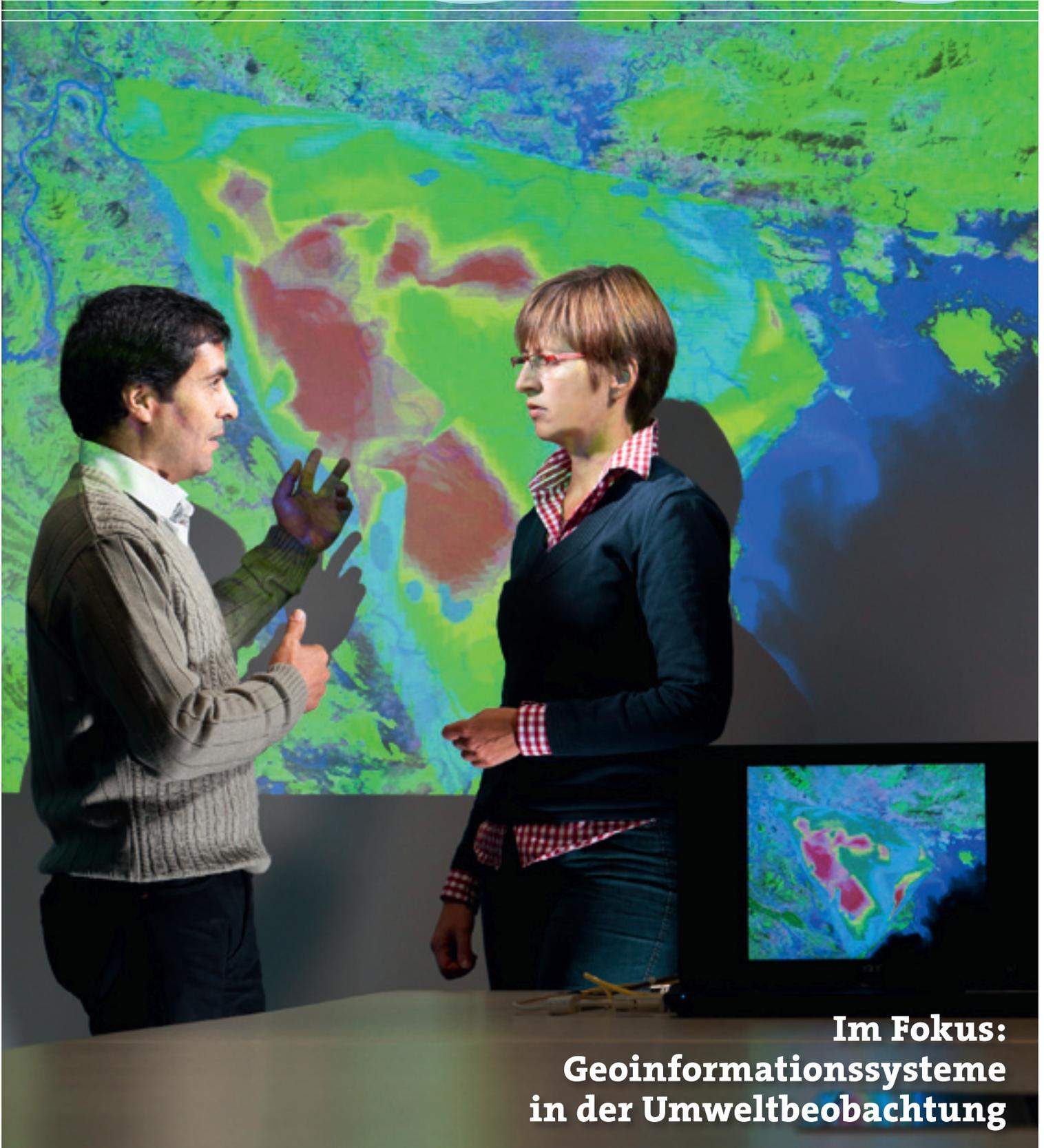


# news



**Im Fokus:  
Geoinformationssysteme  
in der Umweltbeobachtung**



Peter Reichert ist Leiter der Forschungsabteilung Systemanalyse und Modellierung der Eawag und Mitglied der Eawag-Direktion.

## Die Wichtigkeit der räumlichen Dimension

Die räumliche Dimension ist von sehr grosser Bedeutung für das Verhalten von Umweltsystemen und dafür, wie sich Belastungen durch menschliche Einflüsse auf diese auswirken. So spielt für die Gewässerbelastung durch diffuse landwirtschaftliche Quellen eine entscheidende Rolle, wie nah landwirtschaftlich genutzte Flächen an Gewässern liegen, ob das Regenwasser ungehindert abfliessen kann und ob Belastungen aus anderen Teileinzugsgebieten vorliegen. Die Wiederbesiedlung morphologisch oder hydrologisch aufgewerteter Fliessstrecken gelingt nur, wenn verdrängte oder lokal ausgestorbene Arten aus naturnäheren Flussabschnitten einwandern können. Andererseits kann aber die gute Längsvernetzung eines Flusssystemes auch die Ausbreitung invasiver Arten erleichtern. Das sind nur einige wenige, herausgegriffene Beispiele, die zeigen sollen, wie wichtig die räumliche Dimension für das Verständnis von Ökosystemen und die Beurteilung von Massnahmen für deren Wiederherstellung oder Verbesserung sind.

Die digitale Speicherung, Verarbeitung und Visualisierung räumlicher Daten erfolgt heute in geografischen Informationssystemen (GIS) und daran gekoppelten Datenbanken. Zusätzlich lassen sich mit diesen Systemen interaktive Karten erzeugen, Daten mittels statistischer Modelle auswerten sowie mithilfe mechanistischer Modelle, die entweder direkt in ein GIS eingebettet oder extern an dieses gekoppelt sind, Umweltsysteme analysieren beziehungsweise Eingabedaten aufbereiten und die Ausgaben darstellen.

Die vorliegende Nummer der Eawag News vertieft einige dieser Aspekte räumlicher Daten und Analysen auf den verschiedensten Skalen. Rosi Siber betont im Interview auf Seite 4 zum Beispiel das Potenzial von Geoinformationssystemen als Kommunikationsmittel. In ihrem Artikel auf Seite 14 zeigt sie zudem den Nutzen auf, den ein GIS bringen kann, um relativ einfache quantitative Modelle für die Herbizidauswaschung aus landwirtschaftlichen Flächen zu erarbeiten. Als weitere Anwendung zeigt

Manouchehr Amini im Artikel auf Seite 6 auf, wie sich auch etwas komplexere Modelle für die Kontamination von Grundwasser mit Arsen und Fluorid in GIS einbetten lassen und damit anschaulich machen, wo die Nutzung dieses Grundwassers als Trinkwasser gesundheitlich problematisch sein kann. Der Artikel von Christian Folberth auf Seite 10 veranschaulicht schliesslich, dass sich auch komplexe Modelle für die landwirtschaftliche Produktion mit dem Einbau in ein GIS zu einer grossräumigen Übersicht über die Nahrungsproduktion und deren Abhängigkeit vom Klima nutzen lassen.

Neben diesem Fokus auf räumliche Aspekte greift die vorliegende Eawag News auf Seite 18 auch das Thema der Wasserkraftnutzung auf, deren Ausbau wegen des Entscheids, in der Schweiz künftig auf die Stromproduktion mit Kernkraftwerken zu verzichten, unter starkem politischem Druck steht. Auch hier ist die räumliche Komponente extrem wichtig, sei es beim Schutz noch intakter Landschaften oder bei der Beurteilung der Effekte der Fragmentierung der Ökosysteme, der Folgen des Schwall-Sunk-Betriebs der Kraftwerke oder der Restwasserregimes aufgrund von Kraftwerksausleitungen.

Schliesslich enthält diese Nummer auf Seite 30 eine kurze Rückschau auf das Wirken Willi Gujers anlässlich seiner Pensionierung. Er hat wie kaum ein anderer die Philosophie der Eawag geprägt, nicht nur wesentlich zu neuen Erkenntnissen in der Forschung beizutragen, sondern auch offen zu sein für die Anliegen der Praxis, und mit seinem Wissen aktiv zur Lösung praktischer Probleme der Wasserversorgung und Siedlungsentwässerung beigetragen.

*Peter Reichert*

# Inhalt

## Fokus

### 4 «GIS ist ein Kommunikationsmittel»



Geografische Informationssysteme seien ein wirkungsvolles Werkzeug, um abstrakte Sachverhalte auf einfache verständliche Weise darzustellen, sagt GIS-Spezialistin Rosi Siber im Interview.

### 6 Online-GIS für geogene Verunreinigungen

Geogene Verunreinigungen des Grundwassers bedrohen die Gesundheit von Millionen von Menschen. Eine internetbasierte GIS-Applikation soll die Problematik einer breiteren Öffentlichkeit bewusst machen und helfen, Risikogebiete besser lokalisieren zu können.

### 10 Klimawandel in der subsaharischen Landwirtschaft



Mit Hilfe von GIS-Modellen untersucht die Eawag, wie sich der Klimawandel in der subsaharischen Afrika auf die landwirtschaftliche Produktion auswirkt und wie die Bauern ihre Produktion generell und unter veränderten Klimabedingungen erhöhen können.

### 14 Wo sind Herbizide besonders kritisch?

Die Schweizer Landwirtschaft baut Kulturen mit hohem Bedarf an Pflanzenschutzmitteln in der Regel auf Gebieten mit geringem Auswaschungsrisiko an, wie eine Abschätzung mittels GIS-gestützter Modellierung der Abflussprozesse zeigt. Damit lassen sich auch die kritischen Gebiete identifizieren.

## Forum

### 18 Gewässer unter Strom



Im Zusammenhang mit dem Ausstieg aus der Kernenergie will der Bund die Wasserkraft ausbauen. Dessen Annahmen zum Ausbaupotenzial der Wasserkraftnutzung von netto vier Milliarden Kilowattstunden halten Fachleute jedoch für nicht realistisch.

### 22 Kröten brauchen mehr Raum und Altholz

Erd- und Wechselkröten benötigen in ihrem Landlebensraum die Fläche mehrerer Fussballfelder und genügend Strukturen. Diese Anforderungen erfüllen sogar Schutzgebiete allerdings häufig nicht.

### 26 Spuren der Sonne im Eis



Die Aktivität der Sonne beeinflusst den globalen Wasserkreislauf und das Klima. Mit im Eis eingelagerten Isotopen können Forschende die Sonnenaktivität über die vergangenen 10 000 Jahre rekonstruieren und zukünftige Entwicklungen abschätzen.

### 30 Forschen und lehren für die Praxis

Während fast vierzig Jahren an der Eawag hat Willi Gujer die Siedlungswasserwirtschaft in der Schweiz und international massgeblich mitgeprägt. Eine Würdigung seines Schaffens aus Anlass seiner Pensionierung.

## In Kürze

### 34 **Projet Lac: die Fischvielfalt erfassen**

### 35 **Die Toilette neu erfinden**

### 36 **Einzugsgebietsmanagement**

**eawag**  
aquatic research

Herausgeberin, Vertrieb: Eawag, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz,  
Tel. +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Redaktion: Andres Jordi

Mitarbeit: Anke Poiger

Übersetzungen: Jeff Acheson (E), Laurence Frauenlob-Puech (F)

Copyright: Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion.

Copyright der Fotos: Eawag (sofern nicht anders gekennzeichnet)

Erscheinungsweise: Zweimal jährlich in Deutsch, Englisch und Französisch.  
Chinesische Ausgabe in Zusammenarbeit mit INFOTERRA China National Focal Point.

Konzept: TBS Identity, Zürich

Satz, Bild, Grafiken und Layout: Peter Nadler, Fällanden

Gedruckt: auf Recyclingpapier

Abonnement und Adressänderung: Neuabonnentinnen und Neuabonnenten  
willkommen, [eawag.news@eawag.ch](mailto:eawag.news@eawag.ch)

ISSN 1420-3979

## «GIS ist ein Kommunikationsmittel»

Ein geografisches Informationssystem sei ein wirkungsvolles Werkzeug, um abstrakte Sachverhalte auf einfach verständliche Weise grafisch darzustellen, ist GIS-Spezialistin Rosi Siber von der Eawag überzeugt. Dies helfe dem interdisziplinären Austausch und bei der Kommunikation mit der Öffentlichkeit. Eine gute Karte zu erstellen, setzt aber kartografischen Sachverstand voraus.

Interview: Andres Jordi

**Rosi Siber, wo liegt der Unterschied zwischen einer konventionellen Landkarte, wie man sie im Bücherladen kaufen kann, und einer Darstellung, die ein geografisches Informationssystem liefert?** Als gedrucktes Produkt unterscheiden sich die beiden Karten nicht. Sie sind statisch und punkto Massstab oder Informationsgehalt nicht mehr veränderbar. Der Vorteil von GIS ist aber, dass sich Karten am Computer einfach und jederzeit anpassen lassen. So kann man einen Ausschnitt in unterschiedlichen Massstäben darstellen oder verschiedene thematische Ebenen, zum Beispiel die Bodennutzung oder den Höhenverlauf, ein- und ausblenden. Das macht eine GIS-Karte sogar bei grösserem Informationsgehalt wesentlich übersichtlicher als eine konventionelle Darstellung. Letztere ist zudem ein Abbild zu einem bestimmten Zeitpunkt und möglicherweise schnell wieder veraltet, während man eine GIS-Karte laufend aktuell halten kann.

**Ist eine solche Karte gleich genau wie eine herkömmliche?** Die ersten GIS-Karten wurden erstellt, indem man die herkömmlichen Landkarten einscannete. Die Grundlagen der geografischen Daten sind also dieselben. Mittlerweile existieren die Daten natürlich vollständig digital.

**Trotz der Anschaulichkeit einer Karte, die mit einem GIS erstellt wurde, bleibt der Begriff selber diffus. Was ist ein geografisches Informationssystem?** Ein GIS ist die Verknüpfung zwischen einem geografischen Raum und Informationen in diesem Raum – der Herbizideintrag in Gewässer x ist gross, jener in Gewässer y klein – und stellt diese grafisch dar. Ein GIS umfasst immer die Software, die solche Informationen verarbeiten kann, die Raumdaten mit dem spezifischen Informationsgehalt und den Anwender. Im GIS-Programm erfolgt die Eingabe, Weiterverarbeitung, Analyse und Ausgabe der Daten in grafischer Form sowie auch die Organisation und Verwaltung in einer Datenbank. Die Daten können als einfache Tabelle eingespeist werden, die aus der spezifischen Information, zum Beispiel einem konkreten Messwert oder einer Landschaftskategorie (Ackerland, Gewässer,

Wald), und den dazugehörigen Koordinaten besteht. Neben einer solchen punktweisen Zuordnung lassen sich Linien, Flächen und Bilddaten, zum Beispiel Luft- oder Satellitenbilder, verarbeiten.

**Wo liegen neben den eingangs erwähnten Punkten die Vorteile eines GIS?** Eine Karte erklärt mehr, als tausend Worte es können. Ein GIS ist ein effektives Werkzeug, um abstrakte Sachverhalte und räumliche Zusammenhänge grafisch sehr anschaulich darzustellen. Das fördert etwa den Austausch zwischen Fachleuten verschiedener Disziplinen, die sich über ihre Fachgebiete leichter verständigen können. In diesem Sinn ist es ein hervorragendes Kommunikationsmittel, gerade auch im Umgang mit der Öffentlichkeit.

Eine Karte ist in gewisser Weise aber immer auch eine Aussage und mit der Form der grafischen Aufbereitung lässt sich diese entsprechend untermauern. Man kann damit überzeugen, aber auch beeinflussen. Darin liegt durchaus etwas Manipulatives. Stellt man den Pestizidverbrauch in einer Region in grellem Rot dar, transportiert das eine andere Botschaft, als wenn die gleiche

### GIS ist die Verknüpfung zwischen einem geografischen Raum und Informationen in diesem Raum.



Karte in sanften Grüntönen gehalten ist. Umso wichtiger ist, dass solche Darstellungen mit Sachverstand umgesetzt werden.

**Kann ein GIS mehr als Datenwerte visualisieren?** Das Herzstück eines GIS sind räumliche Analysen. So lassen sich aus verschiedenen Messdaten Schnittmengen, so genannte Verschneidungen, erzeugen oder Daten räumlich zusammenfassen. Mit Netzwerkberechnungen können Distanzen, mit hydrologischen Berechnungen Einzugsgebiete ermittelt werden. Zudem lassen sich Daten unterschiedlicher Disziplinen integriert betrachten und analysieren, wodurch sich neue Zusammenhänge erschliessen können. Auch gewisse statistische Auswertungen und Modellrechnungen sind möglich. Für vertiefte Analysen benutzt man allerdings oft spezifische Programme. Es gibt aber auch Modellierungstools, die direkt auf einem GIS aufbauen. Auch die Eawag entwickelt hier entsprechende Anwendungen (siehe Seite 10).

**Lohnt es sich für die Fachleute in der Praxis, eigene Kompetenzen zu erwerben, oder sollen sie GIS den Spezialisten überlassen?** Die Grundkompetenzen kann man sich relativ einfach aneignen. Für tiefer gehende Analysen braucht es mehr Einarbeitungszeit. Da der Aufwand, Karten herzustellen, nicht so gross ist, lohnt sich ein GIS schon relativ schnell. Sobald man Daten längerfristig nutzen möchte, macht es Sinn. Es gibt auch Open-Source-Anwendungen, die man im Internet gratis herunterladen kann. Für einfachere Darstellungen sind sie durchaus brauchbar.

**Wie steht es um die Kompatibilität der verschiedenen Programme und Formate?** Den Standard setzt hier der amerikanische Softwarehersteller Environmental Systems Research Institute (Esri) mit seinem Datenformat. Die Programme anderer Anbieter bieten Schnittstellen für dieses Format. Daneben lassen sich die Daten ebenso in einem generischen Format abspeichern, also als einfache Textdatei. Das stellt auch sicher, dass sie trotz der sich weiter entwickelnden Technologie auch in zwanzig Jahren noch gelesen werden können.

**Wo kommt GIS innerhalb der Eawag zum Einsatz?**

Es sind vor allem Forschende, deren Arbeit einen konkreten Raumbezug hat, die ein GIS einsetzen. Häufig verschaffen sie sich anhand von GIS-Karten einen Überblick über ein Untersuchungsgebiet und dessen geologische, hydrologische und biologische Besonderheiten. Mithilfe von Höhenmodellen werden für eine Region die Einzugsgebiete der Gewässer und deren Gebietscharakteristika berechnet. Ein wichtiger Einsatzbereich sind überdies Modellrechnungen, die mit einem GIS verknüpft sind. So haben wir etwa die Abflussprozesse von Herbiziden auf Landwirtschaftsflächen modelliert (siehe Seite 14).

**Auf welche Daten greift ihr bei GIS-Anwendungen zurück?**

Einerseits erheben die Forschenden natürlich projektspezifische Daten. Grundlagendaten, insbesondere räumliche, beziehen wir

## Kartenportal.CH

Mit dem Kartenportal.CH steht seit Anfang 2011 eine Rechercheplattform für gedruckte und digitale Karten und Geodaten der Kartensammlungen, Archive und Geodatenanbieter in der Schweiz zur Verfügung. Das Portal bündelt alle für die Kartenrecherche verfügbaren Informationen. Die Besonderheit der Plattform ist die neu entwickelte effiziente Kartensuche. Auf der Grundlage von Google Maps lassen sich damit für ein bestimmtes Gebiet leicht alle verfügbaren Karten und deren Standorte in den einzelnen Bibliotheken finden. Entwickelt wurde Kartenportal.CH von Lib4RI, der gemeinsamen Bibliothek der vier Forschungsanstalten Eawag, Empa, PSI und WSL, in Zusammenarbeit mit anderen Schweizer Hochschulbibliotheken und wird von diesen auch weiterhin betrieben.

[www.kartenportal.ch](http://www.kartenportal.ch)

vor allem vom Bundesamt für Landestopografie (Swisstopo) und passen sie allenfalls unseren Bedürfnissen an. Wichtige Lieferanten sind auch die Bundesämter für Statistik und Umwelt sowie die kantonalen GIS-Stellen.

Mit Swisstopo haben wir einen Datenvertrag und können deren Geodaten innerhalb der Eawag frei verwenden. Viele Kantone stellen Daten kostenlos zur Verfügung oder wir schliessen Vereinbarungen auf Projektebene ab, sodass wir sie für Forschungszwecke ebenfalls kostenlos nutzen können.

**In der Eawag bist du die Koordinationsstelle für Geoinformationssysteme und Geodaten. Was ist deine konkrete Funktion?**

Zum einen berate ich die Forschenden konzeptionell, etwa welche GIS-Möglichkeiten sie bei ihren Fragestellungen haben, und unterstütze sie bei der Datenbeschaffung, -verarbeitung und -verwaltung. Ich koordiniere die GIS-Projekte der Eawag, weiss, wer was macht, und kann die Leute intern zusammenbringen. Zum anderen bin ich die Ansprechpartnerin nach aussen und tausche mich mit den GIS-Verantwortlichen anderer Forschungseinrichtungen aus. Zudem verfolge ich die technologischen Veränderungen und kenne die neuen Software-Versionen oder Werkzeuge.

**Was sind die aktuellen Trends?** Zurzeit liegt der Fokus stark auf dem Internet und auf mobilen Anwendungen für die breite Masse, etwa wie sich Karten auf Smartphones darstellen lassen. Für die Eawag sind in diesem Zusammenhang die Darstellungsmöglichkeiten im Internet interessant. Wir haben bereits ein paar solche Anwendungen entwickelt. So haben wir seit kurzem unter [www.eawag.ch/webkarte-restwasser](http://www.eawag.ch/webkarte-restwasser) die Restwasserkarten für die Schweiz aufgeschaltet. Eine Webapplikation zur Grundwasserbelastung mit Arsen und Fluorid ist demnächst fertig (siehe Seite 6).



# Online-GIS für geogene Verunreinigungen

Natürlich auftretende geogene Verunreinigungen des Grundwassers durch Arsen und Fluorid bedrohen die Gesundheit von Millionen von Menschen. Eine internet-basierte GIS-Applikation soll die Problematik einer breiteren Öffentlichkeit bewusst machen und Entscheidungsträgerinnen und -trägern helfen, Risikogebiete besser lokalisieren zu können.

