

## Gemeinsam für saubere Wasserressourcen – Internationale Kooperationen



**Als Beitrag zur Verbesserung der globalen Wasserversorgung fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen von Forschungs- & Entwicklungsprojekten Technologien und Managementkonzepte für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserressourcen. Zielgebiete der zurückliegenden Förderperiode waren vor allem Asien, der Nahe Osten, Osteuropa und Afrika.**

In Deutschland bewährte Techniken und Verfahren müssen in der Regel an die regionalen, wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse angepasst werden. Besonders wichtig ist hier die Ausbildung einheimischer Fachkräfte. Know-how an die Verantwortlichen vor Ort zu vermitteln und sie so in die Lage zu versetzen, Projekte selbst umzusetzen oder fortzuführen, ist ein zentrales Anliegen der internationalen Wasserforschungsprojekte. Deutsche Unternehmen bringen wertvolles technisches Wissen in diese Forschungs- und Entwicklungsprojekte ein. Die vom BMBF geförderten Vorhaben tragen somit auch dazu bei, der deutschen Wasserbranche neue Exportmärkte zu erschließen – auf einem Feld, das in den nächsten Jahrzehnten deutliche Zuwachsraten verzeichnen dürfte.

**Beispiel Indonesien.** Die Südküste der Insel Java ist eine der ärmsten Regionen Indonesiens. Den Menschen fehlt es an Wasser, obwohl es im Untergrund große Vorräte gibt. Über ein verzweigtes unterirdisches Gewässersystem mit weit mehr als 1.000 Höhlen fließt das Wasser bisher jedoch ungenutzt ins Meer. In dem Projekt „Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer in Mitteljava, Indonesien“ haben Wissenschaftler aus Deutschland und Indonesien ein kleines unterirdisches Wasserkraftwerk gebaut, mit dessen Hilfe Wasser für etwa 80.000 Menschen an die Oberfläche befördert werden kann (Projekt 2.5.01).

**Beispiel China.** Das deutsch-chinesische Forschungsprojekt „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserkonzepts für den Olympischen Park in Beijing, 2008“ hatte im Vorfeld der Olympischen Sommerspiele 2008 in Peking ein Wasserkonzept für den rund 550 Hektar großen Olympischen Park erarbeitet. Es soll geprüft werden, ob die Ergebnisse auch auf weitere Regionen des Landes sowie andere Staaten übertragen werden können (Projekt 2.5.02). Die vielen hygienisch relevanten Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Protozoen, Wurmeier), die im Abwasser – selbst nach einer biologischen Reinigung – vorhanden sind, erfordern eine adäquate Behandlung des Abwassers vor dessen Wiederverwendung. Bei der Chlorung ist aber mit der Bildung

von unerwünschten Desinfektionsnebenprodukten zu rechnen. Ein Vergleich von Abläufen hat gezeigt, dass es Alternativen zur üblichen Abwasserbehandlung gibt. Das Institut IWAR der Technischen Universität Darmstadt hat vier dieser Alternativverfahren in China getestet (Projekt 2.5.08).

**Beispiel Iran.** Mashhad ist die zweitgrößte Stadt des Iran und liegt in einer ariden Zone. Um die Bevölkerung mit nitratarmen Trinkwasser versorgen zu können, hat das BMBF in Kooperation mit dem iranischen Energieministerium das Projekt „Demonstration verschiedener in Deutschland entwickelter Hochleistungsverfahren zur Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser und ihre Anpassung an die Aufbereitung von hoch mit Natriumnitrat und anderen Salzen belasteten Grundwässern am Beispiel der Trinkwasseraufbereitung der Stadt Mashhad, Iran“ durchgeführt (Projekt 2.5.03).

**Beispiel Russland.** Mit 3.500 Kilometern ist die Wolga der längste Fluss Europas. Massive Eingriffe haben den Strom wie kaum einen anderen verändert – mit komplexen Folgen für Mensch und Umwelt. Ein deutsch-russisches Projekt hat nachhaltige Lösungen für die ökonomische und umweltschonende Bewirtschaftung der Wolga und ihrer Zuflüsse entwickelt (Projekt 2.5.04).

**Beispiel Vietnam.** Für Vietnam ist Steinkohle ein wichtiger Energieträger, ihr Abbau führt jedoch zu erheblichen Umweltschäden. Ziel des deutsch-vietnamesischen Projekts „RAME (Research Association Mining and Environment)“ in der Provinz Quang Ninh ist es, Sanierungstechnologien des deutschen Kohlenbergbaus für Vietnam nutzbar zu machen (Projekt 2.5.05).

**Beispiel Israel.** Wissenschaftler aus Deutschland und Israel haben gemeinsam neue Messverfahren entwickelt, die als Grundlage kontinuierlicher Überwachung des Schadstoffgehalts in Trinkwasserquellen in Israel dienen können (Projekt 2.5.06). In einem weiteren in dieser Broschüre vorgestellten Projekt versuchen deutsche und israelische Wissenschaftler durch „Wolkenimpfung“ der Austrocknung des Landes entgegenzuwirken (Projekt 2.5.07).



## Angepasste Technologie – Ein unterirdisches Wasserkraftwerk auf Java

**Die Südküste der Insel Java ist eine der ärmsten Regionen Indonesiens. Den Menschen fehlt Wasser, obwohl es unter der Erde große Vorräte gibt – in weit mehr als 1.000 Höhlen; über ein verzweigtes unterirdisches Gewässersystem fließt das Wasser jedoch in das Meer ab. Wissenschaftler aus Deutschland und Indonesien haben für eine Region auf Java eine einfache Lösung gefunden: ein unterirdisches Kleinkraftwerk, das genug Wasser an die Oberfläche befördert, um etwa 80.000 Menschen versorgen zu können.**

Die rund 1.400 Quadratkilometer große Karstlandschaft in der Region Gunung Sewu auf Java ist von Hunderten miteinander verbundenen Höhlen und unterirdischen Flüssen durchzogen. Obwohl unter der Erde ausreichend Wasser vorhanden ist, leiden die Bewohner der Region in der Trockenzeit unter Wassermangel, weil geeignete Speicher fehlen – die wenigen Niederschläge versickern schnell im karstigen Boden. In der Regel befördern mit Dieselgeneratoren betriebene Pumpen das Wasser aus den Höhlen an die Oberfläche. Einmal abgesehen vom Energieverbrauch und den hohen Betriebs- und Wartungskosten: Die Fördermenge reicht nicht aus, um den Wasserbedarf von privaten Haushalten, Gewerbe und Landwirtschaft zu decken.

### Wasser aus Höhlen

Eine im Auftrag des BMBF durchgeführte Machbarkeitsstudie kam zu dem Ergebnis, dass es technisch möglich wäre, das Höhlenwasser mittels Wasserkraft zu fördern. Dies war der Ausgangspunkt für das 2002 gestartete deutsch-indonesische Pilotprojekt **„Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Karstfließgewässer in Mitteljava, Indonesien“** zum Bau einer Demonstrationswasserkraftanlage in Gunung Sewu. Unter Leitung des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) waren sieben Institute unterschiedlicher Fachdisziplinen sowie industrielle Partner beteiligt (Tunnelvortriebs-, Pumpen- und Regelungstechnik).

Nach intensiven Erkundungen vor Ort fiel die Wahl auf die Höhle (Gua) Bribin. Sie hat ein Speichervolumen von etwa 300.000 Kubikmetern, der Wasserdurchfluss beträgt selbst in der Trockenzeit über 1.000 Liter pro Sekunde. Die Projektteilnehmer entschieden sich für den Bau eines Sperrwerks in der Höhle, um das kontinuierlich zuströmende Wasser aufzustauen, einen Teil davon mittels



Bohrstelle im Karstgebiet

Kleinkraftwerk über eine 100 Meter lange Steigleitung zu fördern und so rund 80.000 Menschen in den umliegenden Hüttensiedlungen zu versorgen. Bewusst konzentrierten sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf einfach handhabbare Techniken, die an die Bedürfnisse von Mensch und Natur vor Ort angepasst sind.

Um die potenziellen Einstauhöhen und Speichervolumina zu bestimmen, wurden große Teile der Höhle mittels modernster Lasertechnik exakt vermessen, die Daten anschließend zu einem hochaufgelösten, dreidimensionalen Modell zusammengeführt. Die Porosität und die mineralogische Zusammensetzung des Gesteins ermittelten die Forscher durch makro- und mikroskopische Untersuchungen von Proben. Sie schufen damit eine wichtige Voraussetzung, eventuelle Wasserverluste und Korrosionserscheinungen prognostizieren und so die langfristige Stabilität des Systems beurteilen zu können. Anschließend installierten sie ein Messnetz, um die Gewässergüte sowie die hydrologischen, hydraulischen und hydrogeologischen Zustände kontinuierlich zu erfassen.

Nach der Erschließung des Projektgebiets führte das Department of Public Works, Yogyakarta, auf Grundlage der vom IWG erhobenen Vermessungsdaten eine erste Sondierungsbohrung (103 m) durch. Nach einer weiteren Bohrung und einer detaillierten Analyse der Bohrproben begannen im Sommer 2004 die Arbeiten an einem Zugangsschacht; die Firma Herrenknecht AG entwickelte



Erkundungen des Höhlensystems

hierfür eine an die örtliche Situation angepasste Vertikalvortriebsmaschine und grub einen rund 100 Meter tiefen Schacht mit einem Durchmesser von 2,5 Metern. Der Durchbruch in die Höhle erfolgte im Dezember 2004.

