858,

E-Mail: r.ludwig@lmu.de,

Internet: www.climb-fp7.eu, www.cliwasec.eu

Dr. Thomas Ammerl,

Projektmanager CLIMB, Fachreferatsleiter Umwelt & Energie, Bayerische Forschungsallianz GmbH (BayFOR),

Tel.: (089) 9901888-120, E-Mail: ammerl@bayfor.org

Internet: www.bayfor.org

# Internationale CLIWASEC-Fachtagung schildert Auswirkungen der Klimaänderung für die Wasserversorgung in den Mittelmeerländern

uf einer internationalen Fachtagung im Februar dieses Jahres an der LMU in München präsentierte das EU-Forschungs-Cluster CLIWASEC seine aktuellen Forschungsergebnisse. Dabei diskutierten die Teilnehmer die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Folgen des vorherrschenden Klimawandels und der Wasserknappheit am Mittelmeer.

Am Beispiel des Nil-Deltas wird deutlich, dass sich die menschliche Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen mit den Folgen des Klimawandels negativ überlagern kann: der Inbetriebnahme Assuan-Staudamms vor etwas mehr als 40 Jahren liefert der Nil deutlich weniger Sediment in das Delta. Dadurch fehlen nicht nur wichtige Nährstoffe für die Agrarwirtschaft, sondern vor allem das Material für die Sicherung der immer weiter zurückweichenden Küstenlinie. Hinzu kommt, dass seit einigen Jahrzehnten der Meeresspiegel des Mittelmeers messbar ansteigt. Auch senkt sich durch die Förderung von Erdgas und die starke Entnahme von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung und landwirtschaftliche Bewässerung der Untergrund. Diese Faktoren führen im Nil-Delta zum Verlust wertvoller landwirtschaftlicher Anbaugebiete und einer Verschlechterung der Bodeneigenschaften. Die letzte Konsequenz ist der dauerhafte Verlust ehemals fruchtbarer Böden.

#### Verunreinigung von Wasserreserven und Schäden an der urbanen Infrastruktur

Darüber hinaus bedingen diese Prozesse im Nil-Delta eine beschleunigte Versalzung der grundwasserleitenden Gesteinsschichten (Aquifere) und damit eine nahezu irreversible Kontaminierung wertvoller Wasserreserven. Messungen ägyptischer Projektpartner von der Universität Zagazig belegen, dass die Versalzung mittlerweile viele Kilometer in das Nil-Delta vorgedrungen ist. Unter erheblichem Wasserbedarf soll nun versucht werden, den Landverlust durch Neukultivierungen in den westlich angrenzenden Wüstenregionen und auf dem Sinai auszugleichen. Im Stadtgebiet von Alexandria bewirken die massiven Wasserentnahmen und das nachrückende Salzwasser eine Destabilisierung des Untergrundes und schädigen somit die städtische Infrastruktur – zahlreiche Wohngebäude, Bahnlinien und Straßen sind dieser Entwicklung bereits zum Opfer gefallen. Die Folge sind kostenintensive Sanierungsmaßnahmen.

#### **Temperaturanstieg** verursacht Wasserdefizit in der Landwirtschaft

Auswertungen von Klimaprojektionsdaten für die Mitte des 21. Jahrhunderts lassen für das Nil-Delta bei insgesamt reduziertem Niederschlag eine Temperaturzunahme von 1,9 bis 2,8 Grad Celsius erwarten. Dies wird dazu führen, dass durch die erhöhte Verdunstung auf den Agrarnutzflächen ein noch größeres Wasserdefizit entsteht. Das kann nur durch vermehrte Bewässerung ausgeglichen werden und trägt somit, bei der derzeit immer noch weitgehend praktizierten Flä-



Kooperationsprojekte des EU-Forschungs-Clusters CLIWASEC.

chenbewässerung, zur fortschreitenden Wasserverknappung bei. Mittelfristig werden die Menschen die Art und Weise, wie sie ihre Felder bewirtschaften, an die neuen klimatischen Bedingungen anpassen müssen. Ein erster Schritt dorthin muss die Entwicklung deutlich effizienterer Bewässerungsstrategien sein, aber es wird bereits heute in Ägypten über den Umbau der Landwirtschaft nachgedacht. So soll etwa der extrem wasserzehrende Anbau von Reis durch Getreidearten wie Gerste und Weizen ersetzt werden, die mit deutlich weniger Wasser auskommen.

## Möglicherweise **Umsiedlungen notwendig**

"Aktuelle Untersuchungen gehen davon aus, dass der Meeresspiegel

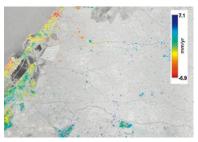


Referenten der Fachtagung des EU-Forschungs-Clusters CLIWASEC am 15. Februar 2012 in München.

im 21. Jahrhundert im östlichen Mittelmeer um bis zu 50 Zentimeter ansteigen wird", erklärt Prof. Dr. Ralf Ludwig, Prodekan der Fakultät für Geowissenschaften an der LMU München und Koordinator des Forschungsprojektes CLIMB. "Das hätte gravierende Folgen: Allein im Nil-Delta könnten 300 Quadratkilometer Landwirtschafts- und Siedlungsfläche verloren gehen und küstennahes Grundwasser weiträumig versalzen." Ohne massive Anpassungsmaßnahmen könnte diese Entwicklung bis zu 1,5 Millionen Menschen allein im Großraum Alexandria zu einer Umsiedlung zwingen. CLI-WASEC hat zudem ermittelt, dass die massiven zu erwartenden Veränderungen unmittelbar bis zu 200.000 Arbeitsplätze bedrohen würden.

## **Situation des Nil-Deltas** exemplarisch für den Mittelmeerraum

Das Nil-Delta hat aber nicht alleine mit den Folgen des Klimawandels zu kämpfen. Alle Staaten am Mittelmeer müssen sich auf die Klimaänderung einstellen. Die vom Forschungs-Cluster CLIWASEC Anfang 2010 durchgeführten Untersuchungen lassen erkennen, dass die betroffenen Länder in Zukunft mit einer deutlichen Temperaturzunahme insbesondere der Minimumund Nachttemperaturen in allen Jahreszeiten rechnen müssen.



Großraum Alexandria: Deformation der Landoberfläche durch Grundwasserentnahme und Salzwassereintrag in den Untergrund.

Außerdem ist trotz häufigerer Starkregenereignisse eine deutliche Abnahme v. a. der nutzbaren Niederschlagsmenge zu erwarten. Dies wird in Verbindung mit einem steigenden Meeresspiegel nicht nur im Nil-Delta, sondern im gesamten Mittelmeerraum zu stärkeren Überschwemmungen, zunehmender Versalzung des küstennahen Grundwassers sowie fortschreitendem Verlust von fruchtbaren Böden und Siedlungsraum führen. Diese massiven Veränderungen werden ohne zielgerichtete Gegenmaßnahmen oder Anpassungen zu ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Konflikten führen.