Die Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser zu gewährleisten und zu verbessern, ist eine globale Herausforderung und mit enormen Anstrengungen verbunden. Gemäss jüngsten Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation sterben weltweit jährlich mehr Menschen an den Konsequenzen einer mangelhaften Wasserversorgung als durch alle Formen von Gewalt [1]. Die Trinkwasserversorgung hat zudem einen Einfluss auf das Wirtschaftswachstum vieler Entwicklungsländer und kostet zum Beispiel die Länder im Mittleren Osten und in Nordafrika zwischen 0,5 und 2,5 Prozent ihres Bruttoinlandprodukts pro Jahr [2]. Eines der Millennium-Entwicklungsziele der UNO zur Armutsbekämpfung, Friedensförderung und für den Umweltschutz lautet dementsprechend, bis 2015 den Anteil der Weltbevölkerung ohne nachhaltigen Zugang zu sauberem Trinkwasser und zu einer sanitären Grundversorgung zu halbieren.

**Geogene Verunreinigungen sind ein Gesundheitsrisiko.** In vielen Regionen ist Grundwasser eine unentbehrliche Quelle für Trinkwasser, da es im Gegensatz zu vielen Oberflächengewässern frei von Krankheitserregern ist. Hingegen können Grundwässer durch natürlich auftretende geogene Verunreinigungen kontaminiert sein, die aus Gestein und Sediment ausgewaschen werden. Solche geogene Substanzen stellen ein Gesundheitsrisiko dar. So sind Schätzungen zufolge alleine von Verunreinigungen durch Arsen und Fluorid weltweit rund 200 Millionen Menschen betroffen. Das entspricht in etwa 5 Prozent aller Grundwasserkonsumentinnen und -konsumenten.

Eine hohe chronische Belastung mit arsenkontaminiertem Trinkwasser kann zu einer Reihe von gesundheitlichen Problemen führen – von Verfärbungen und übermässiger Verhornung der Haut über Herz-Kreislauf-Erkrankungen bis zu Krebs. Zu viel Fluorid im Trinkwasser führt zu Wachstumsstörungen, Zahnschäden und Knochendeformationen. Laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind Arsenkonzentrationen von weniger als 10 Mikrogramm pro Liter unbedenklich; beim Fluorid liegt der Grenzwert bei 1,5 Milligramm pro Liter.

Grundwässer mit hohen Arsengehalten finden sich weltweit. Die ersten Fälle chronischer Arsenvergiftung wurden in Taiwan,

Chile, Argentinien und Mexiko bekannt. Regionen mit kritischen Arsenkonzentrationen im Grundwasser kommen weit verbreitet in China, Nepal, Kambodscha, Vietnam, Myanmar oder auf der indonesischen Insel Sumatra vor. In den Deltaregionen des Bengalischen Tieflandes Indiens und Bangladeschs leiden aber am meisten Menschen an verseuchtem Grundwasser [3].

Der Ostafrikanische Grabenbruch von Eritrea bis Malawi ist eine der gut dokumentierten Regionen mit hohen Fluoridkonzentrationen. Auch in Indien, China, Pakistan, Senegal, Südafrika, Argentinien und Mexiko ist das Grundwasser teilweise stark mit Fluorid kontaminiert [4].

Vor dem Hintergrund eines steigenden Grundwasserbedarfs für Trinkwasser, aber auch für die Bewässerung, ist eine zuverlässige Lokalisierung sauberen Grundwassers dringlich. Hier setzt das interdisziplinäre Forschungsprojekt Water Resource



Manouchehr Amini, GIS-Modellierer, arbeitet in der Abteilung Systemanalyse und Modellierung und ist verantwortlich für die Entwicklung von webbasierten GIS-Applikationen.

Das Trinkwasser aus Grundwasserbrunnen ist in Kambodscha vielerorts mit hohen Arsengehalten belastet.



Mickey Sampson, Resource Development International, Kambodscha

Quality der Eawag an. Ziel dabei ist es, auf regionaler und lokaler Ebene anwendbare Werkzeuge und Massnahmen zu entwickeln, mit denen sich eine sicherere Grundwassernutzung realisieren lässt und das Problem von Arsen- und Fluoridkontaminationen entschärfen hilft (Abb. 1).

Im ersten Fall erarbeiten wir für Regierungen und international agierende Nichtregierungsorganisationen Übersichten der räumlichen Verbreitung der geogenen Verunreinigungen in den entsprechenden Ländern und entwickeln anschliessend grundlegende Handlungsstrategien, wie sich die Kontaminationsrisiken vermindern lassen. Im zweiten Fall arbeiten wir direkt mit Gemeindebehörden und lokal tätigen NGOs zusammen und suchen Lösungen für die spezifischen kleinräumigen Probleme, zum Beispiel wie mit einer kontaminierten Wasserversorgung in einer Stadt oder in einem Dorf zu verfahren ist. Hier stellen wir Informationen und Know-how zur Verfügung und unterstützen die lokalen Akteure bei der Erarbeitung kostengünstiger und breit abgestützter Massnahmen.

**Modellrechnungen schliessen Datenlücken.** Ein Teilprojekt befasst sich mit der Entwicklung einer internetbasierten GIS-Applikation für globale und regionale Risikokarten. Dank umfangreicher Monitoring-Programme zur Erfassung der Wasserqualität wie zum Beispiel dem National Water-Quality Assessment Program (<http://water.usgs.gov/nawqa>) in den USA, dem Geochemical Baseline Mapping Programme ([www.gsf.fi/foregs/geochem](http://www.gsf.fi/foregs/geochem)) in Europa oder dem International Groundwater Resources Assessment Centre ([www.igrac.nl](http://www.igrac.nl)) sind heutzutage von geogenen Verunreinigungen betroffene Grundwässer grossenteils bekannt. Doch gerade in Drittweltländern, für die solches Wissen besonders wichtig wäre, fehlen entsprechend systematische Erhebungen mangels institutioneller und finanzieller Unterstützung oft.

Die zunehmende Verfügbarkeit räumlich-geografischer Daten, zum Beispiel über die Geologie, das Klima, die Bodeneigenschaften oder die Landnutzung einer Gegend, sowie die heute möglichen Rechnerleistungen, um solche Informationen zu verarbeiten, haben die Umweltwissenschaften in den letzten Jahren revolu-

Abb. 1: Das Forschungsprojekt Water Resource Quality beruht auf einem regionalen und lokalen Ansatz. Im einen Fall steht die Beurteilung der Grundwasserressourcen im Zentrum, im anderen sind es konkrete Massnahmen zur Verminderung der Arsen- und Fluoridproblematik. Weitere Informationen unter [www.wr.q.eawag.ch](http://www.wr.q.eawag.ch).



Eine Arsenvergiftung führt zu übermässiger Verhornung der Haut und kann sogar Krebs verursachen.

tioniert. Obwohl sich damit kein detailliertes lokales Monitoring ersetzen lässt, kann man mithilfe solcher Informationen meist doch Abschätzungen über die geochemischen Bedingungen einer Region machen und damit Grundwasserleiter identifizieren, die mit hoher Wahrscheinlichkeit mit geogenen Verunreinigungen kontaminiert sind. So hängt beispielsweise die Wasserlöslichkeit von Arsen und damit dessen Austrag ins Grundwasser von den chemischen Reduktionsbedingungen ab, die wiederum von der Geologie, vom Klima, von der Bodendrainage und der Topografie bestimmt werden. Die Fluoridkonzentration im Grundwasser korrespondiert dagegen mit dem Fluoridgehalt des umliegenden Gesteins (zum Beispiel Granit, Basalt, Syenit oder Schiefer) beziehungsweise mit dessen Bestandteilen (zum Beispiel Apatit, Fluorit, Biotit oder Topas).

Anhand solcher Informationen konnten wir mithilfe von Modellrechnungen für Arsen und Fluorid globale Vorhersagen für erhöhte Grundwasserkontaminationen machen [3, 4]. Basierend auf Konzentrationsmessungen im Grundwasser und digital verfügbaren räumlich-geografischen Informationen wie zum Beispiel über die Oberflächengeologie, Bodenbeschaffenheit, Höhe, Landnutzung und Bewirtschaftungsart erstellten wir für Arsen zudem

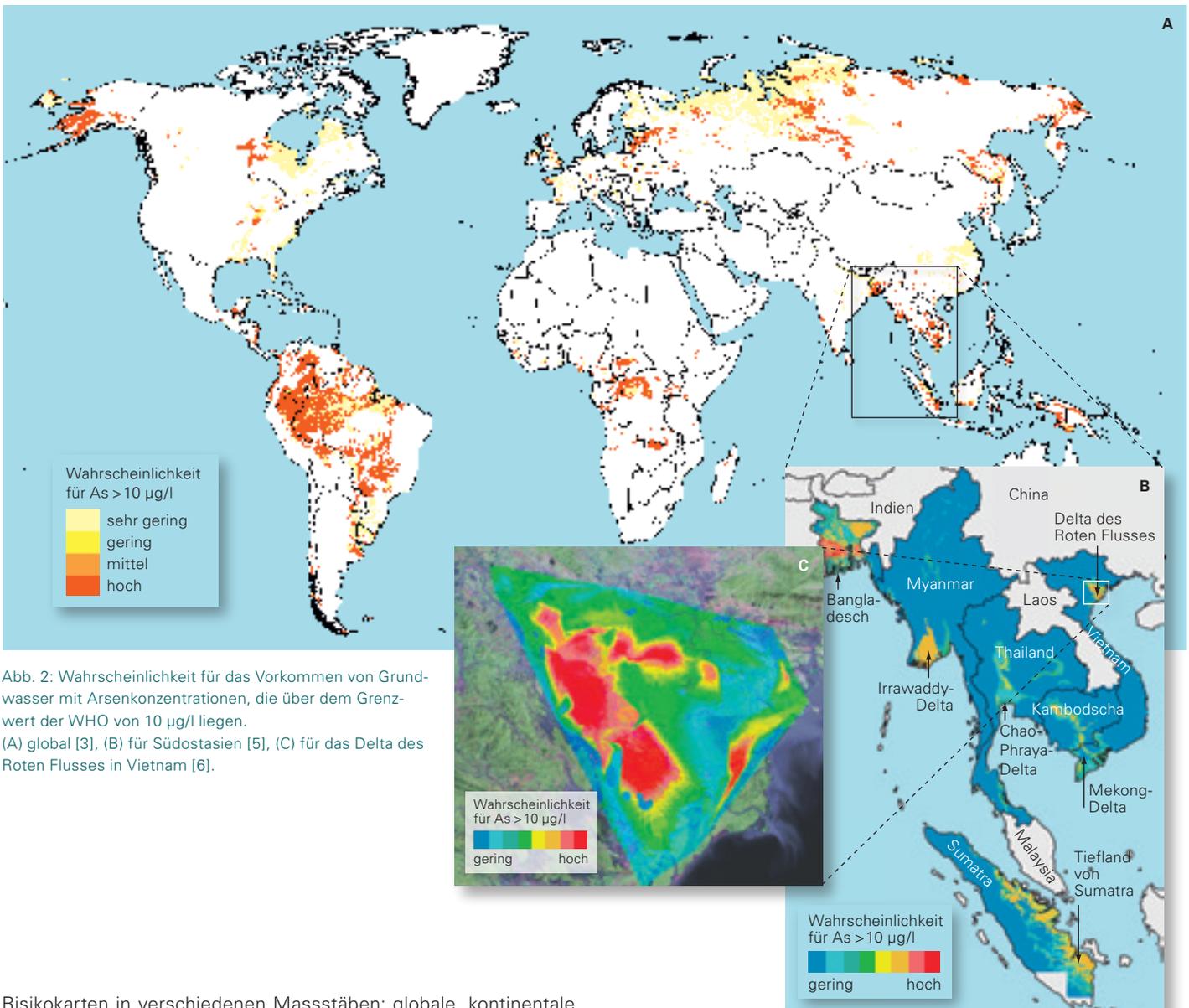


Abb. 2: Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Grundwasser mit Arsenkonzentrationen, die über dem Grenzwert der WHO von 10 µg/l liegen. (A) global [3], (B) für Südostasien [5], (C) für das Delta des Roten Flusses in Vietnam [6].

Risikokarten in verschiedenen Massstäben: globale, kontinentale für Südostasien und regionale für das Delta des Roten Flusses in Vietnam (Abb. 2).

**Daten öffentlich zugänglich machen.** Geoinformationssysteme sind mittlerweile nicht nur leistungsstarke und breit akzeptierte integrative Werkzeuge für die Speicherung, Bearbeitung, Analyse und Visualisierung räumlich-geografischer Daten, sondern werden unter der Bezeichnung webbasiertes GIS oder Online-GIS je länger je mehr auch in Internetanwendungen einbezogen (siehe Interview Seite 4). Solche Anwendungsmöglichkeiten öffnen auch für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vielfältige Betätigungsfelder. So erleichtern webbasierte Geoinformationssysteme die weitere Erforschung räumlich-geografischer Informationen. Sie ermöglichen aber ebenso breiten Gesellschaftsschichten den Zugang zu Geodaten und deren Verbreitung. Die Entwicklung kostenlos verfügbarer Open-Source-Software machen entsprechende Anwendungen zusätzlich interessant.

GeoServer (<http://geoserver.org>) ist ein Beispiel eines solchen frei benutzbaren GIS-Dienstes, mit dem sich Geodaten verarbeiten lassen. Mit diesem Open-Source-Programm kann man räumlich-geografische Informationen unterschiedlichster Datenformate aufbereiten und es bietet verschiedene Dienste, mit denen Benutzerinnen und Benutzer auf Geodatenbanken zugreifen und räumlich-geografische Informationen erkunden können. Ein weiteres Beispiel für ein solches Open-Source-GIS ist Open Layers (<http://openlayers.org>).

Um unsere Daten zu den geogenen Verunreinigungen von Grundwasser sowie unser diesbezügliches Fachwissen und Modellierungs-Know-how einem breiteren Publikum zur Verfügung zu stellen, haben wir auf der Basis solcher frei erhältlicher Software ebenfalls eine webbasierte GIS-Applikation entwickelt

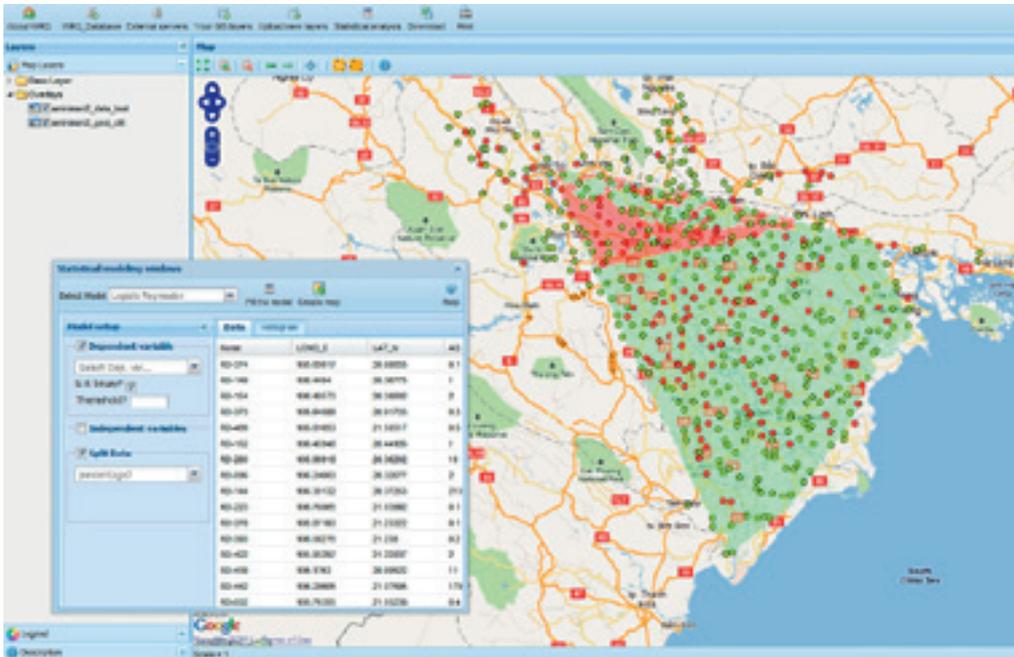


Abb. 3: Die Benutzeroberfläche des webbasierten GIS in einer Vorversion.

(Abb. 3). Dazu bauten wir einen lokalen Open-Source-Server auf, der die entsprechenden Informationen und Modellierungen bereitstellt. Benutzerinnen und Benutzer können dort die verfügbaren Geoinformationen beliebig visualisieren und erkunden. Daneben lassen sich damit Daten von anderen GIS-Diensten wie zum Beispiel dem globalen Geodatenportal der UNO (<http://geodata.grid.unep.ch/webservices>) beschaffen.

Mit unserem webbasierten GIS wollen wir die Problematik geogener Grundwasserverschmutzungen in informativer und attraktiver Art und Weise einer breiteren Öffentlichkeit bekannt machen. Zudem soll es Informationen für Gegenden liefern, in denen kein Grundwasser-Monitoring existiert, und damit Entscheidungsträgerinnen und -trägern, globalen Organisationen, Regierungen und NGOs helfen, sichere beziehungsweise problematische Grundwasserquellen zu lokalisieren.

**Kontinuierliche Verbesserungen.** Das Online-GIS wird 2012 aufgeschaltet werden und ab dann unter <http://webgis.wrq.eawag.ch> allgemein verfügbar sein. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass sich die Karten am Anfang noch nicht für detaillierte lokale Beurteilungen eignen. Denn ihre Genauigkeit ist einerseits durch die Verfügbarkeit von Messdaten und andererseits durch die räumliche Auflösung der verfügbaren Daten limitiert. Die Qualität der globalen Modellrechnungen lässt sich jedoch verbessern, wie unsere regionalen Modellierungen zeigen [5,6]. Benutzerinnen und Benutzer haben daher die Möglichkeit, selber Daten einzuspeisen und mithilfe statistischer Analysen und unserer Unterstützung eigene regionale Risikokarten zu generieren.

Mit der Verfügbarkeit von immer mehr und genaueren Daten wird sich diese webbasierte GIS-Anwendung in den nächs-

ten Jahren rasch weiterentwickeln. Verbesserungen unseres Verständnisses der hydrogeochemischen Prozesse und optimierte Modellierungen werden es uns in Zukunft ermöglichen, von geogenen Verunreinigungen betroffene Grundwasserleiter noch präziser lokalisieren zu können. ○ ○ ○

- [1] Weltgesundheitsorganisation WHO (2002): World health report – Reducing risks, promoting healthy life. Genf, Schweiz.
- [2] Weltbank (2007): Making the most of scarcity: Accountability for better water management results in the Middle East and North Africa. Washington DC.
- [3] Amini M., Abbaspour K.C., Berg M., Winkel L., Hug S.J., Hoehn E., Yang H., Johnson C.A. (2008): Statistical modeling of global geogenic arsenic contamination in groundwater. *Environmental Science & Technology* 42, 3669–3675.
- [4] Amini M., Mueller K., Abbaspour K.C., Rosenberg T., Afyuni M., Moller K.N., Sarr M., Johnson C.A. (2008): Statistical modeling of global geogenic fluoride contamination in groundwater. *Environmental Science & Technology* 42, 3662–3668.
- [5] Winkel L., Berg M., Amini M., Hug S.J., Johnson C.A. (2008): Predicting groundwater arsenic contamination in Southeast Asia from surface parameters. *Nature Geoscience* 1, 536–542.
- [6] Winkel L., Trang P.T.K., Lan V.M., Stengel C., Amini M., Ha N.T., Viet P.H., Berg M. (2011): Arsenic pollution of groundwater in Vietnam exacerbated by deep aquifer exploitation for more than a century. *PNAS* 108, 1246–1251.

# Klimawandel in der subsaharischen Landwirtschaft



Christian Folberth hat einen Masterabschluss in Umweltplanung und Ingenieurökologie und ist Doktorand der Abteilung Systemanalyse und Modellierung.

Die Veränderungen des globalen Klimas lassen grosse Auswirkungen auf die Landwirtschaft erwarten. So wird das subsaharische Afrika besonders von Ernteeinbussen betroffen sein. Mittels GIS-Modellen untersucht die Eawag, wie sich der Klimawandel dort auf die landwirtschaftliche Produktion auswirkt und wie die Bauern ihre Produktion generell und unter veränderten Klimabedingungen erhöhen können.

Die landwirtschaftliche Produktivität beim Anbau von Grundnahrungsmitteln wie Mais, Weizen, Hirse und Reis im subsaharischen Afrika gehört zu den niedrigsten weltweit. Neben Extremereignissen wie Dürren, flutartigen Niederschlägen oder massenhaftem Insektenbefall ist vor allem der geringe Nährstoffgehalt der ausgelaugten Böden ein Problem. Ebenso werden oft Pflanzensorten angebaut, die nicht optimal an die Umweltbedingungen angepasst sind. Viele Kleinbauern ernten überdies neben der Frucht die gesamte Pflanze, um sie als Tierfutter, Brenn- oder Baumaterial zu verwenden, und entziehen so dem Boden Nährstoffe. Mineralische Düngemittel können sie sich meist nicht leisten. Im Durchschnitt beträgt der Düngerverbrauch in dieser Region weniger als 5 Prozent von jenem der Industrieländer. Weniger als 4 Prozent der Fläche werden bewässert.

**Regional angepasste Lösungen suchen.** Mehrere Studien haben in den letzten Jahren Abschätzungen des Einflusses des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktivität im sub-

Feldarbeit auf kargem Boden in Eritrea: Viele der landwirtschaftlich genutzten Böden im subsaharischen Afrika sind ausgelaugt. Die wenigsten Kleinbauern können sich mineralischen Dünger leisten.



Stefan Boness/Ipcon

saharischen Afrika auf Basis statistischer Analysen oder mittels Pflanzenwachstumsmodellen durchgeführt und zeichnen meist ein düsteres Bild. In einigen Gebieten ist demnach mit Ertragsverlusten von mehr als 50 Prozent bis zum Ende des Jahrhunderts zu rechnen. Andererseits entwickeln lokale Initianten erfolgreich Methoden, um die landwirtschaftliche Produktion zu erhöhen und gleichzeitig den negativen Folgen des sich ändernden Klimas entgegenzuwirken. Auch die Wissenschaft erforscht in zahlreichen Feldstudien mögliche Lösungsansätze.

In unserem laufenden Projekt beispielsweise verwenden wir ein räumliches Pflanzenwachstumsmodell, um die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die subsaharische Landwirtschaft abzuschätzen und die Effektivität verschiedener Methoden zur Steigerung der Produktivität zu untersuchen und zu vergleichen. Dabei geht es nicht um das Finden einer allgemein gültigen Lösung für den gesamten Subkontinent, sondern um eine räumlich differenzierte Untersuchung, in welcher Region welche Methoden am vielversprechendsten sind.