### Pumpen statt Turbinen

Für die Konstruktion der Staumauer mit integrierter Kleinwasserkraftanlage wurden verschiedene Bau-, Material- und Ausführungsvarianten untersucht. Dabei ging es neben der optimalen Funktionsfähigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit auch darum, die Betriebstechnik der Kleinwasserkraftanlage hinsichtlich ihrer Steuerung, Wartung und Instandhaltung an die Fähigkeiten und den Ausbildungsstand des technischen Personals vor Ort anzupassen: Deshalb kommen zur Energiegewinnung invers betriebene Pumpen statt Turbinen zum Einsatz, die in Zusammenarbeit von IWG und der Firma KSB AG entwickelt wurden. Sie sind kostengünstig, sehr robust und wartungsfreundlich.

### Erdbeben unterbrach die Arbeiten

Nach Abschluss der Planungen begann im April 2005 der Bau des unterirdischen Sperrwerks. Ende 2005 mussten die Bauarbeiten aufgrund der frühen Regenzeit unterbrochen werden; kurz nach Wiederaufnahme der Arbeiten im Mai 2006 ereignete sich ein schweres Erdbeben der Stärke 6,3 auf der Richterskala, dessen Epizentrum nur 30 Kilometer entfernt lag. Die Baustelle selbst blieb weitestgehend unversehrt, jedoch stieg der Wasserstand nach dem Beben an der Baustelle um rund zwei Meter – weitere Bauarbeiten waren nicht möglich. Deutsche Berufstauer stellten fest, dass der Anstieg des Wasserspiegels durch einen Versturz hinter dem flussabwärts folgenden Siphon verursacht wurde. Insgesamt blockierten über 1.000 Kubikmeter Geröll an dieser schwer zugänglichen Stelle den Fließquerschnitt. Ende 2006 sprengten deutsche und indonesische Spezialisten eine Schneise in diesen Versturz – ab Juni 2007 konnten die Arbeiten fortgeführt werden.



Bauarbeiten in der Höhle

Im August 2008 erfolgte nach erfolgreicher Fertigstellung der Staumauer sowie der Installation des ersten Fördermoduls ein erster Probееinstau unter großer Anteilnahme der Öffentlichkeit. Aufgrund von Sättigungsprozessen im umgebenden Gebirge wurde die Einstaudauer auf ein bis zwei Wochen geschätzt – tatsächlich war das Stauziel von 16 Metern bereits nach weniger als zwei Tagen erreicht. Während des Probееinstaus erfolgte auch ein Testbetrieb des ersten Fördermoduls, hier ließ sich eine Förderleistung von 20 Litern pro Sekunde am Ende des 100 Meter langen, vertikalen Steigrohrs messen – das Ergebnis entsprach den Erwartungen. Noch vier weitere Fördermodule sowie ein elektrisches System zur Anlagensteuerung wurden installiert.

Somit konnten die Projektpartner die Anlage im März 2010 an die zuständige indonesische Behörde übergeben, deren Mitarbeiter durch Schulungen auf den selbständigen Betrieb der Anlage vorbereitet waren. Um das Verhalten der Anlage im Dauerbetrieb bewerten und bei eventuell auftretenden Problemen helfen zu können, begleitet das KIT den Betrieb während der Laufzeit des Nachfolgeprojekts „Integriertes Wasserressourcen Management (IWRM) in Gunung Kidul, Java, Indonesien“ (siehe Projekt 1.3.05).

Projekt-Website ► [www.iwrm-indonesien.de](http://www.iwrm-indonesien.de)

#### Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Franz Nestmann  
Dr.-Ing. Peter Oberle  
Dr.-Ing. Muhammad Ikhwan  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 07 21/6 08 63 88  
Fax: 07 21/60 60 46  
E-Mail: [peter.oberle@kit.edu](mailto:peter.oberle@kit.edu)  
Förderkennzeichen: 02WT0424

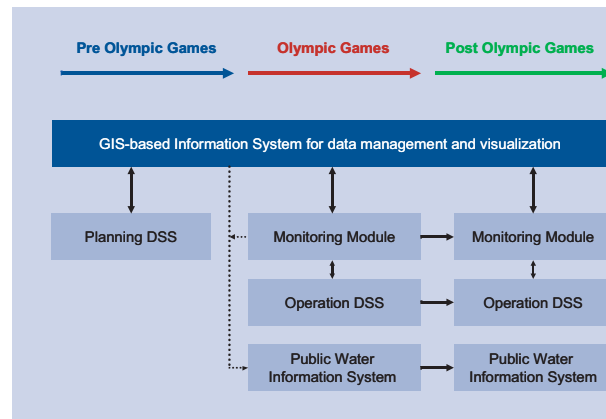
## Olympiade 2008 in Peking – Ein Konzept für die Wassernutzung

Anlässlich der Olympischen Sommerspiele 2008 in Peking war die chinesische Regierung bestrebt, die Umweltbelastungen in der Region um die Hauptstadt deutlich zu verbessern. Ein deutsch-chinesisches Forschungsprojekt erarbeitete deshalb ein beispielhaftes Wasserkonzept für den rund 550 Hektar großen Olympischen Park, der im Norden der Metropole entstanden ist. Eine zentrale Rolle spielten ein großer künstlicher See sowie ein künstlicher Fluss innerhalb der Parkanlage.

Die Umweltsituation im Ballungsraum Peking (Beijing) ist sehr angespannt. Nicht nur die Luftverschmutzung, auch die Wasserversorgung bereitet Probleme: Der Wasserbedarf der Millionenstadt steigt kontinuierlich, während der Grundwasserpegel jährlich um ein bis zwei Meter sinkt und die Wasserqualität abnimmt. Für die Olympiade 2008, die unter dem Motto „Grüne Olympische Spiele“ stand, war ein funktionstüchtiges und störungsfreies Wassermanagement für den Olympischen Park erforderlich, der rund 18.000 Athleten und Funktionäre beherbergte. Seit den Spielen ist der Park eine grüne Erholungszone zwischen Stadt und Umland für die Bewohner. Neben umfangreichen Aufforstungsmaßnahmen ist im Norden des Parks ein etwa 60 Hektar großer See entstanden. Darüber hinaus wurde ein kleinerer Fluss im zentralen Bereich des Olympischen Parkes realisiert. Letzterer wurde mit Wasser höchster Qualität (Umkehrosmose ◀), der See im nördlichen Bereich wurde mit aufbereitetem Kommunalabwasser nach Mikrofiltration ◀ befüllt.

### Öffentliche und private Partner

Das bilaterale Verbundprojekt „Entwicklung eines nachhaltigen Wasserkonzepts für den Olympischen Park in Beijing, 2008“ sollte zum nachhaltigen Umgang mit der knappen Ressource Wasser über das Jahr 2008 hinaus beitragen – mit der Perspektive, die hier gemachten Erfahrungen auf weitere Regionen des Landes sowie andere Staaten zu übertragen. An dem vom Ministerium für Wissenschaft und Technologie (MOST) der Volksrepublik China und dem BMBF geförderten Projekt waren neben der Universität Duisburg-Essen und der Technischen Universität Berlin auch mittelständische Unternehmen maßgeblich beteiligt: die WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH aus Berlin (heute: DHI-Wasy GmbH), das Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH, die GeoTerra GmbH sowie das Beratungsunternehmen Obermeyer aus München. Die Projektteilnehmer auf chinesischer Seite waren die



OWIS – Olympic Water Information System

Tsinghua Universität Beijing und die Wasserbehörde Pekings (Beijing Water Authority). Neben der detaillierten Bestandsaufnahme der Planungsgrundlagen beschäftigte sich das Projekt mit dem Einsatz wassersparender Haustechnologien im Olympischen Dorf, modernen Techniken der Abwasser- und Regenwasserbehandlung oder mit der Gewässergestaltung im Olympischen Park. Zu den Ergebnissen gehört ein für Entscheidungsträger erstelltes Handbuch zum nachhaltigen Wassermanagement in Städten.

Einer der Schwerpunkte des Forschungsprojekts lag in der Auswahl geeigneter Technologien für die Aufbereitung und Wiederverwendung von Abwasser im Olympischen Park, insbesondere für die Seen. Das Recyclingkonzept sah die Kontrolle von Hygiene-, Algen- und Geruchsproblemen durch regulierte Nährstoffkonzentrationen vor. Der Hygienesicherheit diente ein Multi-Barrieren-System (zweifaches Niederdruckmembranverfahren ◀, Bodenfiltration); auf diese Weise ließ sich das aufbereitete Wasser als Brauchwasser für Toiletenspülungen, Springbrunnen oder zur Straßenreinigung nutzen.