#### Konsequenzen betreffen auch andere Länder

Die beschriebenen Entwicklungen werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf Länder und Regionen auswirken, die nicht so stark

von den Folgen des Klimawandels betroffen, aber mit den Mittelmeeranrainern ökonomisch und politisch vernetzt sind. Die zu erwartenden Schwierigkeiten in der Landwirtschaft im Mittelmeerraum werden zu häufigeren Ernteausfällen bzw. zu Lieferengpässen von dortigen Waren führen. Andere Länder und Regionen könnten diese Ausfälle gegebenenfalls kompensieren, wenn sie ihre Landwirtschaft innerhalb vernünftiger Rahmenbedingungen frühzeitig auf die Mitversorgung der südlichen Regionen einstellen. Gleichzeitig muss die Akzeptanz gefördert werden, dass durch einen notwendigen Umbau der Landwirtschaft nicht länger alle Produkte zu jeder Jahreszeit verfügbar sein werden. Zudem könnte die deutsche Expertise im Bereich der erneuerbaren Energien und der Umwelttechnik einen großen Beitrag zur Verbesserung der Ressourcenwirtschaft und des Umweltschutzes in den betroffenen Regionen leisten. Eine verstärkte Nutzung der Sonnenenergie zur Stromerzeugung würde die Abhängigkeit der Mittelmeeranrainer vom Erdgas verringern und somit Wasserressourcen und Böden schonen. Auch seine Kompetenz im Bereich der Trinkwasseraufbereitung könnte Deutschland für beide Seiten gewinnbrinaend einsetzen.

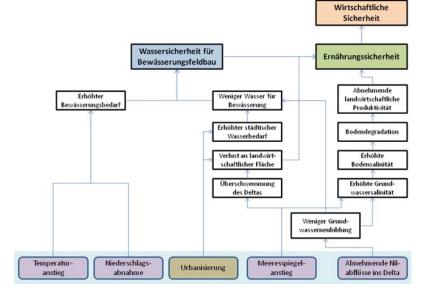
#### Weitere Informationen und Ansprechpartner für CLIWASEC in Deutschland:

Wissenschaftlicher Koordinator CLIMB: Prof. Dr. Ralf Ludwig, Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Luisenstraße 37, 80333 München

Tel.: (089) 2180-6677, Fax: (089) 2180-17858 E-Mail: r.ludwig@lmu.de

Projektmanager CLIMB: Dr. Thomas Ammerl, Fachreferatsleiter Umwelt & Energie, **Bayerische Forschungsallianz GmbH** (BayFOR),

Tel.: (089) 9901888-120, E-Mail: ammerl@bayfor.org



Wirkungsgefüge des Klimawandels und der fortschreitenden Urbanisierung im Nil-Delta. © WASSERMed

# **CLIWASEC-Projektergebnisse in Politik und** Öffentlichkeit tragen

ie Projekte CLIMB, WASSERMed und CLICO koordinieren die Verbreitung von Forschungsergebnissen über das Cluster CLIWASEC, um zusammen größere Sichtbarkeit und Gehör zu erlangen. Zu den Aktivitäten zählen seit Projektstart im Jahr 2010 beispielsweise die Zusammenarbeit in den Untersuchungsgebieten vor Ort, die aufeinander abgestimmte Kooperation mit Entscheidungsträgern im Bereich Wasser, die gegenseitige Einladung auf Treffen mit relevanten Akteuren auf diesem Gebiet, die Diskussion und Durchführung von Kommunikationsstrategien (bspw. Pressemitteilungen und Pressekonferenzen), die Präsentation von Ergebnissen auf Jahrestreffen, der Austausch gesammelter Daten sowie der integrative wissenschaftliche Dialog. Während gemeinsamer Meetings beraten sich die Projekte zur weiteren Vorgehensweise und zu einer umfassenden Strategie für die Mittelmeerländer im Hinblick auf Klimaerwärmung und Wasserknappheit.

**Relevante Akteure in das** Cluster einbinden

Zu den wesentlichen Aufgaben des Clusters zählt die aktive Einbindung administrativer und politischer Entscheidungsträger aus dem Wassersektor. Deren Beteiligung ist von zentraler Bedeutung, will man mit den Projektergebnissen nicht nur zur Kenntnis genommen werden, sondern eine maßgebliche Rolle bei der Schaffung der wissenschaftlichen Grundlage für die Entwicklung eines nachhaltigen Wassermanagements spielen. Letzteres ist nur durch die intensive Zusammenarbeit mit regionalen und lokalen Akteuren möglich, die den Zustand in ihrem räumlichen Verantwortungsbereich kennen und beurteilen können, welche Maßnahmen sinnvoll umsetzbar sind. Die Interaktion mit den Akteuren im Bereich Wasser findet also statt, um deren Wissen über die historische und aktuelle Wassernutzung und mögliche Wasserkonflikte zu gewinnen, mögliche Szenarien eines zukünftig möglichen Wassermanagements zu diskutieren und schließlich die aus den Modellergebnissen abgeleiteten Projektionen direkt vermitteln zu können. Für die Entwicklung dieses Konzepts treffen sich die Wissenschaftler mit den maßgeblichen Akteuren im Rahmen sog. "Stakeholder-Policy-Days", die die Projektpartner während ihrer Jahrestreffen veranstalten. Auf diese Weise treiben die Forscher die Umsetzung erarbeiteter Maßnahmen gegen die durch den Klimawandel verstärkte Wasserknappheit voran. Die schnelle Realisierung ist auch ein vorrangiger Anspruch der EU-Kommission geförderte Forschungsprojekte sollen baldmöglichst Früchte tragen, indem sie zur anwendungsorientierten Lösung konkreter, gesellschaftsrelevanter Probleme beitragen. So unterstützt das EU-Forschungs-Cluster CLIWASEC nicht nur die Klimawandelforschung auf naturwissenschaftlicher, wirtschaftlicher und sozialer Ebene, sondern leistet auch einen Beitrag für die Implementierung angepasster Managementstrategien.

## **Bottom-up-Strategie**

Mittels interaktiver Methoden sollen die Verantwortlichen in jedem Untersuchungsgebiet selbst erkennen, welche Konsequenzen der Klimawandel auf die verfügbaren Wasserressourcen der Region hat. CLI-WASEC nutzt eine "Bottom-up"-Strategie, das heißt Ansätze und Diskussionsvorschläge sollen vor allem aus der betroffenen Region selbst kommen. Damit wird einerseits klar kommuniziert, dass das Cluster keinem Wassermanager und -nutzer vor Ort eine Lösung aufdrängen will und kann, und andererseits erfolgt dadurch der dringend benötigte Transfer von praktischem Expertenwissen aus der betroffenen Region an die forschenden Einrichtungen. Somit können die Wissenschaftler multiple Konkurrenzen um das Wasser im Kontext klimawandelbeding-





Der CLIMB-Stakeholder-Workshop in Alexandria im Mai 2011.