Für unsere Modellrechnungen benutzen wir die Software Environmental Policy Integrated Climate (Epic), die zu den am besten etablierten Programmen zur Simulation landwirtschaftlicher Systeme gehört [1]. Um Epic für Rasterdarstellungen verwendbar zu machen, wurde es im Rahmen eines früheren Eawag-Projekts mit einem Geoinformationssystem zum GIS-basierten Epic (Gepic) ausgebaut. Damit die Eingangsdaten ebenfalls in einem Rasterformat vorliegen, unterteilten wir das Untersuchungsgebiet in gleichmässige Quadrate. Jedes Quadrat stellt dabei eine einzelne landwirtschaftliche Einheit mit individuellem Datensatz dar, bestehend unter anderem aus Klima, Bodentyp, Hangneigung, bewässertem Anteil der Fläche und Düngereinsatz. Die Palette der Eingangsdaten lässt sich beliebig erweitern. Auch die Auflösung kann je nach Genauigkeit der Daten verändert werden; momentan liegt sie bei 50 mal 50 Kilometern. Zusätzlich speisen wir Managementmassnahmen für die jeweiligen Feldfrüchte in die Modellierung ein [2].

Die Software ermittelt aus diesen Daten Biomasse und Ertrag der Frucht, Gesamtverdunstung (Evapotranspiration), Nährstoffumsetzung, Erosion, Bodenwasserhaushalt und zahlreiche

weitere Variablen. Diese können im GIS direkt evaluiert oder mit weiteren Rasterdatensets wie Bevölkerungszahlen, etwa mit der Nahrungsmittelverfügbarkeit pro Kopf, kombiniert werden.

**Sozioökonomische Faktoren haben Einfluss.** Auch sozio-ökonomische Faktoren – vor allem der Gesundheitszustand der Bevölkerung – spielen für solche Abschätzungen eine wichtige Rolle. So haben hohe HIV-Infektionsraten von bis zu 30 Prozent (Botswana) sowie immer noch verbreitet auftretende Cholera- und Malaria-Epidemien neben der menschlichen Tragödie einen massiven Verlust erfahrener Landwirte und landwirtschaftlicher Arbeiter zur Folge. Von Krankheiten betroffene Kleinbauern müssen zudem häufig ihre ohnehin knappen Produktionsmittel wie Geräte und Vieh veräussern, um sich medizinische Behandlungen leisten zu können. Zusätzlich zwingen anhaltende bewaffnete Konflikte die Landbevölkerung immer wieder zur Flucht.

Da viele dieser sehr unterschiedlichen Faktoren lokal ausgeprägt und Daten kaum verfügbar sind, lassen sie sich meist schlecht in Modellrechnungen integrieren. Es ist jedoch wichtig, sich ihrer zu vergegenwärtigen, da sie die Vergleichbarkeit der Modellierungsergebnisse mit offiziellen Statistiken einschränken. Gegenüber diesen um 20 bis 40 Prozent zu hohe Erträge sind nicht unüblich. Wir müssen uns in unserem Modell ebenfalls auf die physikalischen Umweltbedingungen (Boden, Klima und Topografie) sowie die landwirtschaftliche Praxis (Sorten, Management, Dünge- und Bewässerungsintensität) beschränken.

**Abschätzung der Bodendegradation.** Boden- und Klimadaten, die wir in unserem Modell verwenden, existieren in globalen Datensätzen, die von anderen Institutionen bereitgestellt werden. Die Pflanzenwachstumsparameter basieren auf Feldstudien von Kollegen, die Epic vor Ort kalibriert haben [3, 4]. Für die Aussattermine entwickelten wir eine Methode, um das regional optimale Datum für jedes Jahr des untersuchten Zeitraumes zu ermitteln.

Ein wichtiger, in früheren Studien meist vernachlässigter Einflussfaktor, um Ernteerträge abschätzen zu können, ist die

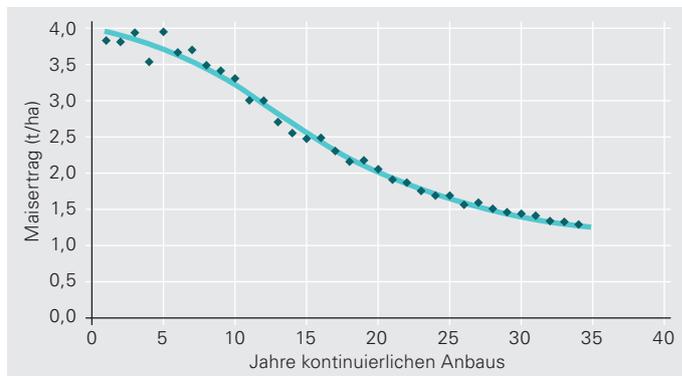


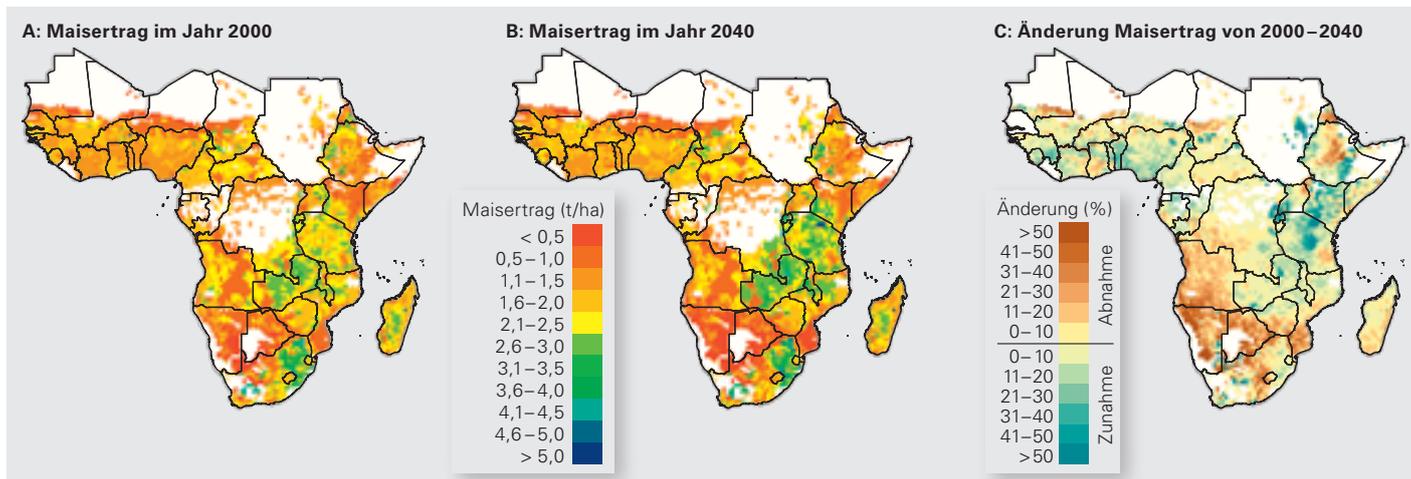
Abb. 1: Wie das Beispiel Mais zeigt, nehmen die Erträge während eines über Jahre kontinuierlichen Anbaus ab, wenn gleichzeitig die Biomasse nach der Ernte vom Feld entfernt und keine Nährstoffe zugeführt werden. In unserem Modell rechnen wir mit den Erträgen nach 20 Jahren [5].

Degradation der Böden. Die zur Verfügung stehenden Bodendaten beziehen sich in der Regel auf natürliche Ökosysteme und nicht auf die meist ausgelaugten landwirtschaftlichen Flächen. Um realistischere Angaben zu bekommen, ermittelten wir daher mithilfe einer Modellrechnung die Erträge der verschiedenen Nutzpflanzen, die nach 20 Jahren kontinuierlichem Anbau resultieren, wenn jeweils 85 Prozent der Biomasse vom Feld abgeführt werden (Abb. 1).

Obwohl dieses Szenario die realen Bedingungen nur beschränkt wiedergibt, stimmen die simulierten Erträge mit den offiziellen Statistiken verhältnismässig gut überein. Eine tatsächliche Validierung kann jedoch erst erfolgen, wenn räumlich explizite Daten über die Bodendegradation verfügbar sind. An solchen Erhebungen arbeiten seit kurzem verschiedene internationale Projekte wie der Africa Soil Information Service.

**Der Klimawandel führt zu zunehmend negativen Effekten.** Auf der Grundlage all dieser Daten und zusätzlich von Klima-

Abb. 2: Simulierte Maiserträge im Jahr 2000 (A) und 2040 (B) sowie die prozentuale Änderung der Maiserträge für diesen Zeitraum (C).





J. Kosgei, University of Kwazulu-Natal

Mit kostengünstigen Massnahmen höhere Erträge erzielen: In einem Feldversuch in Südafrika wächst der Mais (links und rechts) dank zuverlässigerer Wasserversorgung durch In situ Rain Water Harvesting und eine Grauwasserbehandlung (vor allem Waschwasser) besser als ohne (Mitte).

modellen lässt sich mit dem Gepic-Simulationsprogramm der zu erwartende Einfluss des Klimawandels auf die Erträge von Kulturpflanzen abschätzen. Für Mais haben wir das für die Periode von 2000 bis 2040 bereits durchgeführt (Abb. 2).

Demnach sind Ertragsverluste innerhalb der nächsten Jahrzehnte vor allem im Süden des Kontinents (in Botswana, Namibia und Südafrika) sowie in Äthiopien und der Sahelzone zu erwarten. Es gibt jedoch auch Regionen, in denen mit Ertragssteigerungen zu rechnen ist, darunter weite Teile Westafrikas (Nigeria, Niger und Guinea) und Ostafrikas (Mosambik, Kenia und Somalia). Dies ist in erster Linie auf die höheren CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre (CO<sub>2</sub>-Düngung) und die prognostizierte lokale Zunahme von Niederschlägen zurückzuführen. In höheren Lagen kann zudem der erwartete Temperaturanstieg durchaus von Vorteil für das Pflanzenwachstum sein.

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf bis 2080, so sind höhere Erträge vor allem in der Mitte des Jahrhunderts zu erwarten, da dort der Temperaturanstieg noch moderat ist und die etwas höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration gleichzeitig die Produktion von mehr Biomasse erlaubt. Danach überwiegen jedoch in vielen Gegenden die negativen Effekte zu hoher Temperaturen und die Erträge nehmen im Schnitt wieder ab [6].

**Innovative Anbaumethoden sind gefragt.** Welche Möglichkeiten hat die kleinbäuerliche Landwirtschaft im subsaharischen Afrika, ihr Bewirtschaftungsregime an die sich verändernden klimatischen Bedingungen anzupassen und stabile oder sogar höhere Erträge zu erzielen?

Ein häufig propagierter Ansatz ist der einer grünen Revolution, wie sie die Industrieländer in den 1960er-Jahren erlebten. Eine solche sieht vornehmlich den Einsatz mineralischer Dünger, von Bewässerungsanlagen und ertragsreicheren Sorten vor. Allerdings liegen die Preise für Düngemittel im subsaharischen Afrika

beim Vier- bis Sechsfachen des Weltmarktpreises – dies vor allem aufgrund der hohen Transportpreise. Die lokale Produktion von Dünger ist marginal und hat wegen des hohen Energieverbrauchs mittelfristig nur geringes Entwicklungspotenzial.

Neben solch kostenintensiver Möglichkeiten existiert aber auch eine Vielzahl von günstigen Methoden. Mehrere Studien haben beispielsweise das so genannte In situ Rain Water Harvesting als vielversprechend eingestuft. Dabei handelt es sich um Massnahmen der Bodenbearbeitung, die eine bessere Infiltration des Wassers in den Boden ermöglichen. In Gegenden mit starken, unregelmässigen Niederschlägen lässt sich das Wasser hierdurch im Boden speichern und steht den Pflanzen in der Wachstumsperiode zur Verfügung, anstatt oberflächlich abzufließen. Damit können lokal Ertragssteigerungen um das Zwei- bis Vierfache erreicht werden. Vor allem erlaubt diese Technik aber, Niederschlagsschwankungen auszugleichen.

Hinsichtlich der Nährstoffzufuhr existieren ebenfalls günstige Alternativen. Stickstoff fixierende Leguminosen, zu denen auch lokale Bohnensorten (zum Beispiel *Sesbania sp.* oder *Vicia faba*) gehören, können in Fruchtfolge oder Kombination mit nährstoffintensiven Kulturen wie Mais angebaut werden. Auch Agroforstwirtschaft, in der beispielsweise eine Stickstoff fixierende Akazie (*Faidherbia albida*) als Schatten- und Nährstoffspenderin mit Feldfrüchten kombiniert wird, hat sich in Feldversuchen bewährt.

**Höhere Erträge durch Stickstoffdünger.** Die meisten dieser Managementmassnahmen lassen sich mit Gepic bewerten. Bislang haben wir jedoch vor allem die Auswirkungen der High-Input-Methoden (mineralischer Stickstoffdünger und Bewässerung) getestet, da sie eine Abschätzung des Ertragslimits erlauben und uns als Referenz dienen.

In einer Vorstudie haben wir für den Maisanbau aber bereits eine Auswahl an Managementmassnahmen untersucht (Abb. 3).

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den Simulationen für das momentane Klima, ist mit Water Harvesting keine nennbare Verbesserung zu sehen. Auch eine herkömmliche Bewässerung führt nur zu einer Ertragssteigerung von zirka 10 Prozent. Bei einer Zugabe von ausreichend Stickstoff ist hingegen eine dramatische Ertragssteigerung von mehr als 100 Prozent zu verzeichnen. Zusätzliches Water Harvesting hat auch hier kaum einen Effekt, zusätzliche Bewässerung führt jedoch nochmals zu einem markanten Anstieg. Mit ausreichender Stickstoff- und Wasserzufuhr liessen sich die Erträge im Schnitt also um mehr als das Zweifache steigern, wobei bezogen auf die gesamte Region der Nährstoffmangel prioritär angegangen werden muss.

Dass das in der Praxis bewährte Water Harvesting in den Simulationen nur einen geringen Effekt zeigt, kann verschiedene Gründe haben. Die Methode ist vor allem auf Feldern mit starker Hangneigung effektiv, da dort der Oberflächenabfluss ohne spezielle Bodenbearbeitung besonders hoch ist und somit für die Pflanzen wenig Wasser zur Verfügung steht. Bei unserer verhältnismässig groben Auflösung von 50 mal 50 Kilometer pro Rasterzelle passiert es jedoch häufig, dass sich die Neigung über das Gebiet hinweg ausgleicht. Zudem ist das Timing der Bodenbearbeitungsmassnahmen von hoher Bedeutung. Dies muss unter Umständen im Modell noch lokal angepasst werden.

Betrachtet man den Einfluss des Klimawandels auf das Szenario ohne Änderungen im Management, ist bis 2040 eine leichte Ertragszunahme zu erwarten, bis 2080 aber wieder eine Abnahme bis knapp über das Niveau von 2000. Dies trifft ebenso auf die Szenarien mit Water Harvesting und Bewässerung jeweils ohne Stickstoffzugabe zu. Bei den drei Szenarien mit ausreichender Stickstoffversorgung hingegen ist eine kontinuierliche Abnahme der Erträge zu erwarten. Doch auch die niedrigeren Erträge in 2040 und 2080 liegen noch deutlich über dem heutigen Stand.

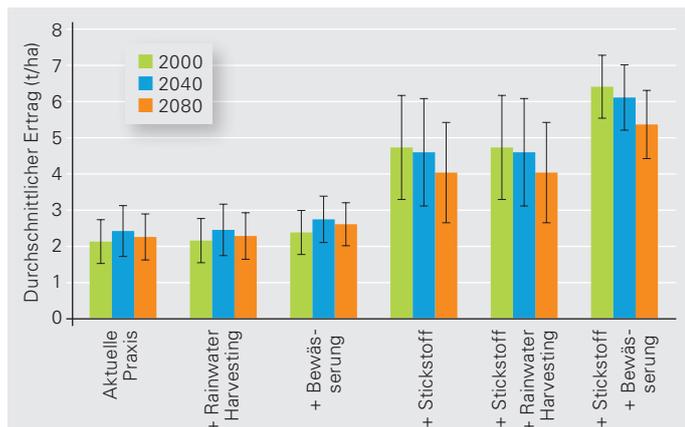
Man kann also festhalten, dass High-Input-Landwirtschaft sowohl heute als auch in Zukunft dazu dienen kann, höhere Erträge zu erzielen. Es ist jedoch zu erwarten, dass die Rentabilität in Zukunft sinken wird. Gleichzeitig ist bei ausreichender Bewässerung

teilweise ein hoher Anstieg des Wasserbedarfs zu erwarten. Dies trifft vor allem auf Madagaskar, die westafrikanische Küste um Liberia, den Golf von Guinea und Teile Zentralafrikas zu [7].

**Umfassendere und genauere Modelle.** Diese Vorstudie erlaubt nur eine grobe Einschätzung der zu erwartenden Einflüsse des Klimawandels auf die subsaharische Landwirtschaft. Wir werden daher die Anzahl der Klimamodelle und Emissionsszenarien erweitern, um eine möglichst grosse Bandbreite potenzieller Entwicklungen einzuschliessen und die Unsicherheit unserer Einschätzung zu begrenzen. Zudem vergrössern wir die Palette der untersuchten Kulturen um die eingangs erwähnten Weizen, Reis und Hirse sowie um Maniok und Sorghum. Dies ermöglicht neben der Abschätzung des Klimawandeleinflusses auch Einsichten, ob sich bestimmte Pflanzen besonders eignen, einen Beitrag zur künftigen Ernährungssicherung zu leisten.

Überdies müssen wir vor allem die kostengünstigen Managementmassnahmen noch vertieft analysieren. Dabei stehen vor allem Leguminosen, Bodenkonservierung und Agroforstwirtschaft im Mittelpunkt, die wir in Kooperationen mit vor Ort tätigen Organisationen und Forschungseinrichtungen untersuchen werden. Da die Wahl der Methoden meist in erster Linie eine ökonomische Entscheidung ist, sollen auch solche Aspekte in die weiteren Auswertungen fliessen. ○○○

Abb. 3: Durchschnittlicher Maisertrag im subsaharischen Afrika unter verschiedenen Managementmassnahmen und Klimaregimen. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.



- [1] Williams J.R., Jones C.A., Kiniry J.R., Spalton D.A. (1989): The EPIC crop growth model. *Transactions of the ASAE* 32, 497–511.
- [2] Liu J. (2009): A GIS-based tool for modelling large-scale crop-water relations. *Environmental Modelling & Software* 24, 411–422.
- [3] Adejuwon J. (2005): Assessing the suitability of the EPIC crop model for use in the study of impacts of climate variability climate change in West Africa. *Singapore Journal of Tropical Geography* 26, 44–60.
- [4] Gaiser T., de Barros I., Sereke F., Lange F.-M. (2010): Validation and reliability of the EPIC model to simulate maize production in small-holder farming systems in tropical sub-humid West Africa and semi-arid Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135, 318–327.
- [5] Folberth C., Gaiser T., Abbaspour K., Schulin R., Yang H. (eingereicht): Regionalization of a large-scale crop growth model for sub-Saharan Africa – model setup, evaluation, and estimation of crop yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- [6] Folberth C., Yang H., Abbaspour K., Schulin R. (2010): Modelling the impact of climate change on agricultural food production in sub-Saharan Africa and measures of mitigation. *Proceedings of the Tropentag Conference 2010, Zurich, Switzerland*.
- [7] Folberth C., Abbaspour K., Schulin R., Hong Y. (2011): Assessing the efficiency and sustainability of high- and low-cost fertilizer inputs for maize in sub-Saharan Africa by large-scale modeling. *17th International Sustainable Development Research Conference, Columbia University, New York*.

# Wo sind Herbizide besonders kritisch?

Pflanzenschutzmittel können in der ganzen Schweiz in den Gewässern nachgewiesen werden. Die Landwirtschaft baut herbizidintensive Kulturen regional aber in der Regel auf Gebieten mit geringem Risiko an. Das zeigt eine Abschätzung mithilfe einer GIS-gestützten Modellierung der Abflussprozesse im Mittelland. Damit lassen sich auch die kritischen Gebiete identifizieren.

Sind stoffliche Verunreinigungen der Oberflächengewässer die Ursache für das Fischsterben in verschiedensten Regionen der Schweiz? Kann auch in Zeiten des Klimawandels die wachsende Bevölkerung mit einer ausreichenden Menge an sauberem Wasser versorgt werden? Für diese und viele andere Fragestellungen ist und bleibt die Überwachung der Gewässerqualität in einem so dicht besiedelten Gebiet wie dem schweizerischen Mittelland, wo

auf engstem Raum unterschiedlichste Interessen – Wasserkraftwerke, Landwirtschaft, Hochwasserschutz, Lebensraum für Tiere und Pflanzen – aufeinandertreffen, ein dringendes Anliegen.

Zur Abschätzung der Gewässerqualität sind Kenntnisse sowohl der Verursacher von Gewässerverunreinigungen als auch der Prozesse, die zu einem Stoffeintrag in ein Gewässer führen, notwendig. Eine wichtige Belastungsquelle sind zum Beispiel



Rosi Siber, GIS-Spezialistin von der Abteilung Systemanalyse und Modellierung, leitet die Koordinationsstelle für Geoinformationssysteme und Geodaten an der Eawag.