### Kombinierte Prozesstechniken

Auf dem Gelände der Kläranlage Beixiaohe im Norden Pekings bauten Wasserspezialisten der Technischen Universität Berlin gemeinsam mit Kollegen von der Tsinghua Universität und der Beijing Drainage Group eine Pilotanlage für alle geplanten Wasserrecyclingverfahren. Zum Einsatz kamen kombinierte, moderne Prozesstechniken: Membranbioreaktoren (MBR), Festbett, Phosphat-Adsorptionsmaterialien und Ultrafiltration ◀ mit naturnahen Aufbereitungsprozessen wie der künstlichen Uferfiltration. Die MBR trennten Biomasse und Keime, wodurch ein





Teil der Pilotanlage im Klärwerk BeiXiaoHe

partikelfreier Ablauf des Wassers gewährleistet war. Weil Orthophosphat im See als Dünger für Algen und Pflanzen wirkt und so das ökologische Gleichgewicht des Gewässers gefährdet, wurde dem Wasser in einem adsorptiven Schritt Orthophosphat entzogen. Die Anlagen bewiesen im vorherigen Testbetrieb (2005) ihre Eignung bezüglich der erforderlichen Wasserqualitäten. Im Testsee der Kläranlage wurden durchgängig **mesotrophe** ◀ Verhältnisse eingehalten, die Brauchwasserqualität war nach der künstlichen Uferfiltration des Testsees und anschließender Ultrafiltrationsmembran sehr gut. Die Ergebnisse aus Demoanlage und Testsee wurden in der ersten Phase des Projekts (2004 – 2008) erarbeitet. Die Empfehlungen der Projektpartner BDG und TUB wurden allerdings nur zum Teil im Olympischen Park umgesetzt, da man für den zentralen Bereich nur aufbereitetes Umkehrosmosewasser einsetzen wollte. Die Partner hatten hier eine Kombination von Biofiltration und Ultrafiltration vorgeschlagen.

## Elektronisches Informations- und Kontrollsystem

Mitarbeiter der WASY GmbH entwickelten mit der Tsinghua Universität das elektronische „Olympic Water Information System“ (OWIS) für die Planer, Veranstalter und Betreiber des Olympiaparks. In diese Datenbank fließen sowohl neue, im Verlauf des Projekts ermittelte Fakten und Forschungsergebnisse als auch bereits vorhandene Daten ein, die die chinesischen Projektpartner verfügbar machten. OWIS ermöglicht es, das Wassersystem im Olympischen Park laufend zu überwachen, ein Alarmmodul ist in das System integriert. Ferner ist OWIS ein effektives Instrument, um die Folgen möglicher Entscheidungen und Ereignisse für das Wassersystem vor Ort abschätzen

Übersichtskarte des Olympischen Parks  
(Quelle: www.strategy4.china.com)

und verschiedene Handlungsoptionen vergleichen zu können – zum Beispiel, welche Maßnahmen erforderlich wären, wenn sich die Wasserqualität im Olympiasee plötzlich dramatisch verschlechterte.

### DHI-WASY GmbH

Prof. Dr. Stefan Kaden (Geschäftsführer)  
Waltersdorfer Straße 105  
12526 Berlin  
Tel.: 0 30/67 99 98-0  
Fax: 0 30/67 99 98-99  
E-Mail: s.kaden@dhi-wasy.de  
Internet: www.dhi-wasy.de  
Förderkennzeichen: 02WA0526

## Nitratbelastung im Iran – Wissensexport verbessert die Trinkwasserqualität

**Weltweit führen Einträge aus der Landwirtschaft oder ungereinigte Abwässer aus Haushalten zu hohen Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Ohne entsprechende Aufbereitung kann daraus gewonnenes Trinkwasser gesundheitsschädlich sein. Um diese Gefahr für die Menschen der iranischen Großstadt Mashhad zu verringern, hat ein deutsch-iranisches Projekt vier verschiedene Verfahren getestet, Nitrat aus dem Grundwasser zu entfernen. Die Ergebnisse helfen zu entscheiden, ob und mit welcher Technik im Iran künftig Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung gebaut werden.**

Die Stickstoffverbindung Nitrat ist natürlicherweise in den meisten Wasservorkommen in geringen Konzentrationen zu finden. Doch seit Jahren steigen in vielen Regionen der Welt die Nitratwerte, oft sind Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft dafür verantwortlich. Auch ungeklärt im Boden versickernde häusliche Abwässer belasten das Grundwasser. Wird aus nitrathaltigem Grundwasser – ohne ausreichende Aufbereitung – Trinkwasser gewonnen, so ist dieses ebenfalls mit Nitrat belastet. Eine zu hohe Nitratkonzentration ist gesundheitsschädlich.

### Stark erhöhte Nitratwerte

Mashhad ist mit über zwei Millionen Einwohnern die zweitgrößte Stadt des Iran und liegt in einer ariden Zone im Nordosten des Landes. Die Wasserversorgung der Stadt beruht zu etwa 85 Prozent auf nicht aufbereitetem Grundwasser. Insbesondere in den Sommermonaten herrscht eine ausgeprägte Wasserknappheit. In den vergangenen Jahren sind die Nitratkonzentrationen zahlreicher Brunnen in Mashhad deutlich gestiegen – auf Werte von 150 Milligramm je Liter (vereinzelt sogar über 250 mg/l). Zum Vergleich: Der Richtwert der Weltgesundheitsorganisation (WHO) liegt bei 50 Milligramm Nitrat je Liter Trinkwasser. Vermutlich sind die hohen Werte darauf zurückzuführen, dass unbehandelte häusliche Abwässer im Boden versickern, was zu einem starken Eintrag von Stickstoff in den **Aquifer** führt. Obwohl sich die Abwassersituation in Mashhad in den vergangenen Jahren deutlich verbessert hat, ist nicht abzusehen, dass sich die Nitratbelastung der Wasserressourcen kurz- oder mittelfristig verringert.

Um die Bevölkerung in Zukunft mit nitratarmen Trinkwasser versorgen zu können, hatten das iranische Energieministerium und das BMBF im Jahr 2002 eine Kooperation vereinbart: das Projekt „**Demonstration verschiedener in Deutschland entwickelter Hochleistungsverfahren**



Aufstellung der Versuchsanlagen auf dem Gelände der Brunnenpumpstation in Mashhad

**zur Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser und ihre Anpassung an die Aufbereitung von hoch mit Natriumnitrat und anderen Salzen belasteten Grundwässern am Beispiel der Trinkwasseraufbereitung der Stadt Mashhad, Iran“.** Beteiligt waren das IWW Rheinisch-Westfälische Institut für Wasserforschung, das Unternehmen VA TECH Wabag Deutschland GmbH, das Forschungszentrum Karlsruhe, das WETECH – Institut für Wasser- und Umweltschutztechnologie sowie der lokale Wasserversorger Mashhad Water & Wastewater.

### Kombinierte Verfahren

Ziel des Vorhabens war es, erstmals parallel vier verschiedene Verfahren zur Entfernung von Nitrat aus dem Trinkwasser einzusetzen: den **Ionenaustausch**, die **Umkehrosmose**, die **Elektrodialyse** sowie die biologische **Denitrifikation**. Da die in Deutschland entwickelten Verfahren und Anlagen bisher noch nicht bei derart belastetem Grundwasser zum Einsatz kamen, galt es, sie an die spezifischen Bedingungen im Iran anzupassen – auch um das Nitrat bei einem gleichzeitig hohen Sulfatgehalt des Wassers zuverlässig entfernen zu können. Die Versuchsanlagen mit Durchsätzen von jeweils etwa drei Kubikmetern pro Stunde wurden in Deutschland in Containerbauweise konstruiert und im Oktober 2004 in Mashhad installiert. Ein deutsch-iranisches Team (IWW, Mashhad Water & Wastewater Co.) war für den Betrieb und die Optimierung der Anlagen zuständig und führte von 2004 bis 2007 zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen durch.

Zum Ende des Projekts im Mai 2008 hat sich gezeigt, dass sich die vier Verfahren in Mashhad erfolgreich anwenden lassen. Alle Versuchsanlagen liefen zuverlässig und reduzierten die Nitratkonzentrationen im Trinkwasser auf Werte unterhalb des WHO-Richtwerts. Dennoch haben die Projektpartner signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren festgestellt, etwa bezüglich der spezifischen Abwassermenge, den benötigten Ressourcen (Energie, Chemikalien, Personal) sowie den ökologischen wie wirtschaftlichen Folgen. Diese Aspekte wurden für alle vier Verfahren erfasst und in einer Nutzwertanalyse bewertet. Unter Berücksichtigung der Situation im Iran (u. a. extrem niedrige Energiepreise) zeigte sich: die biologische Denitrifikation und die Umkehrosmose sind die am besten geeigneten Verfahren, um die Wasserqualitätsziele in Mashhad zu erreichen. Verändern sich die Randbedingungen jedoch (z. B. durch steigende Energiepreise), können die Ergebnisse anders lauten.

### Übertragbare Ergebnisse

Die mit diesem Projekt gewonnenen Erfahrungen sind auch für neue Wasserwerke in Mashhad und anderen Städten der Region wichtig: Sie sind eine gute Grundlage, wenn die Experten im Iran entscheiden müssen, ob und

mit welchem Verfahren künftig Anlagen zur Nitratentfernung im Land zu errichten sind. Ein ebenfalls wichtiges Ergebnis dieses Forschungsprojekts sind die vielen neuen Kontakte zwischen deutschen und iranischen Wasserfachleuten.

Auf mehreren internationalen Konferenzen und Fachmessen sowie in internationalen Publikationen haben die Projektpartner ihre Ergebnisse vorgestellt. Der Abschlussbericht mit dem Titel „Demonstration in Deutschland entwickelter Hochleistungsverfahren zur Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser im Iran“ ist online abrufbar über die Technische Informationsbibliothek (TIB) Hannover (<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb09/590090909.pdf>; 7,4 MB).