Die Teilnehmer beim Stakeholder-Workshop in Alexandria.

ter Extreme besser einschätzen und die Gefährdung der Wasserversorgung wissenschaftlich bewerten.

#### **Interaktive Netzwerke am Beispiel des Projektes CLIMB**

Seit Beginn des Clusters baut CLIMB lokale Netzwerke mit politischen Entscheidungsträgern und relevanten Akteuren auf. Folgende Maßnahmen sind bereits erfolgt bzw. werden in der Zukunft umgesetzt:

- Aufbau von lokalen Netzwerken in den Untersuchungsgebieten der drei Projekte, in denen die Akteure für das Wasserressourcenmanagement der jeweiligen Region eingebunden sind.
- Entwurf eines Fragebogens: Basierend auf Literaturrecherchen und den Interviews mit ausgewählten lokalen Akteuren im Mittelmeerraum entwickeln die Wissenschaftler in jedem Untersuchungsgebiet einen spezifisch angepassten Fragebogen, mit dem Wahrnehmung und Wissen der lokalen Akteure zur Wassernutzung und diesbezüglichen Konfliktsituationen abgeleitet werden können.

- Beantwortung der Fragebögen in den lokalen Netzwerken und durch weitere Interessensvertreter.
- Auswertung der Fragebögen: Die Forscher analysieren die gesammelten Antworten, um den Zusammenhang von Wasserdargebot (aus dem natürlichen Wasserkreislauf für eine bestimmte Zeit bereitstehende nutzbare Menge an Süßwasser), Wasserverbrauch und Wasserkonflikten zum aktuellen Zeitpunkt zu bestimmen. Das Ergebnis dient als Referenz für den Status quo im Wassersektor in den jeweiligen Untersuchungsgebieten.
- Entwicklung von Szenarien auf der Grundlage der ausgewerteten Fragebögen: In allen Untersuchungsgebieten finden Treffen von "Fokus-Gruppen" statt, bei denen die Wissenschaftler den Entscheidungsträgern die Ergebnisse der Projektionen für den durch den Klimawandel beeinflussten Wasserhaushalt vorstellen. Im Dialog sollen diese die Auswirkungen des Klima-

wandels auf Wassernutzung und die resultierenden Konfliktsituationen in ihrer eigenen Region beschreiben. Ziel ist die gemeinsame Erarbeitung möglicher Lösungsansätze und Handlungsalternativen.

## Gemeinsam Projektergebnisse in die Öffentlichkeit tragen

Neben der Einbindung politischer Entscheidungsträger möchte CLI-WASEC die Ergebnisse der Forschung sowohl der wissenschaftlichen Fachwelt als auch, in entsprechend aufbereiteter Form, der breiten Öffentlichkeit präsentieren. Für diesen Zweck steht zunächst ein Web-Portal zur Verfügung (www.cliwasec.eu), das den direkten Zugang zu Projektmaterialien und Publikationen sowie zu wichtigen News und Ereignissen rund um die Projekte ermöglicht. Im Juni 2011 entstand eine gemeinsame Broschüre, die Ziele und geplante Aktivitäten des Clusters allgemeinverständlich vorstellt. Die Broschüre ist in sechs verschiedenen Sprachen (Arabisch, Deutsch, Englisch, Französisch, Italienisch und Spanisch) erhältlich und unter www.climb-fp7.eu/dissemination/downloads.php bzw. www. cliwasec.eu/downloads/downloads. php abrufbar. Ein weiteres, wichtiges Instrument für die Verbreitung der Ergebnisse sind die Jahresversammlungen von CLIMB, WASSER-Med und CLICO. Hier wird nicht nur über die weitere Vorgehensweise diskutiert, die drei Projekte stellen dabei auch zusammen mit anderen wichtigen Initiativen auf diesem Gebiet die zentralen Resultate ihrer Forschungsarbeit vor. Internationale Konferenzen, z.B. die jährlich stattfindende European Geosciences Union, bieten eine zusätzliche Gelegenheit, die Ergebnisse des Clusters auf internationaler Bühne bekannt zu machen.

# **EU-Forschungsprojekt CLIMB:**

## Die Folgen von Klimawandel und Wasserknappheit im Mittelmeerraum

aut aktueller Vorhersagen für das 21. Jahrhundert wird der Klimawandel gerade im Mittelmeerraum, d.h. in Ländern von Südeuropa, Nordafrika und dem Nahen und Mittleren Osten, zu massiven Veränderungen im Wasserhaushalt führen. Vor allem ist eine zunehmende Verknappung des zur Verfügung stehenden Niederschlags-Grundwassers zu erwarten. Ursachen hierfür sind beispielsweise verlängerte Dürreperioden, häufigere Überschwemmungen und die Versalzung der Böden und des küstennahen Grundwassers.

Um diesen Risiken entgegenzutreten, ist ein nachhaltiges Management vorhandener Wasservorräte erforderlich, damit die künftige Versorgung für die Wohnbevölkerung, Landwirtschaft und Industrie nachhaltig gesichert werden kann. Zurzeit fehlen aber zuverlässige Analysemodelle und Kontrollsysteme, mit denen die durch den Klimawandel verursachten Änderungen erforscht werden können.

Aktuelle Prognosen zum Einfluss des Klimas auf den Wasserhaushalt im Mittelmeerraum basieren auf wissenschaftlich schwer überprüfbaren, regionalen Klimamodellen, welche die wesentliche Grundlage für den Antrieb von Wirkungsmodellen im Wasserbereich bilden. Deren Ergebnisse sind daher durch sehr hohe und kaum quantifizierbare Unsicherheiten gekennzeichnet. Dennoch müssen diese Daten herangezogen werden, um unter Berücksichtigung natürlicher und sozio-ökonomischer Aspekte Anpassungsstrategien zu entwickeln, die der Bevölkerung die dringend erforderliche Wassersicherheit liefern können.

Die offensichtlichen methodischen Lücken möchte das im 7. Forschungsrahmenprogramm der EU geförderte Projekt CLIMB (Climate



Bewässerungsfeldbau auf dem Versuchsgut San Michele; Sardinien (AGRIS).

Induced Changes on the Hydrology of Mediterranean Basins) schließen. Ein integrierter Monitoring- und Modellansatz soll zuverlässige Aussagen über die Folgen von Klimawandel und Wasserknappheit ermöglichen. Der Mittelmeerraum stellt dafür - durch seine besondere Beeinträchtigung aufgrund klimatisch bedingter Veränderungen und der zunehmenden Bedrohung der Wasserverfügbarkeit – ein ideales Forschungsgebiet dar.

#### Die Zielsetzungen

CLIMB hat sich zum Ziel gesetzt, die Aussagen über die klimatische Entwicklung des Mittelmeerraums auf





Die Weingärten des Versuchsguts San Michele; Sardinien (AGRIS).