Die Landwirtschaft setzt im Mittelland Herbizide meist auf Flächen ein, die sich aus der Sicht des Gewässerschutzes dafür eignen.



agenda/Michael Kottmeier

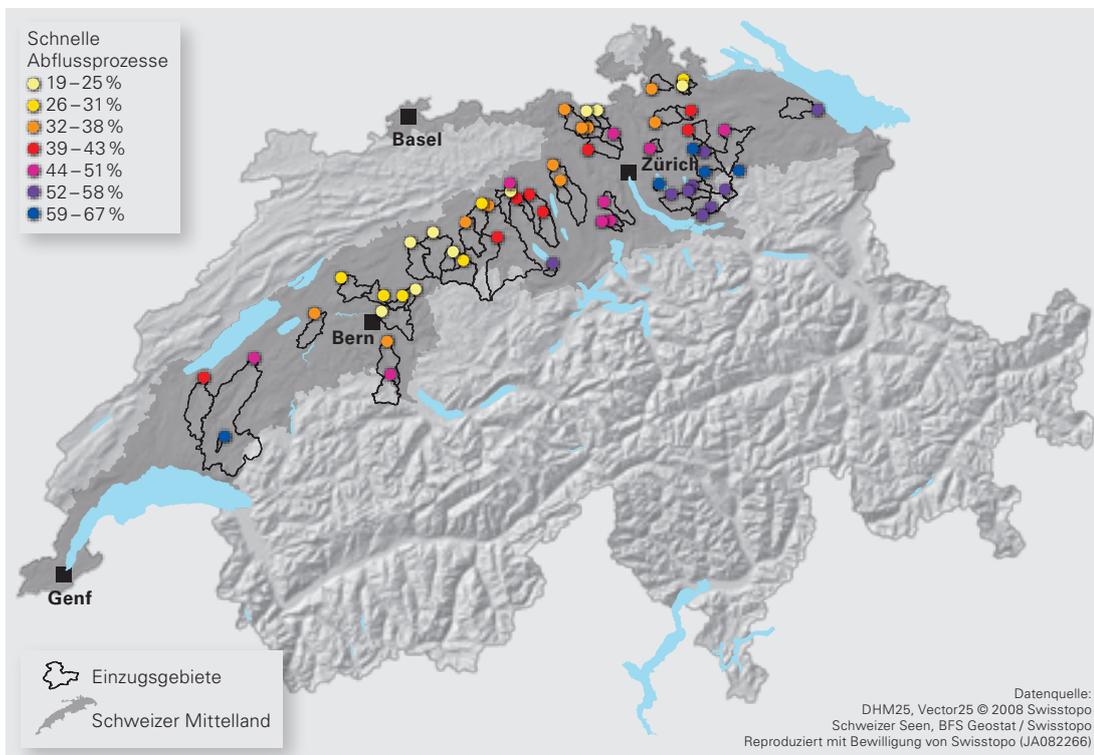


Abb. 1: Die nationalen Abflussstationen im Mittelland und ihre Einzugsgebiete. Die Farben kennzeichnen den Anteil der schnellen Abflussprozesse am gesamten Abfluss. Je höher dieser ist, desto höher sind auch die zu erwartenden Herbizidverluste.

Herbizide aus der Landwirtschaft. Diese werden vor allem diffus, das heisst nicht an einem Punkt, sondern räumlich verteilt, ins Gewässer eingetragen.

**Wenig Bodendaten für die Schweiz.** Mithilfe von Feldstudien versuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die Eintragsprozesse von Herbiziden zu verstehen und zu quantifizieren [1, 2]. Diese Untersuchungen sind allerdings sehr aufwändig und kostenintensiv. Um diffuse Einträge für grössere Gebiete abschätzen zu können, sind deshalb mathematische Modelle von Nutzen. In den letzten 20 Jahren wurden für den Pestizideintrag in die Gewässer bereits viele komplexe Modelle entwickelt [3]. Deren Anwendbarkeit scheitert in der Schweiz jedoch hauptsächlich aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit von adäquaten Boden- und Drainagedaten.

Christian Stamm von der Abteilung Umweltchemie der Eawag sowie Peter Reichert und ich von der Abteilung Systemanalyse und Modellierung haben daher ein einfacheres Modell entwickelt, das zwar die wichtigsten Prozesse eines Herbizideintrags erfasst, aber mit den zur Verfügung stehenden Daten in der Praxis trotzdem anwendbar ist [4]. Das Ziel dieser Modellrechnungen war dabei nicht, für Gewässer mögliche Eintragskonzentrationen vorherzusagen, sondern landwirtschaftlich genutzte Gebiete auf das Risiko eines Herbizidaustrags zu beurteilen, also jene Flächen zu identifizieren, aus denen zum Beispiel aufgrund ihrer Bodenbeschaffenheit Herbizide bevorzugt in die Gewässer gelangen. Der Gewässereintrag lässt sich abschätzen, indem man die Ergebnisse der Modellierung mit der räumlichen Verteilung des abge-

schätzten Herbizideinsatzes kombiniert. Für unsere Untersuchung beschränkten wir uns auf das Mittelland, weil sich die intensive Landwirtschaft mit entsprechend hohem Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln hauptsächlich auf diese Region konzentriert.

Obwohl die Prozesse, die zum Austrag von Herbiziden aus den Böden führen, sehr komplex sind, erfolgt der Eintrag in die Gewässer in Bezug auf die zeitliche Dynamik einem einfachen Muster: Die Pflanzenschutzmittel gelangen hauptsächlich direkt während des Ausbringens und kurz danach ins Wasser, wenn sie gleichzeitig durch Regen oder aufgrund von Bewässerung aus dem Boden gewaschen werden. Der Herbizidtransport von den Feldern in die Gewässer erfolgt dabei vorwiegend über so genannte schnelle Abflussprozesse wie beispielsweise den Oberflächenabfluss oder den Abfluss über Drainagen [5]. Somit ist vor allem das Ausmass dieser schnellen Abflussprozesse in einem Einzugsgebiet entscheidend dafür, wie stark die Chemikalien in ein Gewässer ausgetragen werden können.

**Höheres Risiko im Osten und in den Voralpen.** Für unsere Modellrechnung haben wir daher die Abschätzung der schnellen Abflussprozesse [6] als gute Näherungsgrösse für den Herbizidtransport verwendet [7]. Auskunft über die Abflussprozesse lieferten uns die Langzeitaufzeichnungen der nationalen Abflussstationen des Bundesamts für Umwelt (Abb. 1). Mithilfe eines GIS grenzten wir zudem auf der Grundlage des digitalen Höhenmodells und des Gewässernetzes der Schweiz die einzelnen Einzugsgebiete ab und ermittelten für diese die Kenngrössen, die für das Abflussverhalten relevant sind. Dazu gehören unter

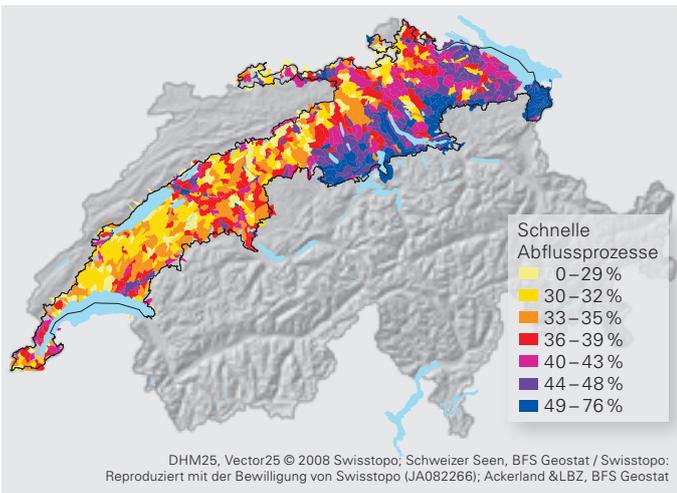


Abb. 2: Das Risiko für einen Herbizidaustrag, dargestellt als Anteil der schnellen Abflussprozesse am gesamten Abfluss. Ein hoher Prozentsatz entspricht einem hohen Risiko.

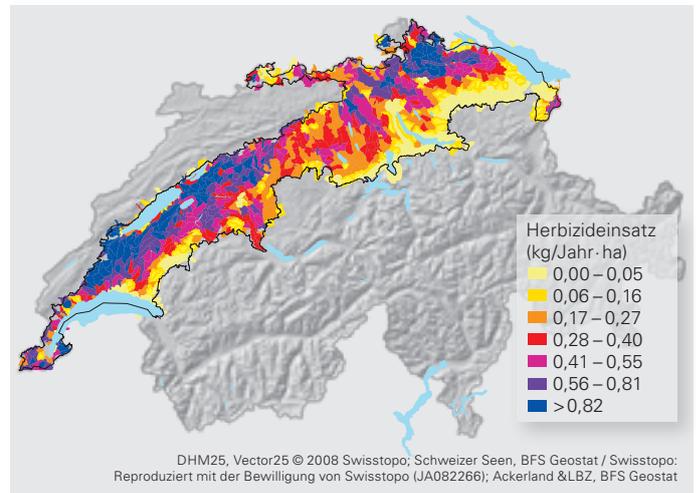


Abb. 3: Geschätzter Herbizideinsatz: Wie viel Pflanzenschutzmittel in den einzelnen Einzugsgebieten eingesetzt wird, hängt davon ab, welche Kulturen dort angebaut werden.

anderem Daten zur Topografie, zum Klima, zum Boden und zur Landnutzung (Tabelle).

Um flächendeckend Aussagen machen zu können, verwendeten wir für die Gebiete ohne Abflussmessungen ein Vorhersagemodell, das Klima- und Bodendaten sowie topografische

Kenngrossen, die für das Abflussverhalten der einzelnen Einzugsgebiete relevant sind.

		Datenquelle
<b>Topografie</b>	Hangneigung	Swisstopo: DHM 25 © 2004-8, reproduced with the permission of Swisstopo (JA 082266)
	Minimale Höhe	
	Maximale Höhe	
	Durchschnittliche Höhe	
	Gewässerdichte	Swisstopo: Vector25 © 2004-8, reproduced with the permission of Swisstopo (JA 082266)
<b>Klima</b>	Jährliche Niederschlagsmenge	HADES (2008): www.hades.unibe.ch
	Niederschlagshäufigkeit	Wüest M., Frei C., Altenhoff A., Hagen M., Litschi M., Schär C. (2008): A gridded hourly precipitation dataset for Switzerland using rain-gauge analysis and radar-based disaggregation. Intern. J. of Climatology
<b>Boden</b>	Durchlässigkeit	Bodeneignungskarte (BEK 200, BFS Geostat)
	Vernässung	
<b>Landnutzung</b>	Herbizidmenge pro Kultur	Keller L., Amaudruz M. (2004): Pflanzenschutzmittelverbrauchserhebung der Jahre 1997–2003 in den Einzugsgebieten Greifensee, Murtensee, Baldeggersee. LBL, Lindau, SRVA, Lausanne
	Gebiete mit Ackerland	Bundesamt für Statistik (2004): Ackerland, ackerfähige Böden, Dokumentation. BFS Geostat, Neuchâtel
	Kulturarten	Bundesamt für Statistik (2002): Landwirtschaftliche Betriebszählung / LBZ. BFS Geostat, Neuchâtel

Parameter einbezieht. Um herauszufinden, welche Faktoren einen grossen Einfluss auf das Ausmass der schnellen Abflussprozesse haben, führten wir mit den Daten der Abflussstationen und den Kenngrössen eine statistische Auswertung (Regressionsanalyse) durch. Demnach sind es vor allem die drei Kenngrössen Bodendurchlässigkeit, Gewässerdichte (Verhältnis der Gesamtlänge der Wasserläufe zur Fläche des Einzugsgebietes) und Niederschlag, welche die Abflussprozesse besonders stark prägen. Mit einem Abflussmodell alleine aus der Kombination von Bodendurchlässigkeit und Gewässerdichte konnten wir das Ausmass der schnellen Abflussprozesse zu 62 Prozent erklären.

Mithilfe dieses Modells liess sich nun auch das Abflussverhalten für die Einzugsgebiete ohne Daten voraussagen und zusammen mit den Einzugsgebieten mit Daten im GIS visualisieren. Diese Gesamtsicht über das Mittelland zeigt für alle Flächen den Anteil der schnellen Abflussprozesse am Gesamtabfluss und damit das Risiko eines Herbizidaustrags auf. Demzufolge nimmt dieses Risiko von Westen nach Osten sowie gegen die Voralpen und Alpen hin zu (Abb. 2).

**Höherer Herbizideinsatz im Nordosten.** Herbizide kommen in der Landwirtschaft je nach angebaute Kulturart in unterschiedlichem Mass zum Einsatz [8]. Parzellengenaue aktuelle Angaben zum Anbau einer Kulturart sind in der Schweiz allerdings nicht vorhanden, jedoch lag ein Rasterdatensatz der ackerfähigen Böden vor. Zusammen mit der aktuellen Anbaustatistik des Bundesamts für Statistik konnten wir daraus für die Einzugsgebiete des Mittellandes abschätzen, wie viel Pflanzenschutzmittel eingesetzt wird, und dies wiederum im GIS darstellen.

Die Verbreitung der verschiedenen Kulturen im Mittelland ist sehr unterschiedlich. So sind Getreide und Mais mehr oder weniger gleichmässig über das gesamte Gebiet verteilt – sie werden überall dort angebaut, wo Ackerbau möglich ist. Dagegen ist der Anbau von Kartoffeln, Zuckerrüben und Gemüse auf bestimmte Gebiete konzentriert. Dass diese Kulturen höhere Mengen an

Pflanzenschutzmitteln benötigen, spiegelt sich in der Verteilung des Herbizideinsatzes. Dieser ist beispielsweise im Nordosten (Zürcher Weinland und Thurtal) sowie im Seeland besonders hoch (Abb. 3).

Vergleicht man den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln mit dem Risiko für einen Austrag, ist augenfällig, dass in vielen Gebieten, etwa im Westen und Nordosten, ein hoher Einsatz mit einem geringen Risiko einhergeht. Mit anderen Worten: Intensive Landwirtschaft wird im Mittelland meist auf Flächen betrieben, die sich – aus der Perspektive des Gewässerschutzes – auch für einen hohen Herbizideinsatz eignen.

**Flusstäler sind oft kritische Gebiete.** Dieser Vergleich zeigt jedoch auch Ausnahmen: Flächen, bei denen ein hoher Herbizidverbrauch und ein grosses Austragsrisiko zusammenfallen. Das sind die kritischen Gebiete, für die der Bedarf weiterer Massnahmen abzuklären ist. Diese Abweichungen vom allgemeinen Trend manifestierten sich vor allem bei weiteren Analysen mit einer höheren Auflösung. Oft liegen die Flächen in den Flusstälern.

Auch wenn in diesem Fall weitere Untersuchungen notwendig sind, hilft eine Modellierung auf der Basis der schnellen Abflussprozesse, besonders gefährdete Gebiete zu identifizieren, die gegebenenfalls sogar von einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ausgeschlossen werden sollten. Solche Modelle eignen sich deshalb für ein gezieltes Monitoring und können einen wichtigen Beitrag leisten, um die Gewässerqualität und die Qualität von Oberflächengewässern als Lebensraum für Pflanzen und Tiere zu verbessern.

Für eine präzisere Evaluation wäre eine bessere Datenlage trotz allem wünschenswert. Aus Untersuchungen über die Eintragspfade von Herbiziden in die Gewässer geht klar hervor, dass die Bodeneigenschaften einen wichtigen Faktor darstellen [9]. Detaillierte Bodendaten liegen für die Schweiz jedoch nicht flächendeckend vor. Da für einen längeren Zeitraum nur wenige Herbizidmessungen vorliegen, war es zudem relativ schwierig, das Modell mit echten Daten zu überprüfen. So standen beispielsweise nur drei Datensätze zu Atrazin zur Verfügung. Diese stimmten allerdings sehr gut mit den Ergebnissen des Modells überein – was wiederum unterstreicht, dass die schnellen Abflussprozesse als Näherungsgrösse für die Erhebung diffuser Herbizidverluste grundsätzlich geeignet sind. Obwohl sich unser Modellierungsverfahren nicht direkt übertragen lässt, zeigt es doch einen Weg auf, um auch für andere Regionen als das Schweizer Mittelland relativ einfache und praktikable Modelle zu erstellen. ○ ○ ○

## Gewässerinformationssystem Schweiz

Mit dem Gewässerinformationssystem Schweiz, kurz Gewiss, hat das Bundesamt für Umwelt im Internet eine GIS-Plattform aufgeschaltet, die fachübergreifende Informationen und Übersichten rund ums Thema Schweizer Gewässer zur Verfügung stellt. Das Portal soll vernetzte Auswertungen und Datenlieferungen an nationale und internationale Organisationen und Fachstellen erleichtern, den Vollzug von Gesetzen auf Bundesebene unterstützen sowie die Öffentlichkeit informieren. Es beruht auf konsolidierten, statistischen und publizierten Datenbeständen mit schweizweiter Ausdehnung und bietet verschiedene einfache Funktionen zum Anzeigen, Abfragen und Suchen von Objekten. (aj)

[www.gewiss.ch](http://www.gewiss.ch)

- [1] Schmocker-Fackel P., Näf F., Scherrer S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. *Hydrology and Earth System Sciences* 11 (2), 891–906.
- [2] Gomides Freitas L., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R., Stamm C. (2008): Source area effects on herbicide losses to surface waters – a case study in the Swiss Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128, 177–184.
- [3] Bach M., Huber A., Frede H.G. (2001): Input pathways and river load of pesticides in Germany – a national scale modelling assessment. *Water Sciences and Technology* 43 (5), 261–268.
- [4] Siber R., Stamm C., Reichert P. (2009): Modelling potential herbicide loss to surface waters on the Swiss plateau. *Journal of Environmental Management* 91, 290–302.
- [5] Leu C., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R., Stamm C. (2005): Comparison of atrazine losses in three small headwater catchments. *Journal of Environmental Quality* 34, 1873–1882.
- [6] Arnold J.G., Allen P.M., Muttiah R., Bernhardt G. (1995): Automated base-flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water* 33 (6), 1010–1018.
- [7] Müller K., Deurer M., Hartmann H., Bach M., Spiteller M., Frede H.G. (2003): Hydrological characterisation of pesticide loads using hydrograph separation at different scales in a German catchment. *Journal of Hydrology* 273 (1–4), 1–17.
- [8] Stamm C., Siber R., Fenner K., Singer H. (2006): Monitoring von Pestizidbelastungen in Schweizer Oberflächengewässern. *GWA* 8, 629–636.
- [9] Frey M., Dietzel A., Schneider M., Reichert P., Stamm C. (2009): Predicting critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters: role of connectivity and boundary conditions. *Journal of Hydrology* 365, 23–36.

## Gewässer unter Strom

Die Schweiz hat den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Neben erneuerbaren Energiequellen wie der Fotovoltaik will der Bund auch die Wasserkraft ausbauen. Dessen Annahmen zum Potenzial der Wassernutzung halten Fachleute jedoch für unrealistisch. So bringe der Ausbau der Kleinwasserkraft im Vergleich zum ökologischen Schaden wenig. Neue Pumpspeicherkraftwerke seien dagegen nötig.

Text: Andres Jordi

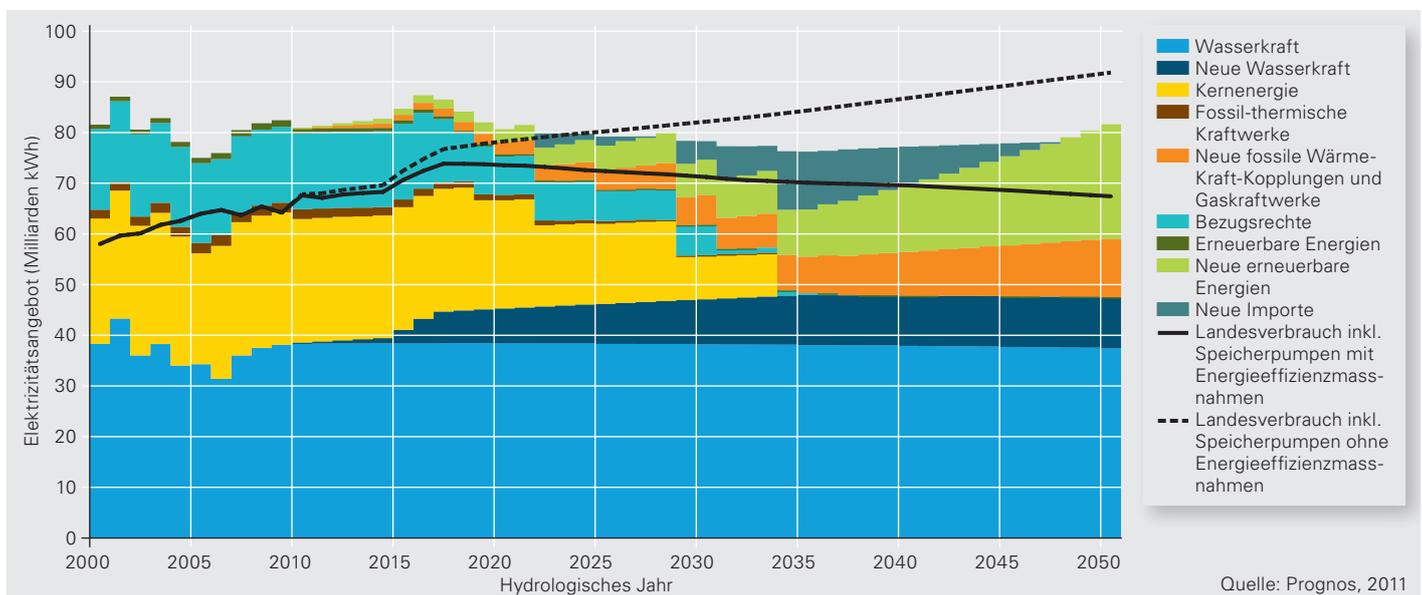
Für einen Grundsatzentscheid dieser Tragweite ging es für einmal schnell in der Schweizer Politik: Nur Wochen nach der Nuklearkatastrophe in Fukushima beschloss der Bundesrat, mittelfristig auf die Atomenergie zu verzichten. National- und Ständerat zogen nach. Ausgehend von einer sicherheitstechnischen Betriebsdauer von 50 Jahren sollen die Kernkraftwerke nun schrittweise abgeschaltet werden – Beznau I 2019, Beznau II und Mühleberg 2022, Gösgen 2029 und zuletzt Leibstadt im Jahr 2034.

Gegenwärtig tragen die AKWs in der Schweiz rund 40 Prozent oder 25 Milliarden Kilowattstunden (kWh) zur jährlichen Stromproduktion bei [1]. Diesen Anteil gilt es in Zukunft sukzessive durch andere Energiequellen zu ersetzen. Wie das geschehen könnte, skizziert das Bundesamt für Energie (BFE) in seinen Energieperspektiven 2050, die auf aktualisierten Modellrechnungen und Szenarien einer früher erarbeiteten Version für 2035 beruhen. Diese wurde unter anderem bezüglich Bevölkerungswachstum, Verkehrsentwicklung, energiepolitischer Instrumente oder Klimaprognosen angepasst. «Zurzeit überarbeitet der Bund im Rahmen

des Vernehmlassungsentwurfs zur zukünftigen Energiestrategie die Energieperspektiven 2050, um präzisere Szenarien zu bekommen», erklärt Philipp Schwander vom BFE. Mitte 2012 sollen diese vorliegen.