Reaktor zur biologischen Nitratentfernung (Denitrifikation)

#### IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung

##### Bereich Wassertechnologie

Dr.-Ing. Stefan Panglisch

Dipl.-Ing. Oliver Dördelmann

Moritzstraße 26

45476 Mülheim an der Ruhr

Tel.: 02 08/4 03 03-243, -321

Fax: 02 08/4 03 03-82

E-Mail: [s.panglisch@iww-online.de](mailto:s.panglisch@iww-online.de)

[o.doerdelmann@iww-online.de](mailto:o.doerdelmann@iww-online.de)

Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

Förderkennzeichen: 02WT0393



## Nachhaltiges Wassermanagement an der Wolga – Eine Zukunft für Europas längsten Fluss

**Mit 3.500 Kilometern ist sie der längste Fluss Europas: die Wolga. Die massiven Eingriffe haben den Strom wie kaum einen anderen verändert – mit komplexen Folgen für Mensch und Umwelt im Einzugsgebiet. Ein deutsch-russisches Projekt hat nachhaltige Lösungen für die ökonomische und umweltschonende Bewirtschaftung der Wolga und ihrer Zuflüsse entwickelt. Schwerpunkte waren Untersuchungen der Wasserqualität, die Wasserbewirtschaftung sowie die Sicherheit der Bauwerke.**

Das Einzugsgebiet ◀ der Wolga mit ihren rund 200 Zuflüssen ist das wirtschaftliche und kulturelle Zentrum der Russischen Föderation, etwa 40 Prozent der Einwohner leben hier. Mit seinen Wasser- und damit Energieressourcen hat der Strom ein enormes wirtschaftliches Potenzial, das Russland seit Jahrzehnten intensiv nutzt: Bereits Mitte der 1930er Jahre entstanden an der Wolga und ihrem größten Nebenfluss Kama elf große Stauwerke (bekannt als „Wolga-Kama-Kaskade“), die heute eine Gesamtleistung von elf Gigawatt haben. Doch diese massiven Eingriffe in das Ökosystem führen zu weitreichenden Risiken und Konflikten.

Die ökologischen Risiken zu reduzieren war Ziel des „Wolga-Rhein-Projekts: ein deutsch-russisches Kooperationsprojekt zur Wassergüte- und Wassermengenbewirtschaftung an Wolga und Rhein“ (Laufzeit: 2004 bis 2006). Gefördert vom BMBF und dem russischen Forschungsministerium arbeiteten an dem Projekt das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG), das Engler-Bunte-Institut (EBI), Bereich Wasserchemie und das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IfMB) vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Institut für Umwelt-Geochemie der Universität Heidelberg und die Abteilung Bodenphysik des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) sowie die Unternehmen Voith Siemens Hydro (Heidenheim), die MC-Bauchemie (Bottrop) und RusHydro (vormals RAO EES), der größte Energieversorger Russlands. Die Institute IWG und EBI des KIT koordinierten das Projekt.

### Niederschläge und Abflüsse analysiert

Besonders bedeutsam sind die von den deutschen und russischen Partnern durchgeführten statistischen Analysen und Simulationen des Niederschlag-Abfluss-Geschehens im Wolga-Einzugsgebiet. Wie oft, wie intensiv regnet es hier? Wie wirken sich die Niederschläge auf den natürlichen Abfluss der Wolga aus? Das Verhältnis von Niederschlag und Abfluss hat eine zentrale Bedeutung für



Wasserkraftwerk Nishegorodskaya bei Nishny Novgorod (Quelle: RusHydro)

das gesamte Flusssystem: Erst wenn es anhand genauer Daten modelliert ist, lassen sich Aussagen etwa zum Stofftransport oder zur Hochwasserlage treffen.

Um bei Hochwasser die Überflutungsgebiete, Wassertiefen und -abfluss analysieren zu können, entwickelten die Wissenschaftler digitale Geländemodelle von fünf wichtigen Staustufen an der Wolga. Während die russischen Partner die verfügbaren Daten erfassten und aufbereiteten, simulierten ihre deutschen Kollegen die hydraulischen Verhältnisse der Wolga mit sogenannten hydrodynamisch-numerischen Modellen. Ferner entwickelten sie das Programm „Entscheidungsunterstützungssystem Wolga“, mit dem sich verschiedene Abflussszenarien analysieren lassen: Es ermöglicht, das Gesamtsystem Wolga einschließlich der bewirtschafteten Stauräume im Computer zu simulieren und die aus energiewirtschaftlicher und ökologischer Sicht jeweils effizienteste Bewirtschaftungsstrategie für jede Staustufe zu ermitteln. Um den verschiedenen Nutzungsansprüchen an eine Stauraubewirtschaftung zu entsprechen, wurden Grundlagen der Simulation von Staustufenketten unter Einbindung von Automatisierungsfunktionen zur Verbesserung der Bewirtschaftung erarbeitet.

### Bauwerke und Wasserqualität untersucht

Zu den Voraussetzungen für eine wirtschaftliche und umweltschonende Wasserbewirtschaftung der Wolga gehören die Funktionsfähigkeit und die Betriebssicherheit der vorhandenen Wasserbauwerke. Am Wasserkraftkomplex Wolgograd untersuchten Wissenschaftler und Ingenieure exemplarisch den Zustand des Bauwerks und der einzelnen Bauteile (Wehrüberläufe, Wehrpfeiler, Betonwände). Die Ergebnisse dieser Vor-Ort-Untersuchungen und Laboranalysen von Bauwerksproben mündeten in ein Instandsetzungskonzept, dessen Umsetzung die Projektpartner fachlich begleitet haben.



Entnahme und Analyse von Proben im Untersuchungsgebiet

Zwar gab es in der ehemaligen Sowjetunion seit Mitte der 1940er Jahre umfangreiche Programme zur Kontrolle der Wasserqualität, deren Ergebnisse wurden jedoch nicht veröffentlicht. Nach der Auflösung der Sowjetunion kamen diese Programme mangels Material und Personal de facto zum Erliegen. Über den aktuellen Zustand der russischen Gewässer ist somit nur wenig bekannt – obwohl die Wolga und andere Flüsse eine wichtige Trinkwasserquelle sind. Gegenstand des Projekts waren deshalb auch Analysen des Schadstoffgehalts von Wasser und Sedimenten der Wolga. Im Untersuchungsgebiet von Nishny Novgorod war die Gewässergüte überraschend gut, offensichtlich verdünnt die enorme Wasserführung des Flusses eingeleitete Schadstoffe stark und verringert sie durch Selbstreinigungsprozesse.



Längsschnitt der Wolga- und der Kama-Staustufenkette

## Eutrophierte Stauseen und ihre Folgen

Die vorhandenen Nährstoffe führen allerdings vor allem in den Stauseen zu einer kritischen **Eutrophierung**, bedingt durch die eingeleiteten Phosphorverbindungen aus den Abwässern von Haushalten (z. B. Waschmitteln) beziehungsweise durch Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft. In den Sommermonaten führt die Eutrophierung besonders in den vielen Stauseen zu einem massenhaften Algenwachstum; ein reduzierter Sauerstoffgehalt des Wassers und freigesetzte Toxine sind die Folge. Der relativ hohe Gehalt an organischen Stoffen natürlichen Ursprungs verstärkt diese Effekte. Die Folge: An vielen Stellen entstehen **anaerobe** Zonen, es kommt zu Fäulnisprozessen. Eines der Ziele des Forschungsprojekts war es deshalb, die Untersuchungsergebnisse nutzbar zu machen, damit die Vorsorge zu verbessern und die Belastungsquellen zu beseitigen – etwa durch eine ökologische Landwirtschaft im Wolga-Einzugsgebiet.

### Bereich 1: Wassermengenbewirtschaftung Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Wasser und Gewässerentwicklung

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann  
Prof. Dr. Rolf Krohmer  
Kaiserstraße 12  
76128 Karlsruhe  
Tel.: 07 21/6 08 21 94  
Fax: 07 21/60 60 46  
E-Mail: iwg@iwg.uka.de  
rolf.krohmer@kit.edu  
Internet: www.iwg.uni-karlsruhe.de  
Förderkennzeichen: 02WT0484

### Bereich 2: Gewässergüte Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engler-Bunte-Institut und DVGW-Forschungsstelle – Bereich Wasserchemie

Prof. Dr. Fritz H. Frimmel  
Dr. Gudrun Abbt-Braun  
Engler-Bunte-Ring 1  
76128 Karlsruhe  
Tel.: 07 21/6 08 25 80  
Fax: 07 21/69 91 54  
E-Mail: fritz.frimmel@kit.edu  
Internet: www.wasserchemie.uni-karlsruhe.de  
Förderkennzeichen: 02WT0480



## Zum Schutz des Weltnaturerbes Ha Long-Bucht – Deutsches Know-how für die Bergbausanierung

**Für Vietnam ist Steinkohle ein wichtiger Energieträger. Ihr Abbau führt jedoch zu erheblichen Umweltschäden. Ein Kooperationsprojekt macht Technologien und Erfahrungen des deutschen Kohlenbergbaus für Vietnam nutzbar, um den Bergbau in Vietnam umweltverträglicher gestalten zu können. Welche Techniken und Verfahren sich an die örtlichen Verhältnisse anpassen lassen, klären Wissenschaftler und Ingenieure beider Länder vor Ort.**

Rund 95 Prozent (45 Mio. t/a) der Steinkohlenförderung Vietnams stammen aus der Provinz Quang Ninh im Nordosten des Landes. Doch die Provinz beherbergt nicht nur das bedeutendste Kohlenrevier Vietnams, sondern auch eine einzigartige Naturlandschaft: die Ha Long-Bucht. Seit 1994 steht die Bucht mit ihren zahllosen Kalksteinfelsen und kleinen Inseln auf der UNESCO-Liste des Weltnaturerbes, bei Touristen ist sie ein beliebtes Ferienziel. Die Regierung Vietnams will die touristische Anziehungskraft von Ha Long nutzen und die Zahl der Besucher weiter erhöhen. Auch seine Steinkohlenförderung hat Vietnam in jüngster Zeit deutlich ausgeweitet – und damit die Umweltschäden vor Ort. Die fehlende Vegetation auf Abraumhalden und Altbergbauflächen sowie der Kohlentransport in offenen Lastwagen zu Häfen und Kraftwerken führen zu einer erheblichen Staubbelastung – viele Ortschaften und ganze Landstriche sind vom Staub grau eingefärbt.