#### Untersuchungsgebiete

CLIMB arbeitet vor Ort am Mittelmeer an sieben unterschiedlichen Untersuchungsgebieten:

- in Thau, Languedoc-Roussillon, Frankreich, mit einer Größe von 280 km²,
- in Rio Mannu di San Sperate, Sardinien, Italien, das 473 km² umfasst,
- in Chiba, Cap Bon, Tunesien, 286 km² groß,
- in Noce, Trentino, Italien, das mit 1367 km² das größte Untersuchungsgebiet darstellt,
- in Izmit Bay, Kocaeli, Türkei, mit 673 km²,
- im Nil-Delta, Ägypten, mit einer Größe von 1000 km² und
- im Gaza Aquifer, Palästinensische Verwaltungsgebiete, mit 365 km².

CLIMB hat die Fluss- oder Grundwassereinzugsgebiete nach der Vulnerabilität gegenüber dem klimatisch bedingten Wandel der Wasserverfügbarkeit, des Abflussregimes, der Abflussextreme und/oder der Wasserqualität ausgewählt. Alle Gebiete sind einer zunehmenden Gefährdung der verfügbaren Wasserressourcen ausgesetzt, allerdings mit deutlich unterschiedlichen Ursachen und Folgen, um ein möglichst breites Spektrum von Systemzuständen erfassen zu können: Dazu zählt beispielsweise eine hohe landwirtschaftliche Produktivität, Bewässerungslandwirtschaft, starke Nähr- und Schadstoffeinträge aus unterschiedlichen Quellen, Salzwasserintrusion in küstennahe Aquifere und eine stetig steigende Rivalität in der Wassernutzung.

eine neue wissenschaftliche Grundlage zu stellen und Unsicherheiten in den Vorhersagen zur Wasserverfügbarkeit zu reduzieren. Dieses neue Monitoring- und Modellierungssystem, das CLIMB entwickelt, ist für mesoskalige Flusseinzugsgebiete oder Grundwasserspeicher (d.h. Gebiete von mehreren Hundert bis wenige 1000 km²) bestimmt und kombiniert Geländemessun-

gen, Fernerkundungstechniken, Ensembles aus regionalen Klimamodellen und hydrologischen Modellen mit einer sozio-ökonomischen Faktorenanalyse. Daraus entsteht ein integriertes Kontroll- und Analyseinstrument zur Bewertung von regionaler Vulnerabilität und Risiko für den Wasserhaushalt unter dem Einfluss des Klimawandels. Erst durch die explizite Einbindung der



Sickerbecken für geklärtes Abwasser – eine Methode zur Grundwasseranreicherung im tunesischen Küstengebiet.

sozio-ökonomischen Faktorenanalvse können die naturwissenschaftlichen Daten interdisziplinär in Wert gesetzt und für ein nachhaltiges Management von Wasserressourcen, die Entwicklung angepasster Landwirtschaftspraktiken oder die Identifizierung und Reduzierung von Konfliktpotentialen durch Nutzungskonkurrenz genutzt werden. In dieser Konstellation beschreitet CLIMB in diesem Untersuchungsraum wissenschaftliches Neuland. Der erfolgreiche Ansatz und Projektfortschritt wird daher während der Entwicklungsphase immer auch mit konventionellen, auch heute bereits verfügbaren Methoden der Klimafolgeforschung verglichen und bewertet.

#### Die Projektstruktur

Das Projekt CLIMB ist in acht Arbeitspakete untergliedert:

Im Arbeitspaket 1 ist die interne Koordination des Projektes geregelt. Es gewährleistet eine effiziente Zusammenarbeit der Wissenschaftler aus den unterschiedlichen Arbeitspaketen. Das Arbeitspaket 2 entwickelt die gemeinsame Dateninfrastruktur für das Projekt. Dazu zählen primär die Auswertungen und Ergebnisse des neuen Monitoring- und Modellierungssystems. In den Arbeitspaketen 3 bis 6 sind die eigentlichen wissenschaftlichen und methodischen Forschungsschwerpunkte (siehe Seiten 14 bis 20 "Unsicherheiten der Klimamodellierung", "Hydrologische Modellensembles" und "Geodatenmanagement auf hohem Niveau") angesiedelt. Das Arbeitspaket 7 hat die wissenschaftliche Aufgabe, die für das Thema relevanten Akteure direkt in die CLIMB-Struktur einzubeziehen und darüber hinaus die neuesten Ergebnisse an und mit der betroffenen Öffentlichkeit zu kommunizieren. Bereits jetzt nutzt CLIMB dafür eine Website (www. climb-fp7.eu), Konferenzteilnahmen, wissenschaftliche Publikationen und Presseaktivitäten. Zudem setzt CLIMB in besonderem Maße



Noce Val di Non in Italien: das Reservoir Santa Guistina.

auf Doktorandenausbildungen und einen intensiven Dialog mit Entscheidungsträgern, sei es persönlich oder über gezielt entwickelte Leitlinien (Policy Briefings). Die kohärente Verbreitung der Ergebnisse, für die das Arbeitspaket 7 zuständig ist, stellt sicher, dass die Fortschritte in der Forschung auch ihre Anwendung in den Untersuchungsgebieten finden (zu den aktuellen Forschungsergebnissen siehe auch Artikel Seite 7 "Internationale **CLIWASEC-Fachtagung** schildert Auswirkungen der Klimaänderung für die Wasserversorgung in den Mittelmeerländern").

Alle Arbeitspakete sind über direkte und rückgekoppelte Schnittstellen miteinander verbunden. Diese Maßnahme unterstützt die Projektmitarbeiter darin, wissenschaftliche Projektionen zum Wasserhaushalt exakter zu bewerten und inherente Unsicherheiten zu reduzieren.

Im Arbeitspaket 0 kooperiert CLIMB mit den EU-Forschungsprojekten WASSERMed und CLICO im Cluster CLIWASEC. Auch diese Projekte beschäftigen sich mit den Folgen des Klimawandels am Mittelmeer. Das Cluster hilft, die Thematik aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten (zum EU-Forschungs-Cluster CLIWASEC siehe auch Artikel

Seite 5 "EU-Forschungs-Cluster CLI-WASEC: Ein internationaler Projektverbund für die Klimafolgenforschung im Mittelmeerraum"). Die Projektkooperation im Rahmen von

CLIWASEC dient der Erwirtschaftung wissenschaftlicher Synergien sowie der Verbesserung der äußeren Sichtbarkeit und Wirksamkeit der gesellschaftlich relevanten Projektergebnisse. Zudem integriert es die Ergebnisse weiterer Projekte und Initiativen, die sich mit dem Thema Klimawandel und Wasserknappheit am Mittelmeer auseinandersetzen. Damit sichert sich CLIMB eine hervorragende internationale und projekt- bzw. programmübergreifende Vernetzung.

