

## Bewährte Technologien im Auslandseinsatz – Fortschritt durch weltweiten Wissenstransfer



**Die Umsetzung einer umweltgerechten, höchsten technischen und hygienischen Anforderungen entsprechende Aufbereitung von Trinkwasser und Reinigung von Abwasser ist vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden. Das beginnt mit der Frage, welche Verfahren und Techniken für die variablen Bedingungen geeignet sind und erstreckt sich bis auf den zuverlässigen Betrieb und die Unterhaltung von Anlagen.**

Ein wesentliches Anliegen des Bundes ist es, Fachwissen in den Entwicklungs- und Schwellenländern aufzubauen. Hier gilt es, in Deutschland etablierte Verfahren der Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung an die jeweiligen standortbedingten Verhältnisse anzupassen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat in den vergangenen Jahren mehrere Projekte gefördert, die gezeigt haben, wie sich in Deutschland bewährte Verfahren und Techniken fortentwickeln und an lokale Bedingungen anpassen lassen.

### **Beispiel Trinkwasserversorgung**

Ein vom BMBF gefördertes Verbundprojekt hat Ergebnisse der Wasserforschung in Deutschland dokumentiert und diese für andere Randbedingungen weiterentwickelt. Dazu wurden Eckwerte für die Größe und den Betrieb von Wasserbehandlungs- und -verteilungsanlagen unter Berücksichtigung extremer Rohwasserbeschaffenheiten sowie klimatisch und sozial abweichender Bedingungen ermittelt. In Deutschland bewährte Aufbereitungsverfahren wurden dahingehend bewertet, inwieweit sie auch unter veränderten Bedingungen anwendbar sind, beziehungsweise wann verbesserte Leistungen zu erwarten sind (Projekt 2.4.03). Das Projekt „Abwasserbehandlung bei der Papierherstellung mit Stroh als Rohstoff zur Zellstoffherstellung am Beispiel der Shandong Provinz (Volksrepublik China)“ untersucht in diesem Zusammenhang ein langfristiges Wasserressourcenmanagement. Ein Ziel des Forschungsprojektes ist es, behandeltes Abwasser als Brauchwasser wieder in die Papierproduktion zurückzuführen, um den Wasserverbrauch zu verringern (Projekt 2.4.06).

### **Beispiel Uferfiltration**

Die Uferfiltration ist in Deutschland ein etabliertes Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung: Wasserwerke nutzen die natürliche Reinigungskraft des Bodens, um ohne

Einsatz von Energie und Chemikalien die Qualität des Rohwassers zu verbessern. Die notwendigen Voraussetzungen untersuchten Wissenschaftler im Projekt „Ermittlung der potenziellen Reinigungsleistung der Uferfiltration/Untergrundpassage hinsichtlich der Eliminierung organischer Schadstoffe unter standortspezifischen Randbedingungen“ (Projekt 2.4.01).

### **Beispiel Langsamfiltration**

Die Langsamfiltration hat sich als Verfahren zur biologischen Trinkwasseraufbereitung etabliert. In der Regel bestehen die Anlagen aus einem Infiltrationsbecken, das mit verschiedenen Filter- und Stüttschichten befüllt ist. Gleichförmiger und gut gereinigter Filtersand ist jedoch nicht überall verfügbar. Wie sich die Anpassung an lokale Gegebenheiten erreichen lässt, untersuchten mehrere Institute im Verbundvorhaben „Langsamsandfiltration“. Exemplarisch wurde dabei u. a. die Reinigungsleistung von Recycling-Glasgranulat und Kokosfasern analysiert (Projekt 2.4.02).

### **Beispiel Abwassertechnologien**

In der Wassertechnologie hält Deutschland weltweit eine Spitzenstellung. Dennoch bestehen in einzelnen Punkten nach wie vor Wissenslücken. Ziel des Verbundprojekts „Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung Teil II – Abwassertechnologien in anderen Ländern“ war es deshalb, in Deutschland bewährte Technologien der kommunalen Abwasserreinigung an andere Klimazonen anzupassen. Dazu wurden im Rahmen des Projekts Erhebungen zur Situation der kommunalen Abwasserbehandlung in zwölf Staaten durchgeführt (Projekt 2.4.04).