**Ausbau der Wasserkraft.** Gemäss den Energieperspektiven 2050 soll der Wegfall der Kernenergie in erster Linie mit erneuerbaren Energien (vor allem Fotovoltaik, Geothermie und Wind) und einem Ausbau der Wasserkraftnutzung kompensiert werden. Mit fossiler Stromproduktion (Wärme-Kraftkopplung, Gaskraftwerke) und Stromimporten liesse sich ein allfälliger Restbedarf decken (Abb. 1). Überdies setzt der Bund auf mehr Energieeffizienz. Entsprechende Massnahmen sollen den Elektrizitätsverbrauch bis 2050 auf weniger als 70 Milliarden kWh beschränken. Zum Vergleich: 2010 benötigte die Schweiz rund 60 Milliarden kWh Strom. Bei einer Weiterführung der bisherigen Energiepolitik prognostiziert das BFE für 2050 einen Verbrauch von über 90 Milliarden kWh [2].

Abb. 1: Die Stromproduktion der Zukunft soll vor allem aus der Wasserkraft und anderen erneuerbaren Energiequellen kommen. Nach dem Szenario des Bundes braucht es zusätzlich Massnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, um den Elektrizitätsverbrauch zu stabilisieren. In der Grafik sind beim Ausbau der Wasserkraft auch Pumpspeicherkraftwerke mit eingeschlossen, obwohl sie netto übers Jahr keinen zusätzlichen Strom produzieren.





www.michael-peuckert.com

Die Wasserkraft ist in der Schweiz heute schon stark ausgebaut – im Bild das Kraftwerk Birsfelden (BL) am Hochrhein.

Zu ähnlichen Resultaten wie die Energieperspektiven 2050 kommt auch eine Studie des Energy Science Center der ETH Zürich. Sie misst aber der Elektrizitätsgewinnung mit Biomasse eine grössere Bedeutung bei [3].

Mit dem Wegfall der Kernenergie besteht 2050 eine Versorgungslücke von etwa 30 Milliarden kWh, die es zu decken gilt. Die zentrale Rolle wird dabei weiterhin die Wasserkraftnutzung spielen. Bereits heute produziert die Schweiz 56 Prozent ihrer Stroms (durchschnittlich 36 Milliarden kWh pro Jahr) mit Wasserkraftwerken (Abb. 2). Für die Zukunft rechnet der Bund mit einem Ausbau um 4 Milliarden kWh, was etwa der halben Jahresproduktion des Kernkraftwerks Gösgen entspricht.

Potenzial ortet der Bund bei der Erneuerung und Erweiterung bestehender Anlagen sowie beim Neubau von Wasserkraftwerken (Tabelle). Im Bereich Grosswasserkraft (Leistung grösser als 10 Megawatt) stützt er sich bei seiner Abschätzung auf geplante, aber noch nicht realisierte Projekte der letzten 30 Jahre. «Ein zusätzliches grosses Kraftwerk, allenfalls zwei neue Anlagen, scheinen mir grundsätzlich verantwortbar zu sein», sagt Alfred Wüest von der Abteilung Oberflächengewässer der Eawag. Es gelte jedoch, Standorte auszuwählen, an denen die Eingriffe in

Ausbaupotenzial der Wasserkraft gemäss der Abschätzung des Bundes.

	Mrd. kWh
Erneuerungen, Umbau	+ 2,4
Neubauten Grosswasserkraft (> 10 Megawatt Leistung)	+ 2,0
Neubauten Kleinwasserkraft (< 10 Megawatt Leistung)	+ 1,9
Nutzung von VAEW*-Gebieten	+ 0,4
<b>Mehrproduktion brutto</b>	<b>+ 6,7</b>
Minderproduktion infolge Restwasserbestimmungen	- 0,7
Minderproduktion infolge Klimawandel	- 2,0
<b>Mehrproduktion netto</b>	<b>+ 4,0</b>

\* Im Rahmen der Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung (VAEW) von der Stromproduktion ausgeschlossene landschaftlich schützenswerte Gebiete.

## Wasserkraft: weltweit grosses Potenzial

Rund 20 Prozent oder 3,4 Billionen Kilowattstunden (kWh) des weltweiten Elektrizitätsbedarfs werden aus der Wasserkraftnutzung generiert. Bei einem Drittel aller Länder macht diese mehr als 50 Prozent der Stromproduktion aus (in der Schweiz sind es 56 Prozent). Vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern ist die Wasserkraft noch längst nicht ausgeschöpft. So nutzen diese Länder laut Weltbank erst 23 Prozent des ökonomisch und technisch möglichen Potenzials [7]. Demnach hat zum Beispiel alleine China ein noch nicht erschlossenes Wasserkraftpotenzial von rund 1,4 Billionen kWh; Lateinamerika von 1,2 Billionen kWh und Afrika von gegen 1 Billion kWh.

«Der Ausbau steigt weltweit seit Jahren konstant an», sagt Anton Schleiss von der ETH Lausanne. Das zeigen auch die zunehmenden Investitionen der Weltbank in Wasserbauprojekte. Sie erhöhten sich von 250 Millionen Dollar im Jahr 2002 auf mehr als 1 Milliarde Dollar 2008. In den kommenden Jahren will die Institution weitere 2 Milliarden Dollar einsetzen. «Vor allem China investiert gewaltig in den Ausbau seiner Wasserkraft», sagt Schleiss, «daneben aber auch Länder wie die Türkei, der Iran, Indien, Japan, Vietnam, Laos, Myanmar, die Philippinen oder Brasilien».

Diesen Ausbau gilt es möglichst umwelt- und sozialverträglich zu gestalten. Eawag-Forschende untersuchen deshalb zum Beispiel in Sambia, welche biogeochemischen Auswirkungen der Itezhi-Tezhi-Stausee auf flussabwärts gelegene Feuchtgebiete hat und wie sich der Kraftwerksbetrieb und zukünftige Bauprojekte hinsichtlich Umweltbelastung optimieren lassen. Zudem beschäftigt sich das Team mit dem Ausstoss des Klimagases Methan aus tropischen Stauseen.

[www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/adapt](http://www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/adapt)

[www.eawag.ch/forschung/surf/gruppen/methane](http://www.eawag.ch/forschung/surf/gruppen/methane)

die Umwelt gering ausfielen, und die Bauprojekte im Rahmen der vorgeschriebenen Umweltverträglichkeitsprüfungen möglichst zu optimieren.

**Kleinwasserkraft bringt wenig.** Daneben setzt der Bund mittels kostendeckender Einspeisevergütung (KEV) auf den Ausbau der Kleinwasserkraft um 1,9 Milliarden kWh. Mit der KEV fördert er seit 2009 erneuerbare Energien, unter anderem auch Wasserkraftanlagen mit weniger als 10 Megawatt Leistung. Bereits heute liegen laut Hans-Heiri Frei von Swissgrid, die im Auftrag des Bundes die Abwicklung der KEV durchführt, Anmeldungen für die Stromproduktion aus Wasserkraft von insgesamt über 2 Milliarden kWh vor.

Da aber bei der Projektbeurteilung für eine KEV-Zulassung ökologische Kriterien fehlen, scheinen viele Anlagen – insbesondere solche in noch nicht genutzten Gewässern – aus Sicht

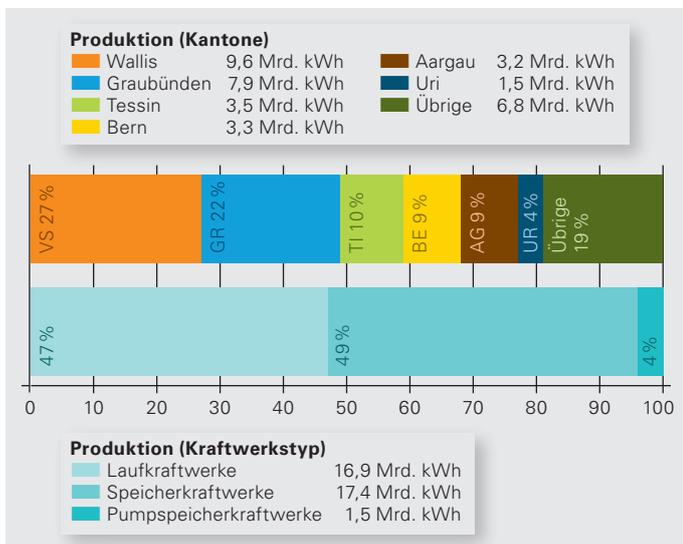


Abb. 2: Die Schweizer Wasserkraft in Zahlen. Die Schweiz verfügt über rund 1300 Wasserkraftzentralen. Dabei produzieren 185 Grosswasserkraftanlagen mit einer Leistung von mehr als 10 Megawatt 90 Prozent der Elektrizität. Laufkraftwerke erzeugen die kontinuierliche Bandenergie, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke decken vor allem die Spitzenenergie ab.

des Biodiversitäts- und Gewässerschutzes ungeeignet zu sein. Auch der Bund hat dieses Manko erkannt und für die Kantone unverbindliche Richtlinien erarbeitet, mit der sich schützenswerte beziehungsweise für eine massvolle Nutzung geeignete Fließgewässer eruieren lassen [4]. «Die Bewilligung von KEV-Projekten bleibt jedoch Sache der Kantone», sagt Schwander vom BFE.

Berücksichtigt man im Sinn einer nachhaltigen Energiepolitik ökologische Vorgaben, verringert sich das Potenzial geeigneter Standorte für Kleinwasserkraftwerke erheblich. So kommt der WWF Schweiz in einer Studie zum Schluss, dass der Ausbau von bloss rund 1 Milliarde kWh verträglich ist [5]. Für Wüest ist der Ausbau der Kleinwasserkraft sogar eine Fehlinvestition: «Sie trägt fast nichts zur Deckung der Energielücke bei, die Auswirkungen auf die aquatischen Ökosysteme und die Landschaft sind dagegen unverhältnismässig gross.»

**Die Wassernutzung hat ihren ökologischen Preis.** Die Liste der Auswirkungen der Wasserkraftnutzung auf die aquatische Umwelt ist lang, wie auch verschiedene Forschungsprojekte an der Eawag zeigen. Wehre und Staumauern führen zu einer Fragmentierung der Lebensräume und sind insbesondere für Wanderfische wie den Lachs oder die Nase ein grosses Hindernis. «Die künstlichen Barrieren verändern zudem den Geschiebehaushalt», sagt Armin Peter von der Abteilung Fischökologie und Evolution der Eawag. Kies und Sand bleiben hängen und fehlen flussabwärts. «Bei zu wenig Geschiebe können sich die Laichgründe von in Kies laichenden Fischarten nicht erneuern und sind nicht mehr funktionsfähig», erklärt Peter. Regulierungen und Wasserentnahmen können in Flüssen die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften – von den Algen bis zu den Fischen – und damit das ganze Nahrungsnetz negativ verändern.

Der Betrieb von Speicherkraftwerken sorgt für unnatürliche Abflussschwankungen (Schwall und Sunk). Die künstlich erzeugten Hochwasser in Zeiten grossen Strombedarfs spülen Tiere und Pflanzen fort. Während der täglichen Niedrigwasserführungen, wenn wenig oder kein Wasser turbinert wird, trocknen deren Lebensräume dagegen häufig aus. «Die plötzliche Reduktion des Abflusses führt bei Jungfischen oft zum Tod, weil sie stranden», sagt Peter. «So beeinträchtigt der Schwall-Sunk-Betrieb im Alpenrhein die natürliche Vermehrung der Bachforelle oder der Äsche.»

Auch zu geringe Restwassermengen in Fließgewässern unterhalb von Stauseen oder bei Ausleitkraftwerken haben einen ungünstigen Einfluss und führen unter anderem zu mangelnder Vernetzung der Lebensräume, Temperaturveränderungen, ungenügenden Wassertiefen oder Fließgeschwindigkeiten. Da sich mehr Feinstoffe im Flussbett akkumulieren, ist zudem die Bodendurchlässigkeit beeinträchtigt.

**Ist der Gewässerschutz infrage gestellt?** Um die Auswirkungen der Wasserkraftnutzung abzufedern, hat die Schweiz ihr Gewässerschutzgesetz mehrmals angepasst. So wurden die Kantone 1992 verpflichtet, in ihren Fließgewässern bis 2012 für angemessene Restwassermengen zu sorgen. «Der Vollzug ist jedoch unbefriedigend und einige Kantone sind arg im Rückstand», sagt Peter. Seit der jüngsten Gesetzesrevision 2010 stellt der Bund zusätzliche Mittel zur Verminderung der negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Betriebes und Flussfragmentierungen zur Verfügung. Mit Revitalisierungen soll zum Beispiel die Durchgängigkeit von Gewässern verbessert werden. Davon versprechen sich

### Energieeffizienz im Wassersektor

Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energiequellen setzt der Bund bei der zukünftigen Strategie auf die Verbesserung der Energieeffizienz. Einsparmöglichkeiten gibt es auch im Wassersektor. So benötigen die Wasserversorgung und der Kläranlagenbetrieb in der Schweiz über 30 Prozent des Strombedarfs, den eine Gemeinde für die öffentliche Infrastruktur braucht.

Die Eawag erforscht sowohl für die Abwasserreinigung als auch die Trinkwasseraufbereitung optimierte, Energie sparende Methoden. Unter anderem haben Verfahrenstechniker das so genannte Anammox-Verfahren zur Elimination des Stickstoffs aus dem Abwasser mitentwickelt. Gegenüber der klassischen Nitrifikation/Denitrifikation muss das Klärbecken dabei wesentlich weniger stark belüftet und es muss kein Kohlenstoff zugegeben werden. Das spart Energie – und senkt die Betriebskosten erheblich. Ein anderes Projekt untersucht von der Schwerkraft angetriebene Membranfilter, mit denen sich aus belastetem See- oder Flusswasser mit geringem Energieaufwand Trinkwasser herstellen lässt.

[www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/nitrations\\_anammoxprozess](http://www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/nitrations_anammoxprozess)

[www.eawag.ch/forschung/eng/gruppen/gdm](http://www.eawag.ch/forschung/eng/gruppen/gdm)

die Fachleute sehr viel und reden sogar von der Versöhnung von Wasserbau und Ökologie.

Steht nun der drohende Ausbau der Wasserkraft nicht in völligem Widerspruch zu den Fortschritten im Gewässerschutz? Armin Peter: «Soll die Wasserkraft im vom Bund vorgeschlagenen Rahmen ausgebaut werden, ist besonders bei der Kleinwasserkraft mit einem ökologischen Rückschritt zu rechnen.» Die Fragmentierung der Wasserlebensräume sei bereits heute derart hoch, dass sie nicht noch weiter erhöht werden dürfe, so Peter. Mit neuen Kleinwasserkraftwerken würden die Fortschritte, die man an einen Ort durch Revitalisierungsmassnahmen erreicht hat, an anderer Stelle gleich wieder zunichtegemacht.

Landschaftlich schützenswerte Gebiete wurden bis jetzt im Rahmen der Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung (VAEW) von der Stromproduktion ausgenommen. In diesen Gebieten sieht das BFE ebenfalls die Möglichkeit einer Wasserkraftnutzung. «Es handelt sich dabei um eine erste Abschätzung», relativiert Schwander vom BFE. «Wir analysieren derzeit zusammen mit den Kantonen die realistischen Ausbaupotenziale.» Für die meisten Fachleute kommt ein solcher Ausbau auf jeden Fall nicht in Frage. «Schutzgebiete wie die Greina-Ebene sind meiner Meinung nach ausgeschlossen», sagt auch Anton Schleiss vom Laboratoire de Construction Hydraulique der ETH Lausanne.

**Unrealistische Annahmen.** Zum vom Bund gesamthaft budgetierten Ausbau von 4 Milliarden kWh sagt Schleiss: «Dies ist nur der Nettowert, effektiv müsste die Wasserkraft um insgesamt 6,7 Milliarden kWh ausgebaut werden.» Überdies sind laut Schleiss die Energieeinbussen infolge Restwassermengen zu tief geschätzt. Wenn die gesetzlichen Auflagen erfüllt würden, sei eine Minderproduktion von 1,4 Milliarden kWh zu erwarten, sagt er. Die Produktionsrückgänge aufgrund des Klimawandels scheinen ihm dagegen als zu hoch angesetzt. Diese Einschätzung deckt sich mit einer von der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und der Hydrologischen Kommission kürzlich publizierten Studie, wonach die Veränderungen bis 2035 gering ausfallen werden [6].

Die meisten Experten halten das Szenario des Bundes ohnehin für nicht umsetzbar. So konstatiert der Verband schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, dass die Wasserkraft hierzulande praktisch ausgereizt sei. Der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband begrüsst den Ausbau grundsätzlich, meint jedoch, dass dieser unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen unrealistisch sei. Deshalb fordert er, bei einer Abwägung von Schutz- und Nutzungsanliegen Letztere stärker zu gewichten.

Auch Schleiss findet die Zahlen unrealistisch. Er sieht einen Ausbau von netto zirka 2 Milliarden kWh als machbar an. «Schon das ist sehr optimistisch», meint er. Das würde zudem bedeuten, dass die Schweiz mindestens einen neuen grossen Stausee bauen müsste.

«Statt das Letzte aus den Gewässern herauszuholen, gilt es vielmehr, die Fotovoltaik konsequent auszubauen», findet Wüest von der Eawag. Deren Möglichkeiten seien um ein Vielfaches grösser. Den Beitrag, den die Wasserkraft hingegen leisten kön-

ne, liege im Bereich der Energiespeicherung mit Pumpspeicherkraftwerken. Da in Zukunft zunehmend Energie aus erneuerbaren Quellen wie Sonne und Wind stammen und damit unregelmässig anfallen wird, werden grössere Speicherkapazitäten nötig werden. Pumpspeicherkraftwerke produzieren jedoch netto keinen zusätzlichen Strom.

**Die Schweiz als Batterie im Stromnetz Europas.** «Die Schweiz hat ein sehr grosses Potenzial für Pumpspeicherkraftwerke», so Schleiss. Das gelte es auch mit Blick auf den europäischen Strommarkt zu nutzen. Denn das Land könne vermehrt die Funktion einer Batterie im europäischen Verbundnetz übernehmen und auch ihre Nachbarländer mit Pumpspeicherstrom beliefern. «Umgekehrt werden wir immer mehr von europäischem Wind- und Solarstrom abhängig sein», sagt er.

Der Bund rechnet in den nächsten Jahren mit einem Ausbau der Pumpspeicherkapazitäten um rund 5 Milliarden kWh. Einzelne Anlagen, zum Beispiel Nant de Drance im Wallis oder Linth-Limmern im Kanton Glarus, sind bereits im Bau.

Natürlich sind auch Pumpspeicherwerke nicht ohne Eingriffe in die Umwelt zu haben. So wiesen Eawag-Wissenschaftler beispielsweise im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung für das Projekt Lagobianco im Puschlav nach, dass der Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerks signifikante Auswirkungen auf Temperatur und Trübung der verbundenen Seen hätte. Andererseits würde das Projekt ökologische Verbesserungen mit sich bringen, etwa die Eliminierung des Schwall-Sunk-Betriebs, höhere und dynamischere Restwassermengen und diverse Revitalisierungsmassnahmen.

Schleiss ist überzeugt, dass bei einem massvollen Ausbau der Wasserkraft in der Schweiz auf Seiten der Umwelt keine grossen Abstriche gemacht werden müssen. Grundsätzlich sei es sehr wichtig, alle Akteure in die Planung einzubeziehen und gemeinsam Lösungen zu suchen. Dies verlange aber von allen Parteien gewisse Kompromisse, betont der Wasserbauingenieur. ○ ○ ○

- [1] Bundesamt für Energie (2011): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010.
- [2] Bundesamt für Energie (2011): Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates – Aktualisierung der Energieperspektiven 2035.
- [3] Andersson G., Boes R., Boulouchos K., Bretschger L., Brüttsch F., Filippini M., Leibundgut H., Mazzotti M., Noembrini F. (2011): Energiegespräch vom 2. September 2011 an der ETH Zürich – Hintergrundinformation.
- [4] Bafu, BFE, ARE (2011): Empfehlung zur Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich Kleinwasserkraftwerke.
- [5] WWF Schweiz (2010): Kleinwasserkraft – zusätzliches Potenzial an ökologisch geeigneten KEV-Standorten.
- [6] Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 38.
- [7] Weltbank (2010): Directions in hydropower – scaling up for development. Water P-Notes 47.

# Kröten brauchen mehr Raum und Altholz

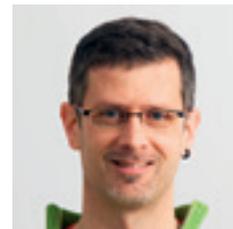
Populationen von Erd- und Wechselkröten benötigen im ihrem Landlebensraum die Fläche mehrerer Fussballfelder und genügend Strukturen – besonders in Form von Altholzhaufen. Diese Anforderungen erfüllen sogar Schutzgebiete allerdings häufig nicht. Mit dem Anlegen von Altholzhaufen liesse sich die Qualität bestehender Amphibienlebensräume jedoch einfach und kostengünstig stark verbessern.

Viele Amphibienarten verbringen nur einen geringen Teil des Jahres – und damit ihres Lebens – an einem Gewässer. Die meiste Zeit leben sie an Land: in Wäldern, Kiesgruben oder auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dementsprechend sind laut neueren Studien für den Erhalt von Amphibienpopulationen speziell deren Landlebensräume von grosser Bedeutung [1]. Bei der Gestaltung eines Amphibienschutzgebietes sind insbesondere die Strukturbeschaffenheit des Lebensraums sowie dessen minimale Grösse wichtig.

Für das praktische Management von Amphibienpopulationen ist mit dieser Erkenntnis allerdings noch wenig gewonnen, so-

lange sich die Angaben wissenschaftlicher Arbeiten, etwa zur minimalen Lebensraumgrösse, mehrheitlich auf Einzeltiere und nicht auf Populationen beziehen. Die Forschungsarbeit, die ein Team aus Eawag-Forschenden zusammen mit Benedikt Schmidt von der Universität Zürich durchgeführt hat, soll hier Abhilfe schaffen.

**Natürliches Verhalten erforschen.** Während zweier Jahre untersuchten wir die Lebensraumsprüche von Populationen von Erd- und Wechselkröten im reich strukturierten, rund 800 Meter breiten Flussbett des Tagliamento. Der im italienischen Friaul ge-



Lukas Indermaur, Biologe, doktorte an der Eawag in der Abteilung Gewässerökologie. Heute leitet er für den WWF das Projekt Lebendiger Alpenrhein.

König der Alpenflüsse: Der Tagliamento im italienischen Friaul bildet die letzte ausgedehnte Wildflusslandschaft im Alpenraum.