#### Weitere Informationen und Kontakt:

Prof. Dr. Ralf Ludwig, Wissenschaftlicher Koordinator CLIMB, Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Luisenstraße 37, 80333 München, Tel.: (089) 2180-6677, Fax: (089) 2180-17858,

E-Mail: r.ludwig@lmu.de, Internet: www.climb-fp7.eu

## Die Partner des EU-Forschungsprojektes CLIMB

Das CLIMB-Konsortium besteht aus 19 Partnerinstitutionen. Die Partner stammen aus vier europäischen Mitgliedstaaten (Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich), vier internationalen Kooperationsländern im Mittelmeerraum (Ägypten, Tunesien, Türkei, Palästinensische Verwaltungsgebiete) sowie Kanada. Die Koordination von CLIMB hat Prof. Dr. Ralf Ludwig vom Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München inne. Die Bayerische Forschungsallianz ist mit Herrn Dr. Thomas Ammerl für das Projektmanagement zuständig.

Zu den Projektpartnern gehören im Einzelnen: Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland; AGRIS Sardegna – Agenzia per la Ricerca de la Agricoltura, Italien; Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Deutschland; Centre national du Machinisme Agricole, du Genie Rural, des Eaux et des Forêts, Frankreich; Centre de Recherche et des Technologies des Eaux, Tunesien; Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Fisica delle Atmosfere e delle Idrosfere (Università di: Cagliari, Camerino, Bologna, Tor-Vergata Rom), Italien; Centro di Ricerca, Sviluppo e Studi Superiori in Sardegna, Italien; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutschland; Forschungszentrum Jülich GmbH, Deutschland; Gebze Yuksek Teknoloji Enstitusu, Türkei; Institut National de la Recherche Scientifique, Kanada; Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Österreich; Université François-Rabelais du Tours, Frankreich; Islamic University of Gaza, Palästinensische Verwaltungsgebiete; Università degli Studi di Padova, Italien; Università degli Studi di Trento, Italien; Zagazig University, Ägypten; VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, Deutschland; Yildiz Teknik Universitesi, Türkei; Bayerische Forschungsallianz GmbH, Deutschland.

## Unsicherheiten der Klimamodellierung

## Herausforderung bei Prüfung und Downscaling der Klimamodelle

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten von CLIMB besteht in der Auswahl geeigneter Klimamodelldaten und deren Downscaling für die Anwendung in Wirkungsmodellen. Die Aktivitäten in diesem Bereich werden dabei in zwei Schwerpunkte geteilt: a) die Bewertung und Auswahl von Klimamodelldaten, durch Prüfung gegen die gemessene Klimatologie in großskaligen mediterranen Einzugsgebieten und b) das dynamische und statistische Downscaling, mit dem Ziel, der kleinräumigen Variabilität meteorologischer und hydrologischer Parameter gerecht zu werden.

erzeit prüfen die CLIMB-Wissenschaftler zahlreiche dynamische, globale (GCMs) und regionale (RCMs) Klimamodelle nach deren Fähigkeit zur Rekonstruktion des vergangenen und gegenwärtigen Klimas. Dynamische Klimamodelle versuchen auf physikalischer Basis die atmosphärischen Prozesse mit ihren Wechselwirkungen zur Landoberfläche zu simulieren und haben sich in den letzten Jahren zum Standard der Klimasimulation entwickelt, die in mehreren großen Projekten in den Vereinigten Staaten und Europa realisiert werden. Aus numerischen und technischen Gründen muss dabei mit einer sehr hohen zeitlichen, aber nur groben räumlichen Auflösung gerechnet

werden, die für die Anwendung in kleinräumigen Flussgebieten ohne weitere Prozessierungsschritte nicht geeignet sind. Dieser Weiterentwicklung widmet sich eine Arbeitsgruppe innerhalb des CLIMB-Projektes und stellt somit die passgenauen Antriebsdaten für die konsekutiven Wirkungsmodelle bereit (Niederschlag, Strahlung, Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit).

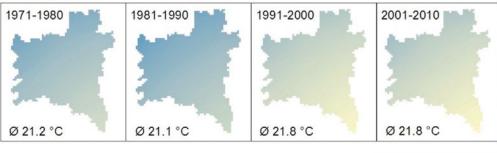
Die Anwendung der gesamten Bandbreite verfügbarer modelldaten ist wegen der enormen Datenmengen und den großen immanenten Schwankungen weder praktikabel noch sinnvoll. In diesem ersten Schritt werden also die Modelldaten herausdestilliert, die für die jüngere Vergangenheit

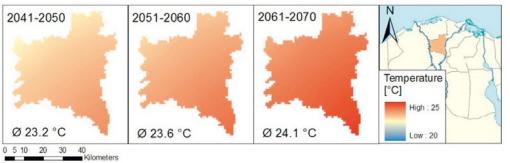
(1971-2000) speziell für den Mittelmeerraum die besten Ergebnisse liefern. Auf dieser Basis wird angenommen, dass diese Modelle auch für den Projektionszeitraum (2041-2070) die robustesten Ergebnisse liefern. Es muss betont werden, dass einige Studien einer Klimamodell-Validierung mittels der Abschätzung von Abweichungen zwischen den Ergebnissen von Klimamodellen und den verfügbaren Messdaten einer Region nicht zu Unrecht kritisch gegenüber stehen. In CLIMB geht es aber nicht darum, das Wetter der Vergangenheit exakt abzubilden, das ist in komplexen chaotischen Klimasimulationen gar nicht möglich, sondern es soll vielmehr das modellierte Klima den tatsächlichen Kennwerten in seiner statistischen Verteilung weitgehend entsprechen. Nach Auffassung der zuständigen Arbeitsgruppe CLIMB werden die hohen Erwartungen an die Klimamodellierung von mindestens vier Kombinationen aus GCM und RCM erfüllt; mit diesen Daten soll daher die mögliche zukünftige klimatische Entwicklung abgebildet und auf die Skala der Wirkungsmodelle angepasst werden. Der Projektionszeitraum 2041-2070 wurde gewählt, um zum einen ein ausreichend deutliches und somit auch aus sozio-ökonomischer Sicht noch interpretierbares Klimawandelsignal zu erhalten, dabei aber nicht ausschließlich von den doch sehr unsicheren Szenarien des IPCC bestimmt zu sein, wie es bei den Proiektionen bis ans Ende des

21. Jahrhunderts der Fall wäre.

#### Gharbia Governorate: Temperature







Modellierte Durchschnittstemperatur im Gouvernement Gharbia, Ägypten.