### Gruben- und Sickerwasser gelangt in die Bucht

Das Gruben- und Sickerwasser aus den Abraumhalden verunreinigt die Bäche und Flüsse im Abbauggebiet, fließt in die Ha Long-Bucht und gefährdet oder schädigt die einzigartige und sehr empfindliche Küsten- und Meeresfauna und -flora. Die in der Regenzeit großflächige Erosion der unbewachsenen Bergbauflächen trägt dazu in hohem Maße bei, indem sie kohlehaltiges Feinmaterial in die Bucht schwemmt. Ein weiteres Problem ergibt sich aufgrund fehlender Flächen für Abraumhalden: Die Halden werden meist platzsparend sehr steil und oft in unmittelbarer Nähe zu Siedlungen aufgeschüttet, in der Folge kann es zu Rutschungen mit unmittelbarer Gefahr für die Anwohner kommen.

Um die negativen Folgen beziehungsweise Risiken des Kohlenbergbaus für Mensch und Natur zu vermeiden oder wenigstens zu verringern, sind dringend Sanierungsmaßnahmen notwendig. Doch wie lässt sich das deutsche Know-how im Sanierungsbergbau an die Verhältnisse in Vietnam anpassen? Antworten auf diese Frage erarbeitet



Die Ha Long-Bucht gehört zum Weltnaturerbe

der vom BMBF geförderte deutsch-vietnamesische Forschungsverbund „RAME (Research Association Mining and Environment) in Vietnam, Provinz Quang Ninh“ unter Leitung des Lehrstuhls für Umwelttechnik und Ökologie der Ruhr-Universität Bochum (Prof. Dr. Harro Stolpe), mit einer Laufzeit von 2007 bis 2012. Beteiligt sind ferner die RWTH Aachen (Lehrstuhl für Bergbaukunde I), das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), die Gesellschaft für Consulting, Business und Management (CBM) mbH (Aachen), Brenk Systemplanung GmbH (Aachen), LMBV International GmbH, eta AG engineering (Cottbus), das GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH (Dresden); die BioPlanta GmbH (Leipzig), sowie die DHI-WASI GmbH (Berlin). Das Projekt findet in enger Zusammenarbeit mit der Vietnam National Coal-Mineral Industries Holding Cooperation Limited (VINACOMIN) statt, sie stellt dem Forschungsverbund in ihrer Hauptverwaltung in Hanoi ein Büro zur Verfügung. Die deutschen Partner entwickeln die technischen Konzepte, die VINACOMIN an den Beispielstandorten in Pilotanlagen umsetzt.

In der ersten Projektphase (2005 bis 2007) ging es darum, Probleme zu identifizieren, einzugrenzen und zu beschreiben sowie geeignete Beispielstandorte für Untersuchungen zur Anpassung deutscher Technologie zu finden (Thema: Bergbau und Umwelt in Vietnam, Problemanalyse und Lösungsstrategien). Seit 2007 entwickeln die Projektpartner Konzepte für ausgesuchte Standorte: die Halde Chinh Bac Nui Beo (Stabilisierung und Rekultivierung), den Tiefbaustandort Vang Danh (Abwasserbehandlung), das Bergbauggebiet Dong Trieu (Behandlung von bergbau-

beeinflusst Wässern in einem passiven Wasserreinigungssystem) sowie das Bergbauggebiet Hon Gai (Umweltmanagement).

### Pilotanlage und Experimente

Nachdem das Projektteam im ersten Schritt die ökologischen Folgen des Bergbaus erfasst hatte, erstellte es – abgestimmt mit VINACOMIN – das Design einer angepassten Grubenwasserreinigungsanlage, die sowohl die feinen Kohlenpartikel als auch die hohen Eisen- und Mangankonzentrationen beseitigt. Auf der zu stabilisierenden Halde finden umfangreiche Feldexperimente etwa zur Schütttechnologie statt. Die Pflanzexperimente zur Rekultivierung wurden nach Auswahl geeigneter lokaler Arten ebenfalls auf dieser Halde eingerichtet und werden nun regelmäßig untersucht. Auf Grundlage der für Hon Gai erhobenen Daten wird ein Umweltinformationssystem aufgebaut, das dem Umweltmanagement und der Umweltberichterstattung von VINACOMIN dient. Aufbauend auf den in den Pilotanlagen und Experimenten gewonnenen Erkenntnissen soll zu Projektende ein Handbuch für die vietnamesischen Umweltingenieure vorliegen.

### Vietnamesische Experten geschult

Eine wichtige Projektaufgabe besteht darin, Kontakte zu vietnamesischen Forschungsinstituten, Ministerien, Behörden und Unternehmen aufzubauen und zu pflegen. Sehr gute Kontakte bestehen inzwischen zu Wissenschaftlern der vietnamesischen Akademie für Wissenschaft und Technik (VAST) und der Universität für Bergbau und Geologie (UMG) in Hanoi. Diese wissenschaftliche Zusammenarbeit bereitet auch den Weg für eine spätere wirtschaftliche Kooperation deutscher und vietnamesischer Unternehmen.



Akazienpflanzungen von VINACOMIN

Unter dem Aspekt Technologietransfer sind auch die Maßnahmen zum **Capacity Building** ◀ des Verbundprojekts zu sehen. In Vietnam fanden einige ein- bis dreiwöchigen Kurse für Mitarbeiter von VINACOMIN statt, die Bergbauprobleme aus Deutschland zu den Themen Staub, Haldengestaltung und Grubenwasser durchführten. Ferner wurden technische Exkursionen nach Deutschland organisiert, um den Entscheidungsträgern von VINACOMIN Bergbaustandorte mit beispielhaften Maßnahmen zur **Renaturierung** ◀ und Rekultivierung zu zeigen.

Projekt-Website ▶ [www.vinacomin.vn](http://www.vinacomin.vn)

#### Ruhr-Universität Bochum Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen

Prof. Dr. Harro Stolpe  
Universitätsstraße 150  
44780 Bochum  
Tel.: 02 34/32-2 79 95  
Fax: 02 34/32-147 01  
E-Mail: [harro.stolpe@ruhr-uni-bochum.de](mailto:harro.stolpe@ruhr-uni-bochum.de)  
Internet: [www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/](http://www.ruhr-uni-bochum.de/ecology/)

#### Research Association Mining and Environment in Vietnam (RAME) Vietnam National Coal & Mineral Industries Group (VINACOMIN)

Dr.-Ing. Katrin Brömme (CEO)  
226 Le Duan  
Ha Noi, Viet Nam  
Tel.: 00 84/4 35 18 83 07  
Fax: 00 84/4 35 18 83 41  
E-Mail: [katrin.broemme@rub.de](mailto:katrin.broemme@rub.de)  
Internet: [www.rame.vn](http://www.rame.vn)

Förderkennzeichen: 02WB0689 (Vorprojekt), 02WB0915, 02WB0916, 02WB0917, 02WB0919 (Verbundkoordination), 02WB0957, 02WB0958, 02WB0964, 02WB0965, 02WB1017, 02WB1018, 02WB1019, 02WB1250, 02WB1251



Eine Siedlung vor einer Bergbauhalde in Quang Ninh



## Überwachung der Wasserqualität – Neue Messverfahren entwickelt

**Trinkwasserquellen sind kontinuierlich auf ihren Schadstoffgehalt zu prüfen, das ist zeit- und kostenintensiv. Ein Monitoring ist besonders in Krisenregionen wichtig, in denen die Gefahr terroristischer Anschläge besteht – etwa die Vergiftung von Wasserquellen. Wissenschaftler aus Deutschland und Israel haben gemeinsam neue Messverfahren entwickelt, die als Grundlage eines Frühwarnsystems dienen können. Sie nutzen dazu das Infrarot-Absorptionsspektrum von Stoffen.**