Wechselkröten suchen Altholzhaufen auf, um sich vor hohen Temperaturen zu schützen.

legene Tagliamento ist der letzte nicht regulierte grosse Alpenfluss in Mitteleuropa. Er ist für die Naturschutzpraxis von unschätzbarem Wert, weil dort die Erforschung des Verhaltens und der Ansprüche von Amphibienpopulationen in einem natürlichen Lebensraum noch möglich ist.

Im ausgeräumten und strukturell stark veränderten Siedlungs- und Kulturland müssen Amphibien dagegen meist mit Strukturen vorlieb nehmen, die ihren Bedürfnissen nicht vollständig gerecht werden. So sind beispielsweise vom Schwall-Sunk-Betrieb beeinträchtigte Ausleitstrecken bei Wasserkraftwerken für die Fortpflanzung und den Aufwuchs von Amphibien (wie auch von Fischen) alles andere als ideal. Sind die minimalen Ansprüche einer Art hinsichtlich Struktur- und Flächenbedarf nicht gewährleistet, schlägt sich dies in einer verminderten Individuendichte nieder. Doch wie sieht der minimale Raum- und Strukturbedarf von Amphibienpopulationen aus? Und erfüllen die Schutzgebiete in der Schweiz diese Bedürfnisse?

Bei unseren Untersuchungen am Tagliamento konzentrierten wir uns auf Arten mit sehr unterschiedlicher Ökologie, um für den Amphibienschutz breiter abgestützte Empfehlungen abgeben zu können. Während die Erdkröte (*Bufo bufo*) auch in der Schweiz heimisch ist, kommt die Wechselkröte (*Bufo viridis*) nur im benachbarten Ausland vor, ist in ihrer Ökologie aber der einheimi-

schen Kreuzkröte (*Bufo calamita*) sehr ähnlich. Die Erdkröte gilt in der Literatur als wanderfreudige, weit verbreitete Art mit geringen Lebensraumsansprüchen. Die Wechselkröte ist wie die Kreuzkröte eine typische Pionierart. Pionierarten sind auf Lebensräume mit offenen Bodenflächen angewiesen, die sie sehr schnell zu besiedeln vermögen. Die gewählten Arten sind somit repräsentativ für ein breites Spektrum von Lebensraumtypen und Artansprüchen. Wir rüsteten 56 Erd- und 59 Wechselkröten mit Minisendern aus und zeichneten ihre Aufenthaltsorte und Wanderbewegungen während zweier Jahre im Sommer mit Hilfe der Radiotelemetrie bei Tag und Nacht auf.

**Schutzgebiete oft zu klein.** Unsere Untersuchungen zeigen, dass die beiden Krötenarten Schwemmholz deutlich stärker nutzen als andere Strukturen, sich jedoch in ihrem Nutzungsverhalten unterscheiden. Während die Wechselkröten die Holzhaufen vor allem bei hohen Temperaturen zur Regulation der Körpertemperatur aufsuchen, nutzen die Erdkröten diese hauptsächlich zur Jagd [2].

Die Menge an Schwemmholz bestimmt auch die Grösse des Sommerlebensraumes beider Arten. In Gebieten mit wenig Schwemmholz sind die Sommerlebensräume riesig, wo viel Schwemmholz vorhanden ist dagegen klein [3]. Die Tiere weiten

Flächenbedarf für 100 Tiere	Erdkröten			Wechselkröten		
	Mittel	Minimum	Maximum	Mittel	Minimum	Maximum
Landlebensraum* (ha) (Anzahl Fussballfelder)	6,0 (8,1)	4,3 (5,8)	7,7 (10,5)	24,8 (33,7)	17,9 (24,4)	32,7 (44,5)
Schwemm-/Altholz** (m <sup>2</sup> /ha)	756,9	214,5	1983,5	233,2	85,5	534,4

\* Mittlere Überlappung der Lebensraumgrössen von 2,6 % zwischen Arten und Tieren derselben Art (Erdkröte: 2,7 %, Wechselkröte: 11,2 %) nicht berücksichtigt.

\*\* Mittlere Überlappung der Lebensraumgrössen der Arten und Tiere berücksichtigt.

Lebensraum- und Altholzansprüche von Erd- und Wechselkrötenpopulationen.

Minimum = untere Grenze des 95-Prozent-Vertrauensintervalls; Maximum = obere Grenze des 95-Prozent-Vertrauensintervalls.

ihren Lebensraum solange aus, bis ihre Mindestansprüche hinsichtlich Schwemmholzvorkommen erfüllt sind. Anhand unserer Daten berechneten wir die minimale Lebensraumgrösse und den minimalen Schwemmholzbedarf einer einzelnen Erd- und Wechselkröte. Ausgehend von den Ansprüchen der Einzeltiere berechneten wir anhand eines mathematischen Modells den Raum- und Schwemmholzbedarf von Populationen mit 100 Tieren [4]. Populationen ab dieser Grösse haben ein sehr geringes Risiko, aufgrund zufälliger Ereignisse lokal vollständig auszusterben.

Eine Erdkrötenpopulation am Tagliamento benötigt gemäss unseren Untersuchungen bei einem guten Schwemmholzangebot einen minimalen terrestrischen Lebensraum von 4,3 Hektaren; eine Wechselkrötenpopulation sogar 17,9 Hektaren. Oder anders ausgedrückt: Eine Erdkrötenpopulation benötigt eine Fläche von rund 6 Fussballfeldern, eine Wechselkrötenpopulation sogar jene von über 24 Fussballfeldern (siehe Tabelle).

In der Schweiz sind solche Flächen für Amphibien nicht immer verfügbar. Beispielsweise sind die durchschnittlichen Flächen der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung meist bedeutend kleiner [5]. Auch kantonale Schutzgebiete haben oft eine zu geringe Fläche, wie unsere Analysen zeigen: Für die Kantone Thurgau, Bern und Graubünden berechneten wir die durchschnittliche Grösse von 77 Schutzgebieten in der Kulturlandschaft mit Waldanteil. 52 Prozent der Schutzgebiete waren kleiner als die minimale Lebensraumgrösse, die Erdkröten beanspruchen; für Wechselkröten beziehungsweise für die bezüglich Ökologie

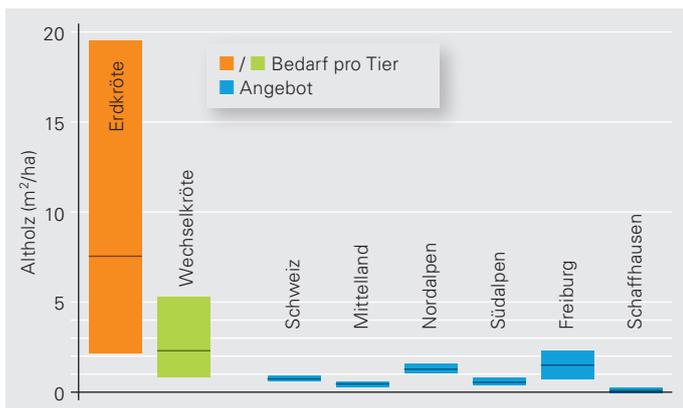
ähnlichen einheimischen Kreuzkröten sind sogar 75 Prozent der untersuchten Flächen zu klein.

**Ungenügendes Altholzangebot.** Der Schwemmholzbedarf einer Erdkrötenpopulation am Tagliamento beträgt im Minimum 214,5 Quadratmeter Altholz pro Hektare (m<sup>2</sup>/ha) und jener einer Wechselkrötenpopulation mindestens 85,5 m<sup>2</sup>/ha. Überträgt man diese Zahlen auf die Schweiz, zeigt sich, dass auch das Angebot an Altholz für die heimischen Kröten vielerorts ungenügend ist. Im Kulturland ist praktisch kein Altholz vorhanden, und auch im Wald ist das Angebot in der Regel viel zu gering: Gemäss aktuellem Landesforstinventar liegen in den Schweizer Wäldern im Durchschnitt lediglich 0,77 m<sup>2</sup>/ha Altholz mit Tiefstwerten im Mittelland (0,43 m<sup>2</sup>/ha) und im Kanton Schaffhausen (0,06 m<sup>2</sup>/ha) [6]. Sogar wenn man die minimalen Anforderungen für jeweils ein Tier betrachtet, sind diese Werte zu tief.

Nur in den Nordalpen (1,29 m<sup>2</sup>/ha) sowie im Kanton Freiburg (1,5 m<sup>2</sup>/ha) wäre der minimale Altholzbedarf für einzelne Individuen der Wechselkröte beziehungsweise der Kreuzkröte gedeckt; für die Erdkröte ist der Altholzbestand dagegen in keiner Region der Schweiz ausreichend (siehe Grafik). Zum Vergleich: Im Flussbett des Tagliamento liegen auf einer Hektare durchschnittlich rund 115 Quadratmeter Altholz. Dieses ist vorwiegend auf den offenen Schotter verteilt – eine Situation, die sich gut mit einer mosaikartig strukturierten Landschaft vergleichen lässt. Im angrenzenden Auenwald wird das Altholzangebot wahrscheinlich ähnlich gut oder sogar noch besser sein.

Da Amphibien in der Schweiz als Lebensräume vor allem Kulturland und Wald besiedeln, dürfte das ungenügende Angebot an Altholz und weiteren Kleinstrukturen ihre Verbreitung in den meist intensiv genutzten Gebieten stark limitieren und abnehmende Bestände zur Folge haben.

Der Bedarf von Altholz pro Tier sowie das Angebot von liegendem Altholz pro Tier im Schweizer Wald. Die Balken zeigen das Minimum (untere Grenze des 95-Prozent-Vertrauensintervalls), den Mittelwert und das Maximum (obere Grenze des 95-Prozent-Vertrauensintervalls).



**Kostengünstige Amphibienförderung.** Das Erstellen von Altholzhäufen wäre dagegen eine kostengünstige und effiziente Massnahme, um in ausgeräumten Landwirtschaftsgebieten Kleinstrukturen neu zu etablieren. Dadurch liesse sich die Qualität der Landlebensräume von Amphibien, aber auch anderer Organismen einfach verbessern. Holz fällt bei Pflegearbeiten sowieso an und kann leicht zu Häufen aufgeschichtet und liegen gelassen werden.

Um mehrere Arten zu fördern, werden am besten verschiedenen grosse Häufen angelegt. Wie unsere Studie zeigt, nutzen die Kröten Holzhaufen in der Grösse von 1 bis 60 Quadratmetern. Für die Erdkröte spielt die Grösse der Holzhaufen keine grosse Rolle; die Wechselkröte (Kreuzkröte) hingegen bevorzugt freistehende



Im Flussbett des Tagliamento liegen auf einer Hektare rund 115 Quadratmeter Altholz – im Mittelland sind es gerade einmal 0,43 Quadratmeter.

Holzhaufen, die bis zu 5 Quadratmeter gross sind. Da das Angebot an Altholz in Schweizer Wäldern trotz steigendem Waldanteil sehr gering ist, würden Amphibienbestände aber vor allem auch davon profitieren, wenn mehr Holz liegen gelassen würde.

Altholzhaufen können ebenso zur Vernetzung bestehender Lebensräume verwendet werden, zum Beispiel für zu kleine Schutzgebiete. Mit der Aufsichtung linear angeordneter Altholzhaufen, so genannter Benjeshecken, zwischen kleinen und isolierten Lebensräumen lässt sich der Raum für Amphibien erweitern. Diese Massnahme ist auch machbar, wenn die Schutzgebiete selbst nicht erweitert werden können.

Das Erstellen von Altholzhaufen ist eine kostengünstige und effiziente Massnahme, um in ausgeräumten Landschaften Kleinstrukturen neu zu schaffen und Lebensräume von Amphibien zu vernetzen. Im Bild das Aareufer bei Rubigen BE.



A. Meyer

Doch ein geeigneter Landlebensraum nützt auf die Dauer wenig, wenn keine Laichgewässer für die Fortpflanzung erreichbar sind. Wo Laichgewässer fehlen, sind deshalb solche neu anzulegen. Als besonders produktiv haben sich temporäre Laichgewässer erwiesen [7]. Diese trocknen von Zeit zu Zeit aus und beherbergen deshalb weniger Fressfeinde – was sich positiv auf das Überleben der Kaulquappen auswirkt. Temporäre Laichgewässer sind charakteristisch für das Flussbett verzweigter Flüsse und entstehen meist infolge von Schwemmholzablagerungen (Totholzolk).

Aufgrund unserer Untersuchungen am Tagliamento erachten wir die Schaffung von Altholzhaufen, gekoppelt mit der Schaffung temporärer Laichgewässer, als besonders effektive Massnahmen zur Amphibienförderung in der ausgeräumten Kulturlandschaft und im Wald.



- [1] Trenham P.C., Shaffer H.B. (2005): Amphibian upland habitat use and its consequences for population viability. *Ecological Applications* 15, 1158–1168.
- [2] Indermaur L., Winzeler T., Schmidt B.R., Tockner K., Schaub M. (2009): Differential resource selection within shared habitat types across spatial scales in sympatric toads. *Ecology* 90, 3430–3444.
- [3] Indermaur L., Gehring M., Wehrle W., Tockner K., Näf-Dänzer B. (2009): Behavior-based scale definitions for determining individual space use: requirements of two amphibians. *American Naturalist* 173, 60–71.
- [4] Indermaur L., Schmidt B.R. (2011): Quantitative recommendations for amphibian terrestrial habitat conservation derived from habitat selection behavior. *Ecological Applications*, doi: 10.1890/10-2047.1, im Druck.
- [5] Borgula A., Fallot P., Ryser J. (1994): Inventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung – Schlussbericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 233. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- [6] Speich S., Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Duc P., Keller M., Meile R., Rösler E., Schwyzer A., Ulmer U., Zandt H. (2010): Drittes Schweizerisches Landesforstinventar. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- [7] Schmidt B.R., Zumbach S. (2010): Neue Herausforderungen und Wege im Amphibienschutz. *Wildbiologie* 4/37.

# Spuren der Sonne im Eis

Die Sonne ist unsere wichtigste Energiequelle, treibt das Klimasystem und den Wasserkreislauf der Erde an. Sie ist aber für die technisierte Welt auch zunehmend eine Gefahr. Ein besseres Verständnis der Sonne, insbesondere ihres Langzeitverhaltens, ist deshalb von grosser Bedeutung. Eisbohrkerne erlauben Einsichten in die letzten 10 000 Jahre – und einen vorsichtigen Blick in die Zukunft.

Die Bedeutung der Sonne für das Leben auf der Erde war den Menschen intuitiv schon im Altertum bewusst. Es überrascht deshalb nicht, dass praktisch alle früheren Kulturen sie als Gottheit verehrten. Mit dem Beginn der Aufklärung wollte man die Sonne verstehen. Dabei stiess man im 19. Jahrhundert aber auf ein grosses Problem. William Thomson, der spätere Lord Kelvin, einer der damals berühmtesten Physiker, zeigte, dass die Energiereserven der Sonne bestenfalls für 30 Millionen Jahre ausreichen konnten. Dies stand in krassem Gegensatz zu den Schätzungen eines anderen berühmten Wissenschaftlers: Charles Darwin kam

aufgrund geologischer Erosionsraten und der biologischen Evolution zum Schluss, dass die Erde mindestens 300 Millionen Jahre alt sein müsse. Wie ist es möglich, dass zwei so berühmte Forscher zu solch unterschiedlichen Resultaten kommen konnten? Die Antwort ist simpel. Die Sonne verfügt über eine besondere Energiequelle, die damals noch nicht bekannt war.

**Temperaturen von 16 Millionen Grad.** Die Sonne ist ein Fusionsreaktor, in dessen Kern bei einer Temperatur von 16 Millionen Grad Celsius kontinuierlich Wasserstoff zu Helium verschmolzen



Jürg Beer, Physiker in der Abteilung Oberflächengewässer, untersucht den Einfluss der Sonnenaktivität auf das Klima.

Ein Forscher mit einem Eisbohrkern aus Grönland. Das Eis enthält Informationen über die Vergangenheit der Sonne.



Marc Steinmetz, Visum

wird. Dabei wandeln sich 0,73 Prozent der Masse gemäss  $E = mc^2$  in Energie um. Diese wird an die Sonnenoberfläche transportiert und von dort ins Weltall abgestrahlt. Da die insgesamt von der Sonne abgestrahlte Leistung  $4 \times 10^{26}$  Watt beträgt, müssen dabei pro Sekunde 4,4 Millionen Tonnen Masse in Energie umgewandelt werden. Dieser Prozess ist so effizient, dass die Sonne mit einer Masse von  $2 \times 10^{30}$  Kilogramm problemlos 10 Milliarden Jahre scheinen kann und dabei nur ungefähr 0,5 Promille ihrer Masse verliert.

Rund 30 Prozent der auf die Erde auftreffenden Sonnenstrahlung werden unter anderem von Wolken, Schnee oder Eis zurück ins Weltall reflektiert. Der absorbierte Rest entspricht einer Leistung von  $8,4 \times 10^{16}$  Watt oder der Energieproduktion von 100 Millionen Kernkraftwerken. Das ist 6000-mal mehr, als die Menschheit zurzeit benötigt. Fast die Hälfte dieser Sonnenenergie sorgt für die Verdunstung von Wasser und damit für den Antrieb des globalen Wasserkreislaufes. Die Sonneneinstrahlung ist nicht gleichmässig über die Erde verteilt, sondern erfolgt vor allem im äquatorialen Bereich. Um diese Unterschiede in der Einstrahlung auszugleichen, transportiert das Klimasystem ständig Energie in Form von Wasser (Meeresströmungen, Wasserdampf) und Wind in höhere Breiten.

**Motor des Wasserkreislaufes.** Es scheint eine Selbstverständlichkeit, dass wir nur den Wasserhahn zu öffnen brauchen und schon steht uns eine praktisch unbegrenzte Menge von Trinkwasser zur Verfügung. Abgesehen davon, dass dies leider für einen grossen Teil der Menschheit nicht der Fall ist, vergessen wir oft, dass es vor allem die Sonne ist, die uns mit der kostbaren Ressource versorgt. Da rund zwei Drittel der Erdoberfläche mit Ozeanen bedeckt sind, fällt dementsprechend auch der grösste Teil der Sonneneinstrahlung ( $4 \times 10^{16}$  Watt) auf Wasser. Dabei verdunsten pro Jahr 430 000 Kubikkilometer. Allerdings gelangen davon gleich wieder etwa 90 Prozent in Form von Regen zurück ins Meer. Der Niederschlag auf die Kontinente beträgt nun aber nicht 10 Prozent, also 43 000 Kubikkilometer, sondern rund 100 000. Denn natürlich findet auch auf den Kontinenten Verdunstung statt.

Verdunstung ist ein sehr effizientes Kühlsystem, da es sehr viel Energie braucht, um Wasser zu verdampfen. Dies weiss auch unser Körper, der zu schwitzen anfängt, wenn wir körperlich arbeiten. Der Hitzesommer 2003 war vor allem deshalb so extrem heiss, weil es sehr lange nicht mehr geregnet hatte und deshalb die Böden austrockneten und ihre kühlende Wirkung verloren.

Die Transportprozesse von Wasser und Luft sind Schwankungen unterworfen, die uns als Wetter wohlbekannt sind. Sind sie langfristig und erstrecken sich über mehrere Jahrzehnte, so sprechen wir von Klimaänderungen. Dabei denkt man meistens zuerst an die Temperatur, obwohl die Effekte auf den Wasserkreislauf von wesentlich grösserer Bedeutung sind und natürlich auch mit Temperaturänderungen zusammenhängen. Auch können kleine Ursachen grosse Wirkungen haben. Würde zum Beispiel bei gleicher Verdunstung aus irgendwelchen Gründen nur 1 Prozent weniger Niederschlag auf das Meer fallen, so würde dies den Niederschlag auf den Kontinenten von 10 auf 11 Prozent erhöhen, was einer Zunahme von 10 Prozent entspräche.

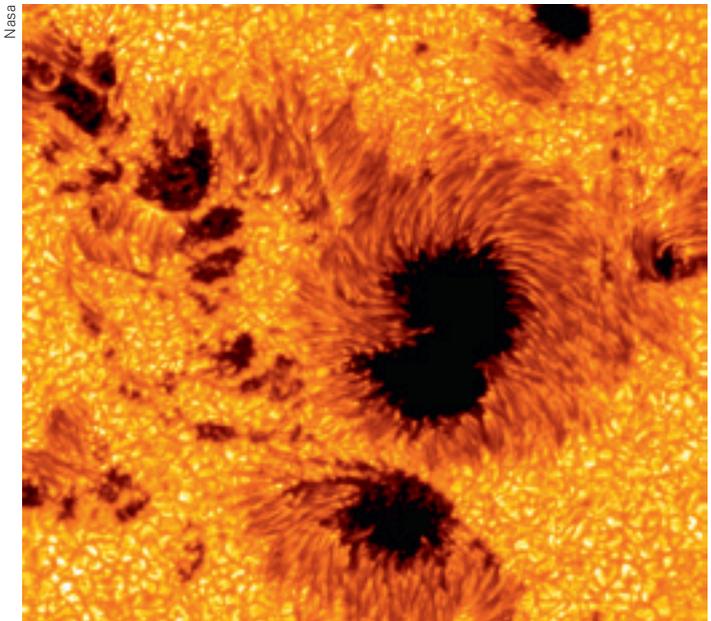


Abb. 1: Ein Ausschnitt der Sonnenoberfläche mit Sonnenflecken.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Sonne als Motor des Klimasystems auch einen Beitrag zur Klimaänderung leistet.

**Periodisch entstehende Sonnenflecken.** Betrachtet man die Sonne im sichtbaren Licht, so sieht man eine makellose, gleisende Scheibe. Es überrascht deshalb nicht, dass die meisten Wissenschaftler bis vor kurzem angenommen haben, dass die Sonneneinstrahlung auf der Erde nur von deren Abstand zur Sonne abhängt. Diese Meinung zeigt sich auch daran, dass die auf die Erde auftretende Sonnenstrahlung von etwa 1360 Watt pro Quadratmeter allgemein als Solarkonstante bezeichnet wurde. Allerdings ist auch schon seit langer Zeit bekannt, dass die Sonne nicht völlig makellos ist. Immer wieder beobachteten Astronomen im Lauf der Zeit das Auftreten dunkler Flecken, die oft als schlechtes Omen galten und deshalb verschwiegen wurden (Abb. 1).