Climate Data:

Hydrological Simulations:

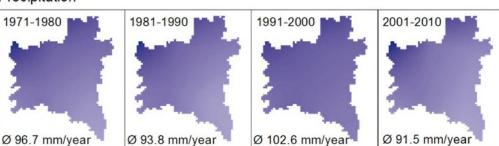
MPI REMO-ECHAM5

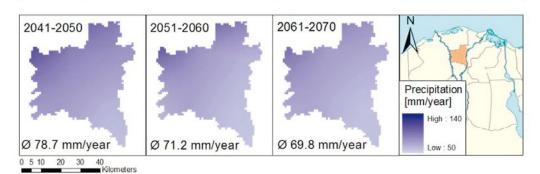
WaSiM-ETH

Zur Umsetzung der Ziele in diesem Arbeitsbereich sind folgende Schritte erforderlich:

- Bereitstellung von Klimamodelldaten für die Untersuchungsgebiete: Web- und ftpbasierte Tools bzw. Interfaces werden entwickelt, um CM-Outputs in einheitlichen Formaten für die CLIMB-Untersuchungsgebiete aufzubereiten und verfügbar zu machen. Die Datenbasis bilden dabei die Ergebnisse der vorausgehenden Forschungsprojekte PRUDENCE und ENSEM-BLES. Daraus stehen flächendifferenzierte Felder für die erforderlichen meteorologischen Parameter zur Verfügung, die in einem nächsten Arbeitsschritt quantitativ und qualitativ geprüft werden.
- Klimamodell-Auditing: Es werden transparente und robuste Auditing-Verfahren (Vergleichsprüfung und Bestätigung) für die Produkte der verschiedenen Klimamodelle entwickelt und angewandt. Die Analysen stellen die Abweichungen der simulierten zu den gemessenen Atmosphärenzuständen der untersuchten Region dar und ermöglichen somit eine objektive Bewertung auf der Basis physikalischer Grundprinzipien (z.B. Massen- und Energiebilanz) und vollziehen ein Ranking der verschiedenen Modelle anhand der besten Übereinstimmung der langfristigen saisonalen Wasserbilanzen. Die vergleichende Gegenüberstellung des Auditing-Verfahrens liefert erste Anhaltspunkte für die Größe der Unsicherheiten in der Klimamodellierung. Die angewendeten Methoden und Ergebnisse werden u.a. während der gemeinsamen Jahrestreffen zwischen CLIMB und WASSERMed diskutiert und ausgetauscht.
- Aktuelle Klimawandelszenarien für die Untersuchungsgebiete: Auf Basis der CM-Audi-

# Gharbia Governorate: Precipitation





Modellierte Niederschlagsumme im Gouvernement Gharbia, Ägypten.

ting-Ergebnisse werden aktuelle Klimawandelszenarien für die Untersuchungsgebiete der Projekte definiert, mit denen die nachfolgenden Wirkungsmodelle angetrieben werden. Hier wird neben der Veränderung des durchschnittlichen Klimazustandes v. a. auch auf die Identifikation und Bewertung von Extremereignissen (z. B. Länge von Dürreperioden, Magnitude und Frequenz von Hochwasserereignissen) Wert gelegt.

Downscaling der Klimamodelldaten auf die Skala der Wirkungsmodelle: Die Daten der verwendeten regionalen Klimamodelle liegen in der Regel in einer räumlichen Auflösung von 25 km vor. Die Wirkungsmodelle arbeiten allerdings in deutlich höherer Auflösung, d.h. einer räumlichen Diskretisierung der Einzugsgebiete in Raster oder Polygone von weniger als 1 km<sup>2</sup> Größe. Diesem Skalensprung muss durch ein stringentes Downscaling-Verfahren nung getragen werden. In diesem Forschungsfeld haben sich in jüngster Zeit diverse Verfahren entwickelt, die für die spezifischen Bedürfnisse in CLIMB erweitert und angepasst werden müssen. Getestet werden sowohl statistische als auch dynamische Verfahren, die eine Massen- und Energieerhaltung gewährleisten müssen und der tatsächlichen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Atmosphärenzustände in den einzel-Untersuchungsgebieten gerecht werden. Als Sonderfall wird das Verfahren der multifraktalen Kaskaden eingesetzt, um Extremniederkleinräumige schlagsereignisse und mögliche Sturzfluten (sog. flash floods) besser darstellen zu können.

#### Weitere Informationen und Ansprechpartner:

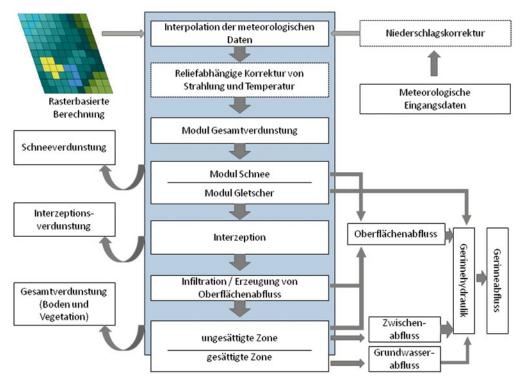
Projektkoordinator: Prof. Dr. Ralf Ludwig, Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Tel.: (089) 2180-6677, E-Mail: r.ludwig@lmu.de

Projektmanager: Dr. Thomas Ammerl,
Fachreferatsleiter Umwelt & Energie,
Bayerische Forschungsallianz GmbH (BayFOR),
Tel.: (089) 9901888-120, E-Mail: ammerl@bayfor.org

## **Hydrologische Modellensembles**

## Das Fundament für weitere Analysen

Um zuverlässigere Aussagen über die Folgen des Klimawandels im Mittelmeerraum zu treffen, verwenden die Wissenschaftler von CLIMB verschiedene Modellierungsansätze, die mit Hilfe von klein- und großskaligen Modellensembles hydrologische Prozesse besser verdeutlichen und bestehende Unsicherheiten reduzieren.



Module und Struktur des hydrologischen Modells WaSiM-ETH (verändert nach Schulla und Jasper, 2007).

ernstück des CLIMB-Ansatzes ist die Verwendung von hydrologischen Modellensembles, d.h. die Anwendung verschiedener Modelle mit gleichen Antriebsdaten, die dabei unterstützen sollen, bestehende Unsicherheiten in der Wirkungsmodellierung zu quantifizieren, zu analysieren und zu bewerten. Bislang wurde in der Forschung weitgehend vernachlässigt, dass Wirkungsmodelle Unsicherheiten aufweisen, die bisweilen in derselben Größenordnung liegen wie die bereits bekannten Effekte in der Klimamodellierung. Die CLIMB-Partner setzen insgesamt 13 verschiedene Modelle ein, die sich sowohl in ihrer Ausrichtung (Landoberfläche, Grundwasser) als auch in ihrer Komplexität (empirisch, konzeptionell, physikalisch basiert) unterscheiden. Es ist sichergestellt, dass in jedem Einzugsgebiet mindestens drei hydrologische Modelle eingesetzt werden. Damit kann untersucht werden, über welche Detailliertheit ein Modell verfügen muss, um sinnvoll für Fragestellungen der Klimafolgenforschung eingesetzt werden zu können.