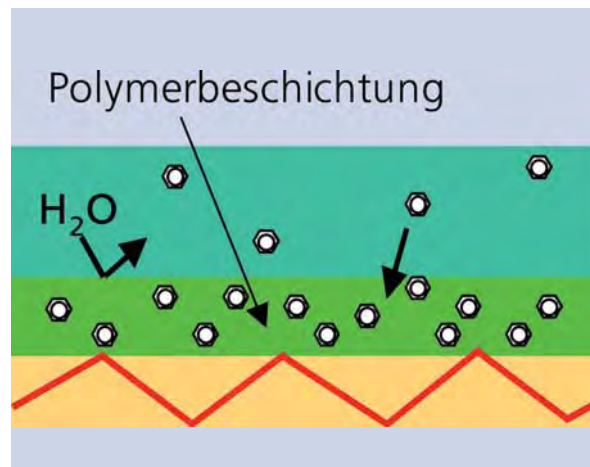
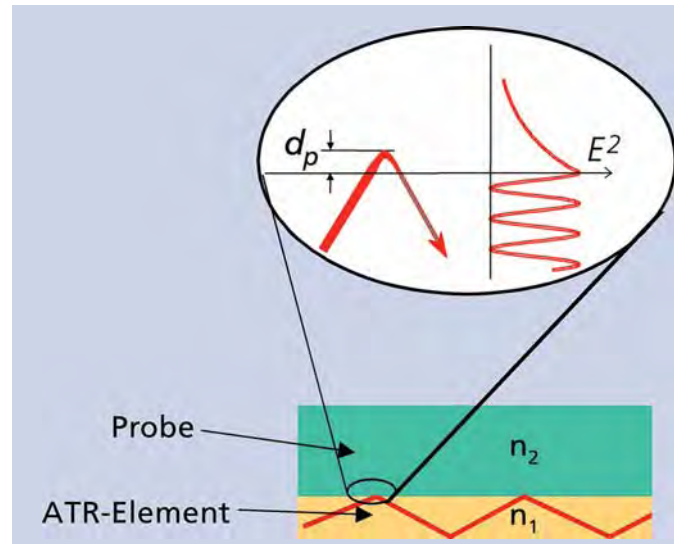
Um Verunreinigungen und Schadstoffe in Trinkwasserquellen rechtzeitig entdecken zu können, ist eine ständige Überwachung erforderlich. In politisch sensiblen Regionen wie Israel besteht zudem die Gefahr gezielter Vergiftungen von Wasserquellen (Chemo-Terrorismus). Mithin besteht ein großer Bedarf an Messungen, die kontinuierlich verlässliche Daten zur Qualität des Wassers liefern.

### Deutsch-israelische Zusammenarbeit

Bisher erfolgten in Israel Grundwasseruntersuchungen vorwiegend durch Laboranalysen. Dazu mussten Proben an den Messstellen entnommen, ins Labor transportiert und dort aufbereitet werden – ein zeitaufwendiges, kostspieliges und zudem fehleranfälliges Verfahren. Das vom BMBF innerhalb der deutsch-israelischen Wissenschaftskooperation geförderte Projekt „A Compact Fiber-Optic Infrared System for Online Monitoring of Pesticides and other Pollutants in Water“ (Kompaktes Infrarot-Messsystem zur Online-Detektion von Pestiziden und Verunreinigungen im Wasser) sollte daher ein Messsystem entwickeln, mit dem sich die Wasserqualität in Echtzeit und über große Entfernungen zuverlässig und dauerhaft überwachen lässt. Die Forschungsarbeiten führten die School of Physics and Astronomy der Tel Aviv University und das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) durch.

### Analyse des Strahlungsspektrums

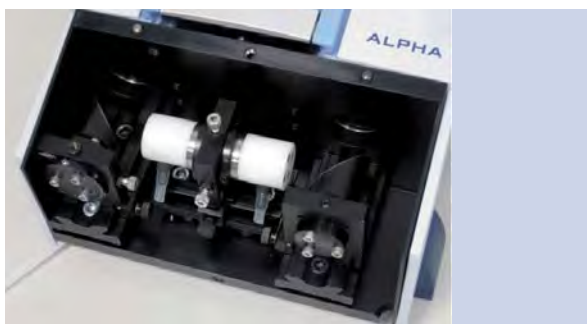
Die technischen Grundlagen hatte das IPM bereits im Vorfeld mit einem Breitbandspektrometer gelegt, das ursprünglich entwickelt wurde, um Deponie- und Sickerwasser online überwachen und industrielle Prozesse kontrollieren zu können. Das Analysegerät ist darauf ausgelegt, verschiedene organische Moleküle (z. B. Pestizide) nachzuweisen. Die Messmethode nutzt die Eigenschaft aller Stoffe, Infrarotstrahlen in einem spezifischen Spek-



Schema der ATR-Technik

trum zu absorbieren. Mit der **Infrarot-Spektroskopie**, einer technischen Analyseverfahren, lassen sich Stoffe über deren Infrarot-Absorptionsspektrum bestimmen. Die von den Forschern verwendete Attenuated Total Reflection (**ATR**)-Spektroskopie baut auf einem optischen System auf. Das analysierte Strahlungsspektrum ermöglicht Aussagen über das Vorkommen und die Konzentration von Schadstoffen. So lassen sich Wasserverschmutzungen durch die meisten schädlichen Chemikalien aufdecken und die Daten ohne Zeitverzögerung über Funk an eine zentrale Überwachungsstelle leiten.

Das Messsystem des eingesetzten Breitbandspektrometers besteht aus drei Modulen: einer Lichtquelle, einem Sensorelement und einem Infrarot-Spektrometer. Das abge-



Ein ATR-Messmodul zur Aufnahme der Infrarot-Absorptionsspektren (Die Sensorfaser befindet sich in der zylindrischen Messzelle, die von der Wasserprobe, zugeführt über die beiden Wasseranschlüsse, durchströmt wird.)

strahlte Licht eines miniaturisierten Glühstrahlers wird in das ATR-Sensorelement geleitet, durchläuft die Messstrecke und wird vom Spektrometer aufgenommen. Die anschließende Spektralanalyse ermittelt die einzelnen im Wasser gelösten Stoffe und deren Konzentration.

### Nachweis auch geringster Schadstoffkonzentrationen

Die ATR-Technik nutzt den Umstand, dass das Feld einer in einem transparenten Material geführten Lichtwelle zum Teil in das sie umgebende Medium hineinragt. Dieses sogenannte evaneszente Feld eignet sich für Absorptionsmessungen. Als Sensor dient eine sensitive Faser: Wird diese mit einem geeigneten Polymer beschichtet, reichert sich darin das gesuchte Molekül an und verstärkt das Messsignal bis zum Tausendfachen. Zusätzlich schirmt das wasserabweisende Polymermaterial Wasser ab, das die Messung stark stören würde. Ein bewegliches Gitter bewirkt, dass das Spektrometer Wellenlängen zwischen 8 und 12,5 Mikrometern messen kann. Andere Wellenlängenbereiche lassen sich durch einen Austausch des Gitters einstellen. Absorptionsmessungen im mittleren Infrarotbereich ermöglichen es, organische Moleküle bis zu Konzentrationen unter 1 ppm aufzuspüren.

### Zwei Messsysteme entwickelt

Im Verlauf des 2003 gestarteten, im Juni 2006 abgeschlossenen Vorhabens entwickelte das deutsch-israelische Projektteam zwei verschiedene Messsysteme auf Basis der ATR-Technologie: ein größeres und empfindlicheres Gerät – welches allerdings teurer und nicht für den Feldeinsatz geeignet ist, sowie ein handliches und preiswertes, das

eine geringere Nachweisempfindlichkeit hat. In einem Anschlussprojekt wurde der Fortschritt der Miniaturisierung kommerzieller Fourier-Transform-Infrarot (FTIR)-Spektrometer genutzt, um ein Messsystem mit nahezu gleicher Nachweisempfindlichkeit wie die des teuren Pendants zu schaffen (siehe Foto). Die Projekte haben die Grundlage für die Entwicklung von kompakten, verlässlichen und leicht bedienbaren Messsystemen geschaffen. Die Systeme wurden in ersten Feldversuchen geprüft und haben einen hohen Entwicklungsgrad. Weitere Feldeinsätze in der Bundesrepublik als auch in Israel sind geplant.

#### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM)

Dr. Werner Konz  
Heidenhofstraße 8  
79110 Freiburg  
Tel.: 07 61/88 57-2 89  
Fax: 07 61/88 57-2 24  
E-Mail: werner.konz@ipm.fraunhofer.de  
Internet: www.ipm.fraunhofer.de  
Förderkennzeichen: 02WU0268

#### Tel Aviv University School of Physics and Astronomy

Prof. Abraham Katzir  
Ramat Aviv  
PO Box 39040  
69978 Tel Aviv, Israel  
Tel.: 00 97 23/6 40 83 01  
Fax: 00 97 23/6 41 58 50  
E-Mail: katzir@post.tau.ac.il  
Internet: www.tau.ac.il  
Förderkennzeichen: FZK0201



## Regenmacher in Israel – Geimpfte Wolken erhöhen die Niederschläge

**Bislang sind die Versuche, die Regenniederschläge in Trockengebieten durch menschliche Eingriffe gezielt zu erhöhen, nicht sehr erfolgreich – trotz langjähriger, weltweiter Forschungen. Wissenschaftlern aus Deutschland und Israel ist es in einem Projekt gelungen, sich diesem Ziel deutlich zu nähern: Ihre Simulationen zeigen, dass die Niederschläge zunehmen, wenn die Wolken mit geeigneten winzigen Teilchen „geimpft“ sind.**

Israel ist einer der wasserärmsten Staaten der Welt. Dennoch ist Wasser der entscheidende Wirtschaftsfaktor des Landes: Israel hat eine hochproduktive Landwirtschaft, es ist ein Obst- und Gemüse-Exportland. Rund 70 Prozent des verbrauchten Süßwassers dienen der Bewässerung in der Landwirtschaft, infolge des hohen Wasserbedarfs sinkt kontinuierlich der Grundwasserspiegel. Der Jordan entwickelt sich zu einem Rinnsal, weil 85 Prozent seines Wassers für die Versorgung von Menschen und Landwirtschaftsflächen genutzt werden. Dies hat Folgen für den Wasserspiegel des Toten Meers (in das der Jordan mündet): In den letzten 70 Jahren ist der Wasserspiegel bereits um mehr als 20 Meter gesunken – Tendenz zunehmend.