Die Erfindung des Fernrohrs um 1610 ermöglichte es, auch kleinere Flecken zu erkennen. Als 1843 der Apotheker Heinrich Schwabe seine 18 Jahre umfassende Beobachtungsreihe publizierte und die Existenz eines 11-Jahre-Zyklus postulierte, erregte er viel Aufsehen in Wissenschaftskreisen. Rudolf Wolf, der 1855 zum ersten Astronomieprofessor der ETH Zürich gewählt wurde, war von dieser Entdeckung begeistert und machte die Sonnenforschung zu seinem Kernthema. Damit begannen in der Sempster Sternwarte in Zürich die systematischen Zählungen der Sonnenflecken (Abb. 2).

Ausser der im 11-Jahre-Zyklus auftretenden Massierung der Sonnenflecken – die Zykluslänge schwankt effektiv zwischen 8 und 15 Jahren – lässt sich ein Langzeittrend hin zu mehr Sonnenflecken sowie Perioden mit wenig Sonnenflecken erkennen. Besonders auffällig ist die Zeit zwischen den Jahren 1645 und 1715, das so genannte Maunder-Minimum, als fast gar keine Son-

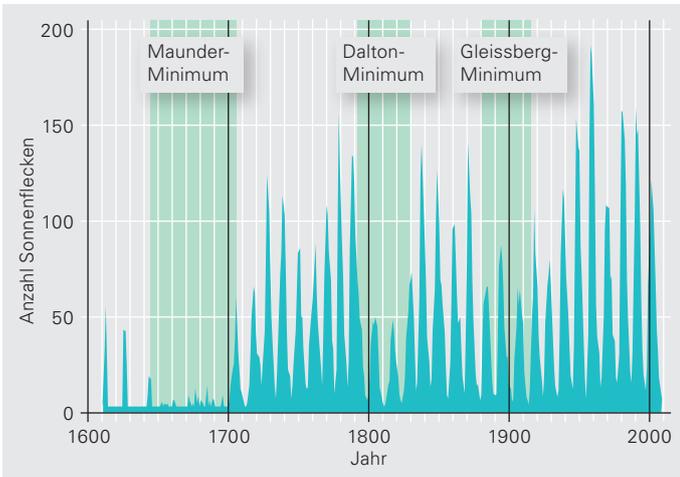


Abb. 2: Die Anzahl Sonnenflecken seit 1609 aufgrund direkter Beobachtungen teilweise aus der Sempfer-Sternwarte in Zürich. Die Fleckenzahl schwankt zyklisch und erreicht etwa alle 11 Jahre ein Maximum.

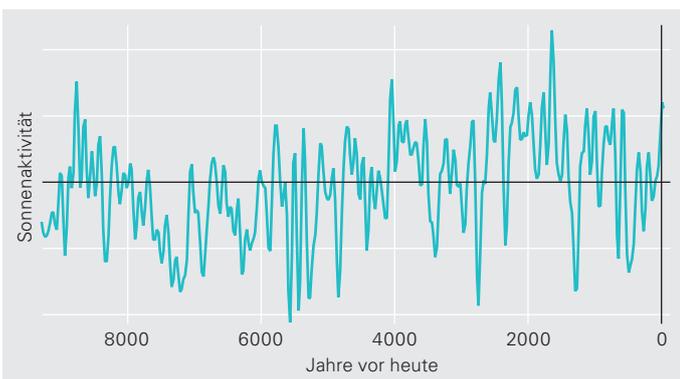
nenflecken zu beobachten waren. Weitere weniger ausgeprägte Minima traten um 1800 und 1900 auf.

Die Sonnenflecken erwiesen sich als erdengrosse Gebiete, in denen starke Magnetfeldbündel die Sonnenoberfläche durchstossen und so das Aufsteigen des rund 6000 Grad heissen Sonnengases behindern. Dies führt zu einer Abkühlung um rund 1500 Grad, was als dunklere Regionen sichtbar wird. Schwabes 11-Jahre-Zyklus ist also das Resultat einer sich ändernden magnetischen Aktivität auf der Sonnenoberfläche.

**Ein Archiv im Eis.** Die 400-jährige Geschichte der Sonnenaktivität in Abbildung 2 sieht zwar interessant aus, zeigt aber nur eine Momentaufnahme in der 4,5 Milliarden Jahre langen Lebensgeschichte der Sonne. Aber wie kann man tiefer in die Vergangenheit zurückblicken, in eine Zeit vor der Erfindung des Fernrohrs, wo keine direkten Beobachtungen mehr existieren? Der Schlüssel hierzu liegt im Eis.

Die Sonne schleudert ständig ionisiertes Gas mit grosser Geschwindigkeit von ihrer Oberfläche ins Weltall. Dieser Sonnen-

Abb. 3: Die Sonnenaktivität der letzten 10 000 Jahre, rekonstruiert aus den Beryllium-10-Konzentrationen im Eis Zentralgrönlands [4].



wind, der einen weiteren Masseverlust von rund vier Millionen Tonnen pro Sekunde verursacht, bildet um das gesamte Sonnensystem eine riesige Blase mit einem Durchmesser, der 100-mal der Distanz von der Erde zur Sonne entspricht. Diese Blase wirkt als Schutzschild gegen die kosmische Strahlung: hochenergetische Teilchen, die mit fast Lichtgeschwindigkeit kreuz und quer durch unsere Galaxie fliegen. Wie stark der Sonnenwind «weht» und wie dicht die Abschirmung ist, hängt von der Aktivität der Sonne ab. Ist diese hoch, generiert dies mehr Sonnenwind und es können weniger kosmische Teilchen in unser Sonnensystem eindringen und umgekehrt.

Gelangt ein Teil der kosmischen Strahlung dennoch in die Erdatmosphäre, so kann sie Atome zertrümmern. Es bilden sich verschiedene Radioisotope wie das Beryllium-10, das mit einer Halbwertszeit von etwa 1,4 Millionen Jahren in Bor-10 zerfällt [1]. Die Berylliumisotope lagern sich nach ihrer Bildung an Aerosole an und werden mit diesen innerhalb von zwei Jahren aus der Atmosphäre ausgewaschen. Geschieht dies in polaren Gebieten, werden sie ins Eis eingelagert.

Durch diesen Vorgang entstand im Eis ein Jahrtausende zurückreichendes Archiv, aus dem sich mithilfe der sich ändernden Berylliumkonzentrationen die Geschichte der Sonne über die letzten 10 000 Jahre rekonstruieren lässt [2, 3].

**Geringe Abkühlung der Erde.** Wie diese Geschichte aussieht, zeigt die Analyse von mehreren Tausend Berylliummessungen, die wir anhand von Eisbohrkernen aus Zentralgrönland durchgeführt haben (Abb. 3). Demnach sind die letzten Jahrzehnte, in denen die Sonne intensiv erforscht wurde, untypisch, da die Sonne in dieser Zeit wesentlich aktiver war als im Mittel in den letzten 10 000 Jahren. Gut sichtbar im Eisarchiv sind die grossen Minima wie das Maunder-Minimum, als es praktisch keine Sonnenflecken mehr gab. Zudem offenbaren die Untersuchungen, dass sich die Sonnenaktivität nicht nur im 11-Jahre-Rhythmus verändert, sondern dass weitere Zyklen von 87, 104, 208, 350, 500, 1000 und 2200 Jahren auftreten.

Dies macht deutlich, dass es Fragen gibt, die sich auch dank der grossen Fortschritte der Wissenschaft bei der direkten Beobachtung der Sonne nicht beantworten lassen, da sie vor allem die Langzeitdynamik betreffen. Kombiniert man aber die detaillierten Kurzzeitinformatoren aus Beobachtungen mit Fernrohren auf der Erde und speziellen Instrumenten auf Satelliten mit den weiter zurückreichenden Daten aus Eisbohrkernen, so entsteht ein wesentlich umfassenderes Bild des Sterns, ohne den es kein Leben auf der Erde gäbe.

Gelingt es, diese beiden Perspektiven zusammenzubringen – und daran arbeiten wir zuzeit intensiv –, so wird man nicht nur die Sonne selber besser verstehen, sondern auch vorsichtige Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Sonnenaktivität und die möglichen Folgen für das zukünftige Klima machen können. So zeigen erste Ergebnisse, dass die Sonnenaktivität in den nächsten Jahren und Jahrzehnten tendenziell abnehmen wird [5]. In der Tat war das Maximum des letzten 11-Jahre-Zyklus sehr lang und ausgeprägt, was als ein erster Hinweis auf eine solche Abnahme interpretiert werden kann.

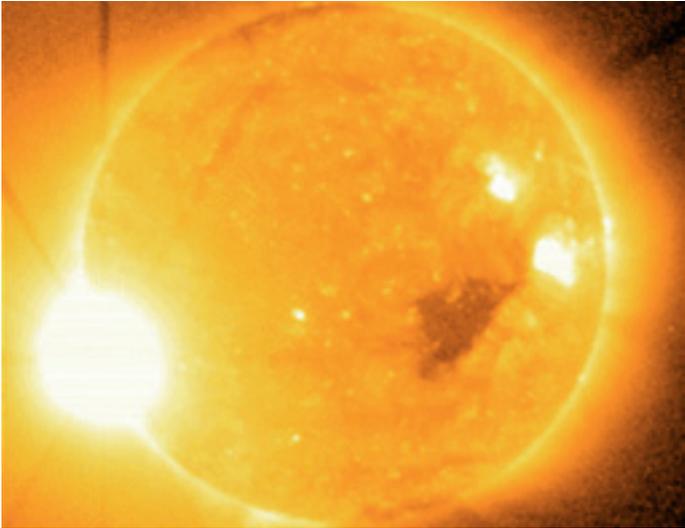


Abb. 4: Ein Flare vom 5. Dezember 2006. Dieses war so stark, dass es das Instrument auf dem GOES-13-Satelliten beschädigte, von dem diese Aufzeichnung stammt.

Da die Sonneneinstrahlung mit der Sonnenaktivität gekoppelt ist, wird dies zukünftig zu einer Abkühlung auf der Erde führen. Diese wird aber nur sehr gering ausfallen und die Erwärmung durch den Treibhauseffekt bei weitem nicht kompensieren. Zudem wird sie auf einige Jahrzehnte beschränkt bleiben, gefolgt von einem erneuten Anstieg der Sonnenaktivität.

**Gefährlicher Sonnenwind.** Am Morgen des 1. September 1859 sass der junge Richard Carrington gerade in seinem privaten Observatorium und zeichnete Sonnenflecken, die sein Fernrohr auf einen Schirm projizierte, als plötzlich zwei starke weisse Lichtflecken auftauchten, die innerhalb einer Minute wieder verschwanden. In der nächsten Nacht kurz vor der Morgendämmerung färbten Nordlichter den ganzen Himmel über Europa rot, grün und purpurn, so hell, dass man Zeitung lesen konnte. Gleichzeitig spielten die Telegrafen verrückt und sprühten Funken, die an einigen Orten sogar Papier in Brand setzten.

Das Phänomen, das Carrington als Erster direkt beobachten konnte, bezeichnen Astronomen als Flare. Es entsteht durch einen plötzlichen Kurzschluss gewaltiger Magnetfelder auf der Sonne (Abb. 4). Dabei werden riesige Energiemengen freigesetzt, die mehreren 100 Millionen Wasserstoffbomben entsprechen.

Während 1859 das ausserordentlich starke Flare, das seither den Namen Carringtons trägt, dank seiner eindrucklichen Nordlichterscheinungen positiv in Erinnerung geblieben ist, würde ein ähnliches Ereignis heute ein globales Desaster mit Schäden im Bereich von einer Billion Dollar verursachen. Der Grund dafür ist, dass unsere hochtechnisierte Zivilisation immer verwundbarer wird. So hat beispielsweise ein Magnetsturm 1989 in Kanada zu Schäden an der Elektrizitätsversorgung geführt mit der Folge, dass sechs Millionen Menschen neun Stunden lang ohne Strom waren. Heute wären nicht nur die Stromnetze betroffen, sondern auch die gesamten Kommunikationssysteme, die GPS-Satelliten und vieles mehr.

Um sich besser gegen diese noch wenig fassbare Gefahr zu schützen und zuverlässige Vorhersagen machen zu können – man spricht in diesem Zusammenhang sogar schon von Weltraumwetter und Weltraumklima – ist es wichtig, solide statistische Grundlagen über die Grösse und Häufigkeit von starken Flares zu erarbeiten. Auch in diesem Fall können Eisbohrkerne wertvolle Informationen liefern.

**Langsam dem Ende entgegen.** Die Sonne und ihre Planeten bildeten sich vor 4,5 Milliarden Jahren aus einer Urwolke von Materie, die ursprünglich aus einer Supernova-Explosion entstanden war. Die Gravitation führte dazu, dass sich die Materie konzentrierte. Aufgrund des Drehimpulserhaltungssatzes konnte sich aber nicht die gesamte Masse zur Sonne verdichten, sondern nur 99,9 Prozent [6]. Der Rest kreist als Planeten um diese.

Infolge der Freisetzung von Gravitationsenergie stieg die Temperatur im Innern der Ursonne auf über 16 Millionen Grad und setzte den Fusionsreaktor in Gang. Modellrechnungen zeigen allerdings, dass die Energieproduktion am Anfang rund 25 Prozent geringer war als heute und seither kontinuierlich ansteigt. Dies führt zu der interessanten Frage, wieso die Erde damals nicht zu einem Eisklumpen erstarrte. Möglicherweise kompensierten höhere Treibhausgaskonzentrationen in der Erdatmosphäre und eine etwas grössere Anfangsmasse der Sonne deren geringere Aktivität.

Der Anstieg der Energieproduktion in der Sonne wird sich auch in Zukunft langsam fortsetzen und in etwa fünf Milliarden Jahren zu einer Erhöhung um 50 Prozent gegenüber heute führen. Dann aber geht der Wasserstoffvorrat allmählich zur Neige. Die Sonne bläht sich zu einem roten Riesen auf, der fast bis zur Erde reicht, und zerstört dort jegliches Leben. Die Energieproduktion kommt gänzlich zum Erliegen und die Sonne schrumpft zu einem unscheinbaren weissen Zwerg in der Grösse der Erde, der sich langsam abkühlt und sich immer stärker in Dunkelheit hüllt.



- [1] Beer J., McCracken K.G., von Steiger R. (2011): Cosmogenic radionuclides: theory and applications in the terrestrial and space environments. Springer, Berlin-Heidelberg.
- [2] Beer J. (2004): Eis und Klima. Eawag News 58, 3–5.
- [3] Vonmoos, M. (2004): Sonne und Klima – Heisse Geschichten aus dem Eis. Eawag News 58, 8–10.
- [4] Steinhilber F., Abreu J.A., Beer J. (2008): Solar modulation during the Holocene. Astrophysics and Space Sciences Transactions 4, 1–6.
- [5] Abreu J.A., Beer J., Steinhilber F., Tobias S.M., Weiss N.O. (2008): For how long will the current grand maximum of solar activity persist? Geophysical Research Letters 35, 1–4.
- [6] Beer J. (2010): Astrophysical influences on planetary climate systems. Heliophysics: evolving solar activity and the climates of space and earth, Cambridge University Press.

# Forschen und lehren für die Praxis

Während fast vierzig Jahren an der Eawag hat Willi Gujer die Siedlungswasserwirtschaft in der Schweiz und international massgeblich mitgeprägt. Wichtig waren dem Forscher dabei immer auch der Brückenschlag in die Praxis und die Ausbildung junger Fachleute. Ein Rückblick und eine Würdigung aus Anlass seiner Pensionierung.

Als Willi Gujer 1974 an der Eawag seine Arbeit begann, florierte in der Schweiz der bauliche Gewässerschutz. Die hohen Fördermittel der Öffentlichkeit über zwei Jahrzehnte konnten eingesetzt werden, um Kanalisationen zu erstellen und Kläranlagen zu erweitern oder neu zu bauen. In dieser Zeit herrschte ein akuter Mangel an Fachkräften, um vor allem die biologische Reinigung und die so genannte dritte und vierte Reinigungsstufe zur Eliminierung von Phosphor aus dem Abwasser nach neuesten Erkenntnissen zu bemessen. Um die Forschung auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung zu stärken, verfolgte der damalige Direktor der Eawag, Werner Stumm, die Strategie, junge Fachleute mit Ausbildung im Ausland am Wasserforschungsinstitut anzusiedeln.

**Neue Wege bei der Abwasserreinigung.** Mit seinen Vorkenntnissen als diplomierter Bauingenieur der ETH und dem Doktorat an der University of Berkeley in Kalifornien, wo er eine Dissertation über das Belebtschlammverfahren geschrieben hatte, war Willi Gujer bestens geeignet, die bereits an der Eawag betriebene Forschung zur biologischen Abwasserreinigung mit modernsten Methoden fortzusetzen und weiterzuentwickeln. Vor allem seine Kenntnisse über Massenbilanzen und kinetische Daten des Belebtschlammverfahrens ermöglichten ihm, die Reinigungsprozesse nicht nur experimentell zu untersuchen, sondern auch mathematisch zu beschreiben. Dank Willi Gujer und weiterer Exponenten der sich damals neu entwickelnden Abteilung für



Markus Boller, Ingenieur und ehemaliger Leiter der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft und Titularprofessor der ETH Zürich.

Stichhaltig und schlagkräftig vertrat Willi Gujer seine Positionen.



Tom Kawara

Ingenieurwissenschaften wurde die Eawag in kürzester Zeit zu einer Kompetenzstelle, die ihr Expertenwissen hilfreich in die zahlreichen Projekte zum Aus- und Neubau von Kläranlagen in der Praxis einbringen konnte.

Der Ausbau der Kläranlage Werdhölzli in der Stadt Zürich wurde zum Paradestück, an dem Willi Gujer exemplarisch neue Wege zur Bemessung von Belebtschlammbecken, Belüftung und Nachklärung für den Abbau organischer Stoffe und für die bakterielle Oxidation von Ammonium (Nitrifikation) aufzeigte. In den 1970er- und 1980er-Jahren machte er im Rahmen der Ausbildungsprogramme des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) ein breiteres Fachpublikum mit den Berechnungstheorien und -methoden bekannt. Die dazugehörigen Forschungsarbeiten fanden auch international viel Beachtung und wurden an zahlreichen nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert.

**Moderne Berechnungsmethoden.** Seine Spezialität, die mathematische Beschreibung der Prozesse der biologischen Abwasserreinigung, entwickelte Willi Gujer zu einem komplexen Gebäude aus Gleichungssystemen. In diesen verknüpfte er die biologischen Vorgänge mit der Beschreibung der Reaktortechnik, so dass das ganze System auch für instationäre Zustände mathematisch beherrschbar wurde. In seiner Habilitationsschrift legte er 1985 den Grundstein für die unter seiner Mitwirkung in internationalen Fachgremien entwickelten Belebtschlammmodelle: Activated sludge model No 1, 2 und 3.

Diese Modelle zusammen mit für Abwasseringenieure entwickelter Software waren die Basis für den Einzug moderner Berechnungsmethoden in die Bemessung und Beurteilung von Abwasserreinigungsanlagen. Damit hat Willi Gujer massgeblich dazu beigetragen, dass es heute möglich ist, Belebtschlammanlagen mit komplexen Fliessschemata aufgrund von Eingangsdaten über Abwassermenge und -qualität zu dimensionieren und ihr dynamisches Verhalten unter den in der Praxis auftretenden Schwankungen von Nährstoffgehalt, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffzufuhr und anderen Prozessgrössen zu simulieren sowie die Ablaufqualität in zeitlich hoher Auflösung zu prognostizieren.

In jener Zeit wurde an der ETH Zürich unter tatkräftiger Mithilfe des Eawag-Personals das Nachdiplomstudium für Siedlungswasserbau und Gewässerschutz (NDS) geschaffen. Erstmals war nun die Ausbildung in diesem sehr aktuellen Fachbereich auch in der Schweiz möglich. Willi Gujer war erster Sekretär des NDS und half die Studienpläne und die Ausbildung im Bereich Abwassertechnik zu gestalten. Es war der Beginn seiner Karriere als Hochschuldozent, die er später mit dem ordentlichen Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH krönte.

**Modelle für Biofilmverfahren.** Seine Forschungsarbeiten konzentrierte Willi Gujer weiterhin auf die biologischen Prozesse der Abwasserreinigung. Im Zuge der Effizienzsteigerung fokussierte er auf die Möglichkeiten der Abwasserreinigung mit sessiler Biomasse. Die mathematische Beschreibung erwies sich dort allerdings als erheblich komplexer als beim Belebtschlammverfahren. Dennoch gelang es ihm, auch für so genannte Biofilmver-



1974 als junger Fachmann mit einer Ausbildung im Ausland an die Eawag geholt, engagierte sich Willi Gujer dort rund 40 Jahre für die Sache der Siedlungswasserwirtschaft.

fahren Modelle mit zugehöriger Software zu entwickeln, welche die Prognose über das Verhalten festsitzender Biomasse unter verschiedensten Betriebsbedingungen erlaubten.

Die Anwendung dieser Modelle erwies sich aber als nicht sehr praxistauglich, da zu viel modellspezifisches Wissen erforderlich war. Immerhin haben die theoretischen Ansätze und die daraus entwickelten Modelle neue Einblicke in das Verhalten von Biofilmen ermöglicht und so zu Optimierungen der unterschiedlichen Verfahren geführt.

Aufgrund seiner erfolgreichen Arbeiten auf dem Gebiet der biologischen Abwasserreinigung wurde Willi Gujer 1991 die Ehre eines «Distinguished Lecturer of the American Association of Environmental Engineering Professors» zuteil, was ihm eine Vortragstournee quer durch die Vereinigten Staaten ermöglichte.

**Präziser Schnelldenker.** In Fachgesprächen verblüffte Willi Gujer seine Partner immer wieder als präziser Schnelldenker. Seine Argumente und Zukunftsperspektiven, stichhaltig und schlagkräftig vorgetragen, waren treibende Kraft in der Eawag. Mit diesen Fähigkeiten übernahm er bereits 1976 die Leitung der Abteilung Ingenieurwissenschaften der Eawag und war ab 2001 überdies Direktionsmitglied.

Im Jahre 1992 wurde er zum ordentlichen Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich gewählt. Sein partieller Rückzug aus der Abteilung Ingenieurwissenschaften ab 1994 ermöglichte ihm, sich auf die Gestaltung neuer Lehrprogramme an der ETH im Bereich Siedlungswasserwirtschaft zu konzentrieren und gemeinsam mit seinen Mitarbeitenden die dazugehörigen Vorlesungs- und Übungsunterlagen zu erarbeiten. Während der Arbeit mit Studierenden und Doktorierenden reifte auch die Erkenntnis, dass die Ausbildung von Leuten an der Basis die nachhaltigste Wirkung zeitigt, um Fachkompetenz in der Praxis zu steigern.