CLIMB verfolgt hierbei einen zweiphasigen Weg: Zunächst sollen detailspezifische Modellensembles für die Simulation der Abflussentwicklung und Bodenwasserdynamik auf der Hangskala und der lokalen Skala (d.h. kleinere Einzugsgebiete <10 km<sup>2</sup>) entwickelt werden. Die dabei eingesetzten Modelle können auf dieser Raum-

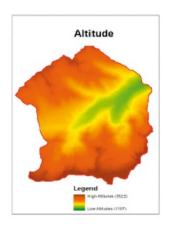
skala mit Hilfe der durchgeführten Geländekampagnen spezifisch parametrisiert, gegebenenfalls kalibriert und letztlich mit unabhängigen Messungen validiert werden. Auf den Erkenntnissen der hochauflösenden Modellierung, die in den Gebieten Costara (Rio Mannu di San Sperate, Sardinien) und Masso Maiano (Noce, Trentino) durchgeführt werden, fußen dann die mesoskaligen Regionalisierungen für die CLIMB-Untersuchungsgebiete (> 100 km²). Diese Vorgehensweise zielt darauf ab, dass insgesamt eine bessere Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Bodenwasserhaushalt und Vegetationsdynamik erreicht wird. Dazu will CLIMB die verwendeten hydrologischen Modelle weiterentwickeln, um auch Fernerkundungsdaten und weitere verfügbare Daten (z.B. Referenzdaten von Behörden, die kontinuierlich erhoben werden) dynamisch zu integrieren. Vor allem die Fernerkundung dient als Werkzeug zur flächendifferenzierten Erfassung von Zustandsvariablen des hydrologischen Systems (z.B. Bodenwassergehalt, Landnutzungsentwicklung), um die Modelle zu verbessern und die Notwendigkeit zur Kalibrierung zu verringern.

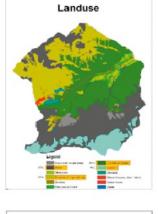
Aktuell werden verschiedene Ansätze zur Modellierung getestet und für den semiariden Mittelmeerraum weiterentwickelt, wobei die regulär verwendeten Daten zur Kalibrierung (z.B. Abflussmengen, Schneedecke, Verdunstungs- und Bodenfeuchtemuster, Niederschlag, Temperatur und andere meteorologische Daten) durch Punktmessungen der Bodenfeuchte ergänzt und bei Bedarf zudem durch Daten aus

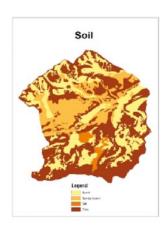
den geophysikalischen Untersuchungen mittels GPR (Bodenradar) und ERT (Electrical Resistivity Tomography) vervollständigt werden.

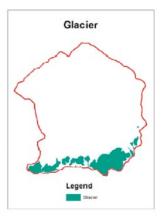
Aus diesem Ansatz lassen sich für klein-, mittel- und großflächige Modellanwendungen folgende Kernfragen beantworten:

- Sind Daten aus geophysikalischen Untersuchungen für die Erfassung der Bodenwasserdynamik auf der Hangskala und somit für die Parametrisierung unterschiedlich komplexer Modelle nützlich? Welche Verfahren eignen sich besonders, um geophysikalische Punktmessungen in hydrologische Modelle zu integrieren?
- Lassen sich aus diesen Experimenten Richtwerte ableiten, mit denen geeignete Modelle für die Modellierung des Abflusses auf der Hangskala entwickelt werden können, die wiederum als Grundlage für weitere Einzugsgebiet-Modellensembles nutzt werden können?
- Wie lassen sich Fernerkundungsdaten in die hydrologische

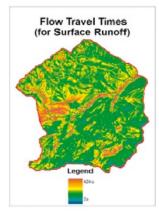












Räumliche Eingangsdaten für das hydrologische Modell WaSiM-ETH im Vermigliana-Gebiet (Noce, Trentino).



**Tabelle 1.** Die Verwendung unterschiedlicher hydrologischer Modelle in den CLIMB-Untersuchungsgebieten.

Hydrologische Modellensembles in CLIMB	Mesoskala							Mikroskala		
	<b>Chiba</b> (Tunesien)	<b>Rio Mannu</b> (Sardinien, Italien)	<b>Thau</b> (Frankreich)	<b>Gaza</b> (Palästinensische Verwaltungsgebiete)	<b>Noce</b> (Trentino, Italien)	<b>Kocaeli</b> (Türkei)	<b>Nil-Delta</b> (Ägypten)	Maso Maiano (Trentino, Italien)	<b>Costara</b> (Sardinien, Italien)	Eingesetzte Modelle der CLIMB-Partner
LMU	Х	Х		Х			Х		Х	WaSiM-ETH, PROMET
CERTE	Х		Х							SWAT, MODFLOW
CINFAI		Х							Х	tRIBS
CRS4		Х		Х						SWAT, CODESA-3D
FZJ			Х	Х		Х				GROWA
GIT						Х				MIKE-3
INRS	Χ	Х	Х					Х	Х	CATHY
UT	Х		Х							SWAT
IUG				Х						WMS
UNIPD	Х	Х			Х			Х	Х	CATHY
UNITN		Х			Х			Х		GEOTRANSF
UZ							Х			FEFLOW
VISTA					Х	Х				PROMET

- Modellierung für Fragen der Klimafolgenforschung integrieren?
- Durch welche Unsicherheiten ist die hydrologische Modellierung gekennzeichnet und mit welchen Methoden können Fehler minimiert werden?

Die Untersuchungsgebiete Noce, Rio Mannu und Thau sind mit einem dichten Netzwerk an Messpunkten ausgestattet. Sie wurden u.a. deshalb in das Projekt aufgenommen, um herauszufinden, inwieweit die Messdichte Unsicherheiten in der hydrologischen Modellierung beeinflusst und wie hydrogeophysikalische und satellitengestützte Daten dabei helfen können, die Effekte einer geringeren Messnetzwerkdichte wie ansonsten im Mittelmeerraum üblich abzuschwächen.

Werden diese Fragen positiv beantwortet, so können die geeigneten Modellansätze im nächsten Projektabschnitt auf der Ebene von Einzugsgebieten verwendet und für die Ableitung der hydrologischen Konsequenzen des Klimawandels eingesetzt werden. Dadurch erhöht sich zum einen das Verständnis für die Auswirkungen des Klimawandels im Mittelmeerraum, zum anderen können die auftretenden Unsicherheiten durch den Ensembleansatz identifiziert und plausibilisiert werden. Für die Anwendung im Projektionszeitraum (2041-2070) werden alle hydrologischen Modelle konsequent mit den zuvor ausgewählten Klimamodelldaten angetrieben. In einem letzten Ausbauschritt werden die Klimaprojektiodurch Szenarien veränderten (angepassten) Landnutzung und die aus dem Stakeholder-Dialog abgeleiteten Bewirtschaftungsanpassungen ergänzt. Damit können die Akteure vor Ort wiederum mit Empfehlungen für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung bedient werden.