### Deutsch-israelische Wassertechnologie-Kooperation

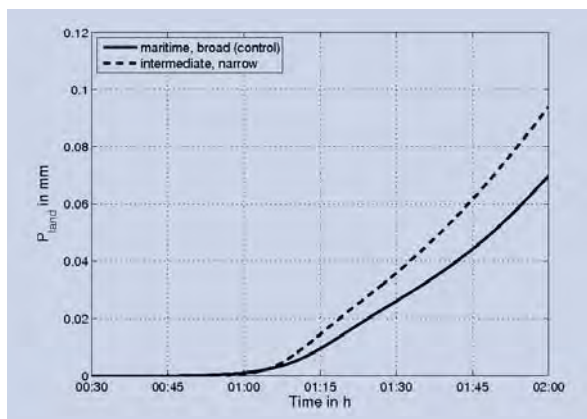
Für Israel – wie den gesamten östlichen Mittelmeerraum – wäre es segensreich, ließe sich über dem Land die Niederschlagsmenge erhöhen. Und genau daran arbeiten Wissenschaftler. Ein vom BMBF unterstütztes Forschungsprojekt des Institute of Earth Sciences der Hebrew University in Jerusalem und des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) hat den „Regenmachern“ deutlich geholfen: das Projekt **„Numerische Untersuchungen zum Einfluss von Aerosoleffekten auf die Niederschlagsdynamik von Wolken in der israelischen Küstenregion“** (Laufzeit: 2004 bis 2008), durchgeführt im Rahmen der deutsch-israelischen Wassertechnologie-Kooperation. Computersimierte Modellrechnungen zeigen, dass eine künstliche „Impfung“ der Wolken (englisch: Cloud Seeding) vor der israelischen Küste die Regengüsse soweit verzögert, dass bei Westwind vermehrt Niederschlag über dem Land fällt. Optimale Ergebnisse gibt es, wenn Kochsalz-(Meersalz-)Teilchen einer bestimmten Größe in die Wolken gestreut werden.



Satellitenaufnahme der Region (Quelle: visibleearth.nasa.gov)

Im Mittelpunkt des Projekts standen **Aerosolpartikel** ◀. Diese kleinen Schwebeteilchen befinden sich überall in der Luft und sind die Voraussetzung dafür, dass sich Wolkentropfen bilden und es zu Niederschlägen kommt: In mit Wasserdampf übersättigter Luft wirken Aerosolpartikel als sogenannte Kondensationskerne, an die sich Wasserdampf anlagert, wodurch Tropfen entstehen. Anzahl und Größe der Tropfen hängen von der Zusammensetzung der Kondensationskerne ab. So enthält beispielsweise die Luft in Meeresnähe nur wenige, dafür große Salzpartikel – in den Wolken bilden sich wenige, aber große Tropfen. Luft über dem Festland enthält hingegen viele Aerosolteilchen, die Wolkentropfen sind relativ klein.

Das Projektteam hat festgestellt, dass auch vom Menschen freigesetzte Aerosole die zeitliche Entwicklung, die räumliche Verteilung und die Menge des Niederschlags stark beeinflussen. Schon seit Jahren beobachten die Forscher einen Rückgang der Niederschläge im Bergland von Judäa. Ihre Berechnungen legen nahe, dass dafür die Zunahme anthropogen erzeugter Schwebeteilchen verantwortlich ist (etwa Ruß, Staub).



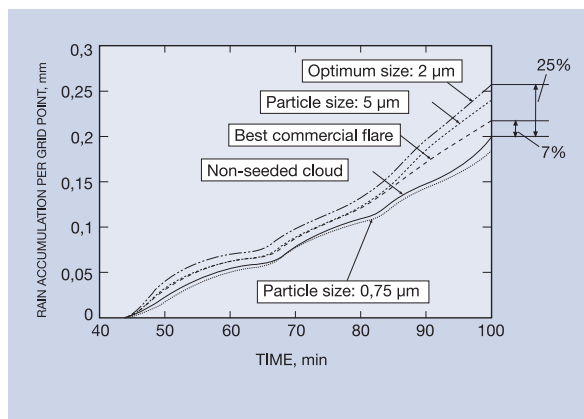
Berechnete zeitliche Entwicklung der Regensumme „über Land“ bei Impfung mit hygroskopischen Partikeln. Durchgezogene Linie: Kontrollrechnung ohne Impfung; gestrichelte Linie: Simulation mit Impfung durch Partikel mittlerer Größe

### Simulationsmodelle genutzt

Um die Wirkung der Aerosoleffekte auf die Niederschlagsbildung zu berechnen, nutzten die Wissenschaftler zwei verschiedene numerische Simulationsmodelle: das komplexe Computermodell „Spectral Bin Cloud Microphysical Module“ (SBM) der Hebrew University sowie das weiterentwickelte Programm „Two-Moment Parameterization“ (TMP) des Karlsruher IMK. Letzteres ist eine grobe (dennoch hinreichend genaue) Beschreibung, um den Rechenaufwand zu reduzieren. Das deutsch-israelische Team stellte die beiden Modelle zunächst mit der Vorhersage natürlicher Wetterprozesse auf die Probe: Sie funktionierten gut, erbrachten zudem vergleichbare Ergebnisse. Anschließend berechneten sie Möglichkeiten, Niederschläge aktiv zu beeinflussen. Die Ergebnisse zeigten, dass eine künstliche Impfung der Wolken, die sich vor der Küste bilden, die Niederschlagsbildung verzögert. Dadurch entwickelt sich der Regen langsamer und die mit dem Westwind nach Osten verdrifteten Wolken regnen dann über Land aus, meist in Küstennähe (mitunter um bis zu 50 Kilometer landeinwärts).

### Partikelgröße ist entscheidend

Entscheidend für die Niederschlagsentwicklung ist die Partikelgröße. Große **hygroskopische Teilchen** beschleunigen die Regenbildung, kleine verlangsamen sie und vermindern oft die Menge. Mittels Computersimulationen ermittelten die Wissenschaftler die Teilchengröße, die bei der Wolkenimpfung die Niederschlagsmenge am wirkungsvollsten erhöht: Die optimale Größe liegt – abhän-



Berechnete zeitliche Entwicklung der Regensumme bei Impfung tiefer Konvektionswolken mit hygroskopischen Partikeln optimaler Größe

gig von Wolkenhöhe und anderen meteorologischen Parametern – zwischen 1,8 und 2,5 Mikrometern. Bei Verwendung hygroskopischer Teilchen dieser Größe lässt sich die Niederschlagsmenge, die über Land abregnet, um 20 bis 25 Prozent erhöhen, während die Gesamtniederschlagsmenge leicht abnimmt.

Um die Modellrechnungen mit den tatsächlichen Effekten in der Natur zu vergleichen, wurden in Israel einige Praxistests durchgeführt, bei denen von Flugzeugen aus Salzteilchen mit der rechnerisch optimalen Größe in die Wolken gestreut wurden; die Beobachtungen bestätigten die theoretischen Berechnungen größtenteils.

#### Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK)

Prof. Dr. Klaus Dieter Beheng

Kaiserstraße 12

76128 Karlsruhe

Tel.: 07 21/6 08-4 35 95

Fax: 07 21/6 08-4 61 02

E-Mail: klaus.beheng@kit.edu

Internet: www.imk-tro.kit.edu

Förderkennzeichen: 02WT0536

## Vier Wege, ein Ziel – Desinfektion von Abwasser in China

Ein Vergleich von Desinfektionsverfahren in Abläufen von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in China hat gezeigt, dass es Alternativen zu der üblichen Chlorung gibt. Das Institut IWAR der Technischen Universität Darmstadt hat in einem vom BMBF geförderten Kooperationsforschungsprojekt gemeinsam mit der Tongji Universität, Shanghai (Laufzeit: August 2006 – März 2011) vier Verfahren getestet.

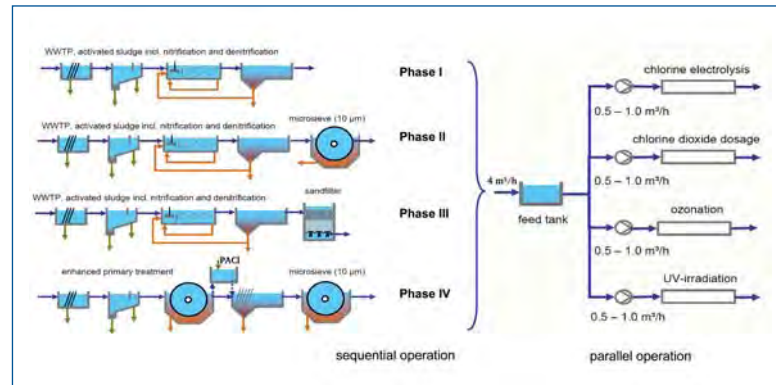
Die Vielzahl hygienisch relevanter Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Protozoen, Wurmeier), die im Abwasser – selbst nach einer biologischen Reinigung – vorhanden sind, erfordert eine adäquate Behandlung des Abwassers vor dessen Einleitung in sensible Oberflächengewässer (insbesondere vor einer Wasserwiederverwendung). In der Volksrepublik China ist die Desinfektion des Abwassers zwar gesetzlich vorgeschrieben, wird jedoch aus Kosten- und Betriebssicherheitsgründen häufig nicht durchgeführt (Xin, 2004).