Seine Vorlesungsunterlagen verarbeitete er zu einem ersten Buch mit dem Titel Siedlungswasserwirtschaft, das heute nicht

## Über den praktischen Nutzen einer guten Theorie

Aus Anlass der Pensionierung von Willi Gujer Anfang 2011 und zur Würdigung seines Schaffens im Bereich Siedlungswasserwirtschaft fand im vergangenen Oktober in der Empa-Akademie in Dübendorf ein Symposium statt. Über 130 Besucherinnen und Besucher aus Forschung und Praxis nahmen an der Veranstaltung teil, die unter dem Motto «Über den praktischen Nutzen einer guten Theorie» stand. Aufgeteilt in drei Themenblöcke referierten zumeist ehemalige Doktoranden von Gujer über ihre heutigen Tätigkeitsfelder in der Wissenschaft oder der Praxis. Mit dem Thema des Symposiums und der Auswahl der Referierenden betonten die Organisatoren Gujers Einsatz als Brückenbauer zwischen Forschung und Praxis, was denn auch verschiedene Redner hervorhoben.

**Gemeinsame Projekte von Forschung und Praxis.** Eberhard Morgenroth, Gujers Nachfolger als Leiter der Abteilung Verfahrenstechnik an der Eawag und als Professor für Sied-

lungswasserwirtschaft an der ETH Zürich, sprach über Biofilmverfahren in der Abwasserreinigung. Er nahm unter anderem Bezug auf zwei von Gujer mitverfasste Publikationen zu diesem Thema aus den Jahren 1985 und 1986. Diese hätten ihn über die Jahre begleitet und er habe sie immer wieder konsultiert. «Wir sind bis heute nicht viel weitergekommen», konstatierte Morgenroth.

Auch er strich die Wichtigkeit gemeinsamer Projekte zwischen Forschung und Praxis hervor: Viele der Fragen, die zu einem besseren Systemverständnis führten, könne die Wissenschaft alleine nicht lösen. So seien Fließkanäle im Labor zwar hilfreich, reichten aber nicht immer aus, die Prozesse in einer Kläranlage zu verstehen. Besonders bei Biofilmverfahren bestünden grosse Unterschiede, je nachdem, ob man diese im Becherglas oder in einer Grossanlage studiere. Morgenroth plädierte weniger für einen Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis, sondern vielmehr für gemeinsame Projekte.



**Es braucht einen Leidensdruck.** Reto von Schulthess, Niederlassungsleiter eines unter anderem im Bereich Abwassertechnik tätigen Ingenieurunternehmens, stellte in seinem Vortrag die Frage, ob Forschungsergebnisse überhaupt praxistauglich seien. Dies sei meist dann der Fall, wenn sich sowohl die Wissenschaftler für die Praxis begeisterten als auch die Praktiker für die Wissenschaft, lautete seine Antwort. Nur so mache Forschung in der Abwassertechnik überhaupt Sinn. «Es braucht auf der einen Seite Forschende, die auch gross-technische Versuche wagen sowie gewillt und fähig sind, sich mit Praktikerinnen und Praktikern auf Augenhöhe auszutauschen», sagte er, «und auf der anderen Seite Kläranlagenbetreiber, die offen sind für solche Experimente.»

Als wichtigen Erfolgsfaktor für praxistaugliche Forschung nannte von Schulthess das Vorhandensein eines Leidensdrucks: Würden dringend zu lösende Probleme von der Wissenschaft angegangen, profitiere auch die Praxis. Leidensdruck und Handlungsbedarf bestehen laut dem Fachmann heute unter anderem beim Umgang mit Mikroverunreinigungen, bei der Optimierung des Energieverbrauchs der Abwasserbehandlung oder der Rückgewinnung der endlichen Ressource Phosphor. «Hier brauchen wir Unterstützung von der Wissenschaft», sagte er. Zudem hätten viele schnell wachsende Metropolen im Ausland dringenden Bedarf an angepassten Lösungen. So vergrösserten sich zum Beispiel viele Städte in China rasant und die Belastung der Gewässer sei dementsprechend hoch, Wasserknappheit ein permanentes Problem.

**Attraktive Ausbildung.** Damit das Wissen von der Forschung in die Praxis gelangt, ist nach der Meinung von von Schulthess auch die Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft wichtig. Denn Forschende alleine brächten Projekte nicht bis zur Marktreife, während die Industrie kaum die Möglichkeiten habe, eigene Verfahren zu entwickeln. Eine grosse Bedeutung für den Wissenstransfer misst der Experte ausserdem Fachtagungen und Kursen bei, wie sie etwa der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) oder die Eawag organisieren. Publikationen, in denen Forschungsergebnisse praxisingerecht aufbereitet werden, erachtet er ebenso als wichtiges Bindeglied.

Eine zentrale Rolle spiele schliesslich auch die attraktive Ausbildung von Studierenden und Doktorierenden, ist von Schulthess überzeugt. Die Inhalte müssten aktuell und nutzbringend für die Zukunft sein sowie spannend präsentiert werden, da das Thema Abwasser von sich aus offensichtlich wenig Anziehung ausübe. Damit schloss sich der Kreis zu Willi Gujer, der auch als begabter Lehrer gilt. So verlieh ihm die Studentenschaft der ETH Zürich zweimal die goldene Eule für seine exzellente und engagierte Lehre. Zudem erhielt er den Credit Suisse Award for Best Teaching. (aj)

nur die Studierenden durch ihre Ausbildung begleitet, sondern auch den Praktikern als gute Grundlage bei der Planung von Abwasser- und Trinkwasseranlagen dient. Gegen Ende seiner Karriere schrieb Willi Gujer ein weiteres Buch, Systems Analysis for Water Technology, das vor allem den fortgeschrittenen Studierenden und den Spezialisten für Wassertechnologie in der Praxis sehr dienliche Informationen zur Verfahrenstechnik der Wasserbehandlung liefert.

**Urinseparierung – ein Zukunftskonzept.** Als Professor diversifizierte und verbreiterte Willi Gujer seine Forschungsperspektiven. Dem an der Eawag und an der ETH bis anhin eher marginal behandelten Thema Kanalisationstechnik verlieh er neue Impulse. Vor allem die Forschung über Prozesse der Ex- und Infiltration in Abwasserkanälen und zu den Wechselwirkungen zwischen Abwassertransport und Kläranlage verfolgte er mit Hilfe mehrerer Dissertationen.

Ebenso war es ihm ein Anliegen, seine Ideen zu neuen dezentralen Abwasserkonzepten als Alternative zur über 60 Jahre etablierten Entsorgungstechnik dem Fachpublikum näherzubringen. Unter tatkräftiger Mitwirkung seiner Frau konnte er zum Beispiel im Bereich der Urinseparation mittels neuer Sanitärtechnik auch international Akzente setzen, die zumindest da und dort zu ersten Umsetzungen in die Praxis geführt haben. Die Rückgewinnung der wichtigsten Nährstoffe aus dem Abwasser und die gleichzeitige Kontrolle eines Teils der störenden Mikroverunreinigungen ist ein Konzept, das in Zukunft mit Sicherheit an Aktualität gewinnen wird. Die gegenwärtig stattfindende Fortführung der Forschung zur Abtrennung und Aufbereitung von Urin und ihre technische Umsetzung nach der Ära Gujer liegen auf jeden Fall im Interesse der Initiatoren.

**Erbe in guten Händen.** In den letzten Jahren widmete sich Willi Gujer einem Thema, dem der Siedlungswasserbau bislang wenig oder gar keine Beachtung geschenkt hat: der Frage, wie aussagekräftig Messdaten und Modellparameter überhaupt sind. Hier kamen seine exzellenten Fähigkeiten zu abstraktem Denken sowie seine Kenntnisse über stochastische Prozesse und deren mathematische Handhabung nochmals zur Geltung. Verschiedene Doktorandinnen und Doktoranden verfolgten unter seiner Leitung dieses Thema und brachten Licht in die Aussagekraft von Messdaten und Modellberechnungen. Auch wenn die Praxis bisher noch wenig von diesen Einsichten in die Verfahrenstechnik übernommen hat, sind es einige ehemalige Doktorierende, die mit diesen Arbeiten die «Schule Gujer» über dessen Pensionierung hinaus fortsetzen.

Dass Willi Gujers Schaffen weitergetragen wird, zeigte auch eine im Oktober 2011 zu seinen Ehren veranstaltete Tagung (siehe Kasten). Als jahrzehntelanger Fachkollege konnte man dort mit Genugtuung feststellen, dass sich das Ingenieurwesen in der Siedlungswasserwirtschaft über eine Generation hinweg massiv weiterentwickelt hat und dass die in dieser Zeit ausgebildeten Fachleute zu neuen Schlüsselpersonen avanciert sind, die sein Erbe in Wissenschaft und Praxis verwalten und weiterbringen können. ○ ○ ○

## Ehrung für Sandec

Im November 2011 wurde die Forschungsabteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec) der Eawag am zweiten Kongress der International Water Association (IWA) in Kuala Lumpur in Malaysia mit dem IWA Development Solutions Award ausgezeichnet. Die IWA vergibt diesen Preis in Anerkennung für herausragende Innovationen oder Beiträge in Wissenschaft und Praxis, die eine nachweisliche Wirkung auf nationaler, regionaler oder internationaler Ebene in Niedriglohnländern erzeugt haben. Die angewandte Forschung und die hohe Qualität seiner wissenschaftlichen Arbeit mache Sandec zu einem verlässlichen Partner für die akademischen Institutionen, die in Niedriglohnländern arbeiteten, so die Jury. Christian Zurbrügg, der Leiter von Sandec, der den Preis im Namen seiner Abteilung entgegennahm, betont die Wichtigkeit alternativer und innovativer Lösungen in seinem Tätigkeitsbereich sowie die Zusammenarbeit zwischen lokalen Verwaltungen, Privatwirtschaft, Praxis, Forschung und Entwicklungsorganisationen. Neben Sandec wurde auch die Bremen Overseas Research & Development Association (Borda) ausgezeichnet.

[www.iwahq.org/sn/about-iwa/honours-and-award](http://www.iwahq.org/sn/about-iwa/honours-and-award)

## Neuer Leiter der Umweltmikrobiologie



Seit dem Juli 2011 leitet Martin Ackermann die Abteilung Umweltmikrobiologie der Eawag. Er ist ausserordentlicher Professor für molekulare mikrobielle Ökologie an der ETH Zürich. Er und seine Forschungsgruppe beschäftigen sich mit grundsätzlichen Fragen zur Evolution und Ökologie von Bakterien in ihrer natürlichen Umwelt.

[www.eawag.ch/forschung/umik](http://www.eawag.ch/forschung/umik)

## Neue Assistenzprofessur in Policy-Analyse



Seit August 2011 ist Karin Ingold als Assistenzprofessorin für Policy-Analyse mit Schwerpunkt Umweltpolitik tätig. Die Assistenzprofessur mit Tenure Track (Option auf eine unbefristete Professur) wurde am Institut für Politikwissenschaft an der Universität Bern neu geschaffen und wird von der Eawag mitfinanziert. Sie dient dem Aufbau eines gemeinsamen Forschungsschwerpunkts zwischen der

Eawag und der Universität Bern im Bereich des Wasserressourcen-Managements und der Wasserpolitik. Karin Ingold ist Politikwissenschaftlerin und beschäftigt sich im Bereich der Wasser-,

Energie- und Klimapolitik mit der Analyse politischer Prozesse und Fragen im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen. Die Forschungsgruppe Policy-Analyse ist an der Universität Bern angesiedelt.

[www.ipw.unibe.ch/content/team/karin\\_ingold](http://www.ipw.unibe.ch/content/team/karin_ingold)

## Wechsel vom EDI ins EVD

Ab 2013 gehört der ETH-Bereich und damit auch die Eawag nicht mehr zum Eidgenössischen Departement des Innern (EDI), sondern zum Volkswirtschaftsdepartement (EVD). Der Bundesrat hat im Sommer 2011 beschlossen, die Departemente neu zu gruppieren und den Bereich Bildung, Forschung und Innovation unter dem Dach des EVD zu vereinigen. Dort ist heute bereits das Bundesamt für Berufsbildung und Technologie angesiedelt.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

## Projet Lac: die Fischvielfalt erfassen

Ein internationales Forscherteam unter der Leitung von Ole Seehausen von der Abteilung Fischökologie und Evolution der Eawag und dem Naturhistorischen Museum Bern geht den Alpen- und Alpenrandseen auf den Grund: Im Projet Lac sollen die Fischbestände systematisch wissenschaftlich erfasst und beschrieben werden. Denn über die Artenvielfalt in den grössten Seen Europas ist wenig bekannt. Bis jetzt haben die Wissenschaftler den

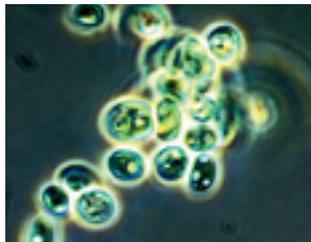
Stefan Kubli



Murtensee und zwei Gewässer in Annecy und Bourget, Frankreich, befishet. Die Erhebungen im Murtensee zeigen, dass dort über ein Drittel der beschriebenen Fischarten verschwunden ist. Gleichzeitig fanden die Forschenden etliche bis dahin unbekannte Arten.  
[www.eawag.ch/medien/bulletin/20110901](http://www.eawag.ch/medien/bulletin/20110901)

## Nanoröhrchen beeinflussen Grünalgen

Immer mehr Konsumgüter enthalten Nanopartikel. Wie sich diese auf die Umwelt, insbesondere auf die aquatischen Lebensräume, auswirken, ist jedoch noch weitgehend unbekannt. Um das zu ändern, arbeiten Wissenschaftler der Eawag und der Empa in diesem Bereich teilweise zusammen. So konnte eine kürzlich erschienene Studie der Empa und der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, an der auch die Eawag mitgearbeitet hat, aufzeigen, dass Kohlenstoff-Nanoröhrchen für Grünalgen zwar nicht direkt toxisch sind, aber deren Wachstum beeinträchtigen, indem sie ihnen Licht und Platz nehmen.



[www.empa.ch/plugin/template/empa/1256/113921/---/l=1](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/1256/113921/---/l=1)

## Peak-Kurse breiter abgestützt

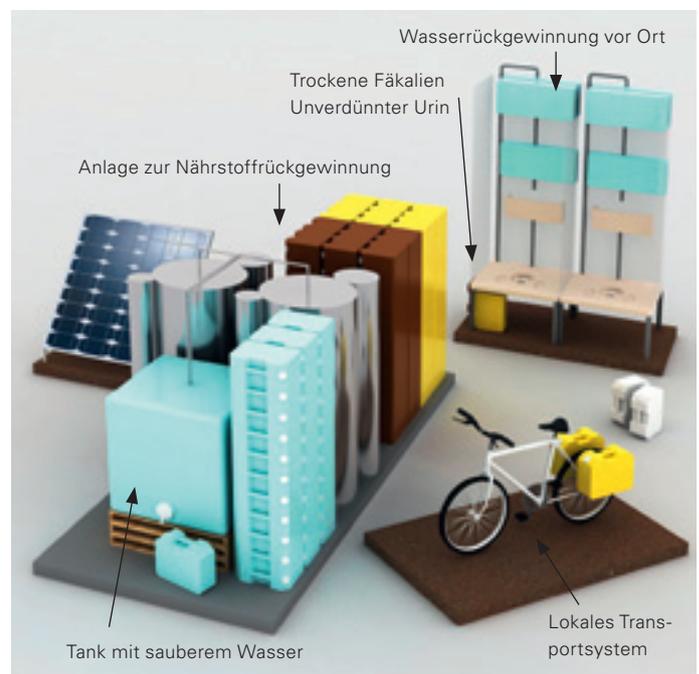
Bei den praxisorientierten Eawag-Kursen (Peak) ist der Name Programm. Sie fördern den Austausch zwischen der Wissenschaft und der Praxis, vermitteln aktuelles Wissen aus der Forschung und helfen auch den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, sich untereinander zu vernetzen. Sie richten sich an Fachleute aus Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und Nichtregierungsorganisationen. Um deren Bedürfnissen in Zukunft noch besser gerecht zu werden, hat die Eawag nun ein internes Komitee gegründet, das sich verstärkt der Abstimmung von Nachfrage und Angebot von Kursthemen widmet.

Kontakt: Evelin Vogler, [evelin.vogler@eawag.ch](mailto:evelin.vogler@eawag.ch)  
[www.eawag.ch/lehre/peak](http://www.eawag.ch/lehre/peak)



## Die Toilette neu erfinden

Kein geringeres Ziel hat sich ein interdisziplinäres Team unter Leitung von Tove Larsen von der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft der Eawag gesetzt, als die Toilette neu zu erfinden. Produkt des Projektes soll eine Toilette sein, die Urin und Fäkalien für die weitere Behandlung separat sammelt und gleichzeitig Betriebswasser lokal rezykliert. Das ehrgeizige Vorhaben wird von der Bill-und-Melinda-Gates-Stiftung mit rund 400 000 Dollar unterstützt. Damit ist dies bereits das zweite Forschungsprojekt der Eawag, das von der Stiftung mit einer Finanzierung bedacht worden ist.



## Ausgezeichneter Eawag-Nachwuchs

**Andreas Kretschmann**, Umweltchemiker und ehemaliger Doktorand der Eawag, hat für seine Publikation «Toxicokinetic model describing bioconcentration and biotransformation of Diazinon in *Daphnia magna*» in der Zeitschrift *Environmental Science & Technology* 45 (2011) von der Gesellschaft Deutscher Chemiker den Preis der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie erhalten. Die Auszeichnung wurde anlässlich der International Conference on Chemistry and the Environment der European Association for Chemical and Molecular Sciences im September 2011 verliehen.

**Saskia Zimmermann**, Doktorandin der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser der Eawag, wurde für ihre Dissertation «Enhanced wastewater treatment by ozone and ferrate: kinetics, transformation products and full-scale ozonation» von der ETH Zürich mit dem Otto-Jaag-Gewässerschutz-Preis im Rahmen des ETH-Tags am 19. November 2011 ausgezeichnet.

# In Kürze

## Agenda

### Kurse

28.–29. März 2012, ETH Lausanne

**Introduction à l'écotoxicologie**

10.–11. Mai 2012, Eawag Dübendorf

**Erfolgreiche Revitalisierung von Fließgewässern**

4.–8. Juni 2012, Eawag Dübendorf

**PhD Summer School in environmental systems analysis**

6. Juni 2012, Eawag Kastanienbaum

**Fachtagung Schadstoffe in Seesedimenten**

### Führungen

8. Dezember 2011, Eawag Dübendorf

**Öffentliche Führung durch die Eawag Dübendorf**

### Tagungen

12. Januar 2012, Eawag Dübendorf

**Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter – Erfahrungsaustausch und Diskussion nach vier Jahren STORM**

22. Juni 2012, ETH Zürich

**Infotag 2012: Lebensraum Wasser – was er leistet, was er braucht**

28.–29. Juni 2012, Eawag Dübendorf

**Tagung des European network for alternative testing strategies on ecotoxicology**

Weitere Informationen: [www.eawag.ch/veranstaltungen](http://www.eawag.ch/veranstaltungen)

## Europäisches Exzellenzprojekt Athene gestartet

Unter der Leitung des Eawag-Wissenschaftlers Adriano Joss der Abteilung Verfahrenstechnik und Thomas Ternes von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Deutschland ist im Oktober 2011 das Forschungsprojekt Athene gestartet. Ziel des Forschungsvorhabens ist ein besseres Verständnis des mikrobiellen Abbaus organischer Schadstoffe – zum Beispiel aus Antibiotika, Schmerzmitteln oder Bioziden – in der biologischen Abwasserreinigung. Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse über die Abbauwege und enzymatischen Prozesse sollen innovative technologische Konzepte einer biologischen Abwasserreinigung aufgestellt und praktisch erprobt werden. Das Projekt läuft über fünf Jahre und ist mit einem Budget von rund 3,5 Millionen Euro ausgestattet.

## Eawag-Publikationen

Alle Publikationen der Eawag-Forscherinnen und -Forscher samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel sind in der Eawag-Bibliothek Lib4RI erhältlich. Darin enthaltene «open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden:

[www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html](http://www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html)

Bei Problemen: [info@lib4ri.ch](mailto:info@lib4ri.ch)

## Neu erschienen



Die Wasser-Agenda 21, das Akteurnetzwerk der Schweizer Wasserwirtschaft, und die Bundesämter für Landwirtschaft und Raumplanung haben unter dem Titel **«Einzugsgebietsmanagement»** ein Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz herausgegeben. Dieses soll Anstöße für eine moderne und sektorenübergreifende Gewässerbewirtschaftung geben, die sowohl Schutz- als auch Nutzungsinteressen einbezieht. <http://wa21.ch/index.php?page=303>

Was ist eigentlich genau eine Gewässerrevitalisierung? Was gilt es dabei zu beachten? Wie profitieren die Fische davon? Welche Rolle spielen Fischerinnen und Fischer? Die neue Broschüre der Fischereiberatungsstelle Fiber **«Revitalisierung von Fließgewässern – Fische im Fokus»** gibt auf solche Fragen konkrete Antworten und liefert einen guten Überblick über die Theorie und Praxis von Revitalisierungsmassnahmen.

[www.fischereiberatung.ch/docs](http://www.fischereiberatung.ch/docs)



Zu wichtigen aktuellen Themen bietet die Eawag auf ihrer Website verschiedene **Faktenblätter** an. Neu herausgekommen sind Informationen zu den Themen Wasserkraft und Ökologie, Wasser und Energie sowie zur Nutzung von Regenwasser.

[www.eawag.ch/medien/publ/fb](http://www.eawag.ch/medien/publ/fb)

Mit den **«Community-Led Urban Environmental Sanitation Guidelines»** hat die Eawag einen Leitfaden für die Praxis entwickelt, der die Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten im Bereich Siedlungshygiene in Entwicklungsländern erleichtern soll.



Dieser umfasst sieben Planungsschritte und ist in einfacher Sprache gehalten, damit ihn auch Nichtfachleute verwenden können. Ein zentraler Aspekt für eine erfolgreiche Umsetzung ist dabei, alle beteiligten Akteure in den Prozess einzubinden.

[www.eawag.ch/forschung/sandec/gruppen/sespl/clues](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/gruppen/sespl/clues)