Besonders wichtig ist, dass sich die Partner bei der Bereitstellung und Verknüpfung der unterschiedlich komplexen Oberflächenwasser-

und Grundwassermodelle auf verschiedenen Stufen der Interaktion ergänzen. So wird sichergestellt, dass für jedes durch den Klimawandel verursachte Problem bei der Wasserversorgung und ieden hydrologisches Standort ein Modellensemble verfügbar ist, das den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Gebietes gerecht wird.

#### Weitere Informationen und Ansprechpartner:

Projektkoordinator: Prof. Dr. Ralf Ludwig, Department für Geographie Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München,

Tel.: (089) 2180-6677, E-Mail: r.ludwig@lmu.de

Projektmanager: Dr. Thomas Ammerl, Fachreferatsleiter Umwelt & Energie **Bayerische Forschungsallianz GmbH** (BayFOR),

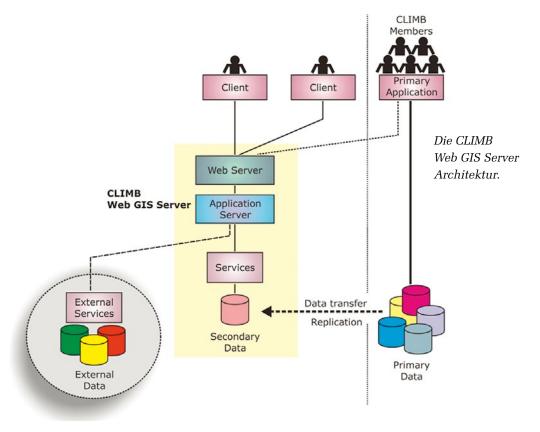
Tel.: (089) 9901888-120, E-Mail: ammerl@bayfor.org

## **Geodatenmanagement auf hohem Niveau**

Geoinformationssysteme (GIS) und räumliche Datenbanken sind heute die Plattform, um geographische Daten sammeln, verwalten, analysieren und visualisieren zu können. Netzwerkbezogene GIS-Serverarchitekturen ermöglichen zum Beispiel einen dezentralisierten Zugang auf eine zentrale Geodatenbank, verknüpft mit passenden Auswertungs- und Analysemöglichkeiten.

eoinformationssysteme und räumliche Datenbanken sind innerhalb großer Verbundforschungsprojekte wie CLIMB unabdingbar, um die große Menge unterschiedlicher Daten zu verschiedenen Themen und deren geometrische Verortung zusammenzufassen. Ihr Ziel ist es, die Nutzer mit einer einheitlichen und standardisierten Geodatenbank zu versorgen. Ein maßgeschneiderter, web-basierter GIS-Client kann dazu genutzt werden, Geodaten über Projekt- und Ländergrenzen hinweg abzufragen, die Daten zu analysieren und sie anschließend zu visuali-

Die grundlegende Herausforderung und Voraussetzung einer projektbezogenen CLIMB-Dateninfrastruktur ist die Standardisierung von Geodaten. Durch die unterschiedliche Datenstruktur und den Mangel an geeigneten Metadaten-Informationssystemen ergibt sich hier ein erheblicher Handlungsbedarf. Nationale und europäische OGC- (Open GIS Consortium) und ISO- (Internationale Organisation für Normung) basierende Geodaten-Infrastrukturen werden entwickelt, um eine Kompatibilität der Geodaten für alle Projektpartner und alle Untersuchungsgebiete zu gewährleisten. Basierend auf den genannten Standards entwickelt CLIMB ein serverbasiertes GIS zur zentralen und standardisierten Speicherung raumzeitlicher (Meta-) Daten. Dazu gehören Daten zu Meteorologie und Hydrologie, Topographie, Landnutzung und Vegetation, Boden und Geologie, Wasserwirtschaft und verorteten sozio-ökonomischen Daten. Dieses serverbasierte GIS-System erlaubt



zudem einen webbasierten Zugang zum Geodaten-Server.

Im Bereich des Geodatenmanagements hat sich CLIMB folgende Ziele gesetzt: Die Homogenisierung und Standardisierung der verwendeten Datentypen aller Projektpartner, die Entwicklung eines Datenbankschemas zum Management und zur Aufbereitung der Geodaten, den Entwurf und die Anwendung eines serverbasierten GIS, die Entwicklung und Durchführung von Methoden und Werkzeugen zur Analyse und Visualisierung der Geodaten und die Entwicklung eines Metadaten-Informationssystems, mit dem Erläuterungen zu den verwendeten Daten abgerufen werden können.

## Geophysikalische **Datenaufnahme**

Detailliertes Wissen zu geologischen, hydrologischen und hydraulischen Eigenschaften des Untergrunds sind wesentliche Grundlagen für eine robuste Parametrisierung der verwendeten hydrologischen Modelle. Erst dadurch werden verlässliche Aussagen zur Reaktion der Untersuchungsgebiete auf den Klimawandel möglich. Hochauflösende geophysikalische Techniken dienen dabei folgenden Zwecken:

Oberflächennahe geophysikalische Techniken sollen den Untergrund der untersuchten Flussgebiete hinsichtlich ihrer hydrogeologischen Eigenschaften in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung charakterisieren. Jeweils angepasst an die spezifischen Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten, liefern die Messungen aufschlussreiche Daten über den oberflächennahen Untergrund bis zu mehreren 10er Meter Tiefe. Anwendung finden u. a. Methoden zur Ermittlung des Wassergehalts in unterschiedlichen Bodentiefen oder der hydraulischen Leitfähigkeit des Bodens wie z. B. Electric Resistivity Tomography (ERT), Gamma Ray Spectrometry (GRS) oder Ground Penetrating Radar (GPR).

Die räumliche Verteilung physikalischer und chemischer Bodenbedingungen beeinträchtigt Landschaftsprozesse und damit verbundene ökosystemare Dienstleistungen (Ecosystem Services), weshalb sie mit bestmöglicher Genauigkeit erhoben werden müssen. Um passende Bodeninformationen für die Modellierung von Landschaftsprozessen zu gewinnen (Bodenwasserkreislauf, Nährstoffauswaschung, Bodenerosion und Pflanzenwachstum) werden in CLIMB prädiktive Mapping-Techniken angewandt, die Zusatzinformationen beinhalten, mit denen eine geostatistische Regionalisierung von Bodeneigenschaften geleistet werden kann. Diese werden aus digitalen Höhenlinienmodellen (DEM) und Fernerkundungsdaten gewonnen. Übergeordnetes Ziel bleibt dabei, allgemein passende Bodeninformationen für die Landschaftsmodellierung in CLIMB zu liefern.

#### Weitere Informationen und Ansprechpartner:

Projektkoordinator: Prof. Dr. Ralf Ludwig, Department für Geographie Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München,

Tel.: (089) 2180-6677, E-Mail: r.ludwig@lmu.de

Projektmanager: Dr. Thomas Ammerl, Fachreferatsleiter Umwelt & Energie **Bayerische Forschungsallianz GmbH** (BayFOR),

Tel.: (089) 9901888-120, E-Mail: ammerl@bayfor.org