Eine Alternative zu konventionellen Desinfektionsverfahren ist aus verschiedenen Gründen erforderlich. Bei der meist verbreiteten Methode, der Chlorung, ist mit der Bildung von unerwünschten Desinfektionsnebenprodukten zu rechnen. Weitere Nachteile bei der Nutzung von Chlor und seinen Verbindungen bestehen aufgrund von Bedenken hinsichtlich der Betriebssicherheit und der geringen Wirksamkeit gegenüber chlorresistenten Organismen. Ziele des gemeinsamen Forschungsprojektes sind deshalb die

- Verbesserung der hygienischen Wasserqualität im Ablauf kommunaler Kläranlagen zum Schutz vor Krankheiten, die durch Wasser übertragen werden;
- Erarbeitung eines wissenschaftlich abgesicherten Beitrags zur Frage des kosteneffizienten Einsatzes von wirksamen, innovativen Abwasserdesinfektionsverfahren;
- Vermeidung neuer Risiken durch Minimierung von Desinfektionsnebenprodukten.

### Angewandte Methoden

Zu den Faktoren, die die Wahl der Desinfektionsmethode beeinflussen, gehören Effektivität, Betriebssicherheit, Investitions- und Betriebskosten, Praktikabilität (Transport, Lagerung, Produktion etc.) sowie Entstehung unerwünschter Nebenprodukte. Zu den, in einer dem Projekt vorausgehenden Literaturstudie, ausgewählten und während der Projektlaufzeit getesteten Verfahren gehören:



Desinfektionspilotanlagen (rechts) mit verschiedenen Abwasservorbehandlungsstufen (links); Zulauf = kommunales Rohabwasser

**UV-Strahlung:** UV-Strahlen der Wellenlänge 245 – 265 Nanometer verursachen Veränderungen der Nukleinsäuren im Zellkern, welche bei Überschreitung des Reparaturvermögens der Zelle zu einem irreversiblen Verlust der Vermehrungsfähigkeit und damit zur Inaktivierung der Zelle führen. Eine Zugabe von im Wasser verbleibenden Desinfizierstoffen entfällt bei dieser Desinfektionsmethode. Dadurch können negative Umwelt- und Gesundheitseinwirkungen aber auch eine Depotwirkung im Ablaufwasser weitgehend ausgeschlossen werden. Das UV-System beinhaltet zwei austauschbare UV-Strahler von 80 und 120 Watt. Über eine Steuerung lässt sich die gewünschte Bestrahlungsdosis (von 80 – 800 J/m) einstellen.

**Chlorelektrolyse:** Die Chlorelektrolyseanlage stellt gasförmiges Chlor ( $\text{Cl}_2$ ) und weitere elektrochemische Oxidantien aus Kochsalz, Wasser und elektrischem Strom vor Ort her, sodass der Transport und die Lagerung von Chlor(gas) entfällt. Chlor bewirkt eine oxidative Zerstörung der Zellwand der Mikroorganismen. Die maximale Dosiermenge beträgt 20 mg  $\text{Cl}_2/\text{l}$ .

**Chlordioxid:** Die desinfizierende Wirkung von Chlordioxid beruht im Wesentlichen auf dessen extrem hohem Oxidationspotential (etwa 2,5-mal höher als das von Chlor(gas)). Bei der Abwasserdesinfektion mit Chlordioxid anstatt mit Chlor(gas) ist die Gefahr der Entstehung umweltschädlicher Verbindungen geringer, da keine Trihalogenmethane (THM), Chlorphenole und Reaktionsprodukte mit Ammonium und Aminoverbindungen entstehen. Die Chlordioxiddosierung erfolgt in einem Bereich von 1-20 mg  $\text{ClO}_2/\text{l}$ . Chlordioxid ( $\text{ClO}_2$ ) wird mittels des Chlorit-/Säure-Verfahrens vor Ort aus Salzsäure und Natriumchlorit hergestellt.





Pilotanlage zur Abwasserdesinfektion (von links): UV-Strahlung, Chlorelektrolyse, Chlordioxid, Ozon

**Ozon:** Ozon ( $O_3$ ) ist eines der effektivsten Desinfektionsmittel. Das Ozon greift die Zellmembran direkt an oder permeiert in das Zellinnere, wo es die DNA, RNA oder andere Zellbestandteile angreift und somit die Zelle inaktiviert. Zusätzlich kann mit einer Abwasser ozonung die Entfernung von Arzneimittelrückständen, endokrin wirksamen Stoffen sowie von Geruchs- und Farbstoffen erreicht werden (Schuhmacher, 2006). Ozon wird vor Ort durch einen Ozongenerator mittels elektrischer Entladungen aus industriell hergestelltem Sauerstoff erzeugt. Die übertragene Ozondosis variiert von 2-20 mg  $O_3/l$ .

Alle beschriebenen Verfahren (bis auf die Ozonung, die nur in Deutschland untersucht wurde) wurden mittels identischer halbtechnischer Versuchsanlagen auf einer kommunalen Kläranlage in Darmstadt-Eberstadt und in Shanghai über den Zeitraum der Projektlaufzeit betrieben und untersucht.

Neben der Wahl des Desinfektionsverfahrens ist die Art der Vorbehandlung des Abwassers entscheidend – sowohl für den Desinfektionserfolg als auch für das Potenzial der Bildung von Nebenprodukten. Die Abschattung und der Einschluss von Mikroorganismen in Abwasserpartikeln bestimmen oft maßgeblich die Gesamtleistung eines Desinfektionssystems und die eventuell daraus entstehenden Gesundheitsrisiken. Die Desinfektionsleistung wurde in diesem Projekt bewertet, indem Standardmethoden mikrobiologischer Kultivierungsverfahren zur Quantifizierung der Indikatororganismen *E.coli*, Gesamtcoliforme, Enterokokken und somatische Coliphagen angewendet wurden.

## Erzielte Ergebnisse

Sowohl durch die Mikrosiebung als auch Sandfiltration lässt sich die **CSB-Konzentration** ◀ um rund 30 Prozent, die UV-Absorption (bei 254 nm) um rund zehn, die Trübung um rund 80 Prozent reduzieren. Alle vier Desinfektionsverfahren waren während der Versuchsphasen I bis III (siehe Abbildung) in der Lage, die Indikatororganismen bis unter die Nachweisgrenze beziehungsweise um bis zu vier Zehnerpotenzen zu reduzieren (Bischoff, 2009). Eine erhöhte **Toxizität** ◀ des Abwassers, gemessen als hemmen-

der Effekt auf die Lumineszenz der Organismen *Vibrio fischeri*, war hier nicht signifikant (Reihenfolge des Toxizitätsanstiegs:  $Cl_2 > O_3 > ClO_2$ ; UV-Strahlung: keine Erhöhung).

Neben der Dosierung der Desinfektionsmittel und den organischen Abwasserinhaltsstoffen zeigte auch die Wassertemperatur einen deutlichen Einfluss auf den Desinfektionserfolg. Phase IV wurde nach vier Wochen abgebrochen, da nach zwei Wochen der zunehmende **Biofilmbewuchs** ◀ keinen stabilen Betrieb der Desinfektionsanlagen mehr zuließ. Eine Desinfektion von Abwasser, welches keinem biologischen Behandlungsprozess unterzogen wurde, wird daher kritisch beurteilt. Die untersuchten Desinfektionsverfahren mit vorhergehender **biologischer Abwasserbehandlung** ◀ erzeugten – je nach Dosierung der Desinfektionsmittel – ein Abwasser, das unbedenklich auch in sensible Oberflächengewässer eingeleitet werden kann beziehungsweise für verschiedene Wiederverwendungszwecke sehr gut geeignet ist. Eine weiterführende detaillierte Bewertung der Versuchsergebnisse ist dem Projektabschlussbericht zu entnehmen.

## Referenzen

- Bischoff, A.; Cornel, P.; Wagner, M. (2010): Ozone, Chlorine Dioxide, UV-light and Electrolytically Produced Chlorine Gas for Disinfection of Treated Wastewater – a Comparative Study with Different Preceding Treatment Techniques, Poster at: IWA World Water Congress and Exhibition, 19–24 September 2010, Montréal, Canada.
- Schuhmacher, J. (2006): Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe; Dissertation; Technischen Universität Berlin
- Xin, Z. (2004): Disinfection development the rise of UV in China. In: Water21; Oct. 2004.

## Technische Universität Darmstadt Institut IWAR

### Fachgebiet Abwassertechnik

Prof. Prof. Martin Wagner

M.Sc. Astrid Bischoff

Petersenstraße 13

64287 Darmstadt

Tel.: 0 61 51/16-37 59

Fax: 0 61 51/16-37 58

E-Mail: m.wagner@iwar.tu-darmstadt.de

a.bischoff@iwar.tu-darmstadt.de

Internet: www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de

Förderkennzeichen: 02WA0764