### **Beispiel Datenbasis für Wassermanagementsysteme**

Verlässliche Informationen sind eine Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Wassermanagement. Für die Wasserbehörde der Megalopolis Peking gilt es angesichts des jahreszeitlich extrem schwankenden Wasserangebots beispielsweise, Angebot und Verbrauch genau abschätzen zu können. Ein mit deutscher Hilfe entwickeltes Computerprogramm macht genau das jetzt möglich – trotz einer sehr schwierigen Datenbasis. Die Ergebnisse des Projekts sind auch für andere Megastädte Asiens von Bedeutung und können dort Anwendung finden (Projekt 2.4.05).



## Natürlicher Wasserfilter – Die Uferfiltration

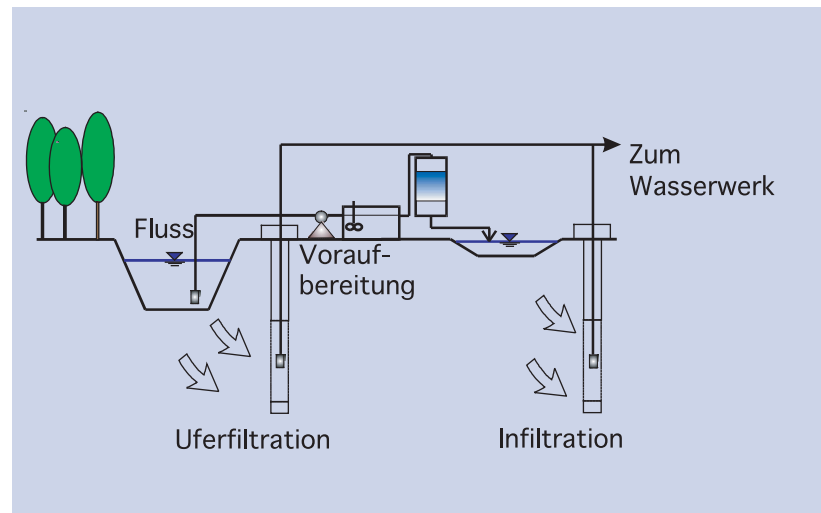
**Die Uferfiltration ist in Deutschland ein etabliertes, kostengünstiges Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung: Wasserwerke nutzen die natürliche Reinigungskraft des Bodens, um ohne Einsatz von Energie und Chemikalien die Qualität des Rohwassers zu verbessern. Mit dem Ziel, Planungs- und Betriebsleitfäden für den weltweiten Einsatz dieses Verfahrens zu erstellen, untersuchte ein Forschungsprojekt die Fähigkeit der Uferfiltration, unter wechselnden Standortbedingungen organische Schadstoffe zu beseitigen oder zumindest zu reduzieren.**

Bedingt durch die Abwassereinleitungen aus Industrie, Haushalten und Landwirtschaft weisen Oberflächengewässer in industrialisierten und urbanen Gebieten oft viele organische **Spurenstoffe** ◀ beziehungsweise deren Abbauprodukte auf: Pflanzenschutzmittel, Mineralöle und Chemikalien mit hormoneller Wirkung oder pharmazeutische Wirkstoffe sind im Wasser nachweisbar. Diese Stoffe sind wirksam zu beseitigen, wenn das Oberflächenwasser eine Trinkwasserquelle ist.

Bei der Uferfiltration werden in unmittelbarer Nähe des für die Trinkwasserversorgung benötigten Flusses Brunnen errichtet, der Grundwasserspiegel wird künstlich gesenkt. Dadurch entsteht ein hydraulisches Gefälle zwischen Flussbett und Brunnen, das Oberflächenwasser sickert über die Sohle oder das Ufer in den Untergrund: Schmutz- und Schadstoffe werden durch natürliche physikalische, chemische und biologische Prozesse herausgefiltert und abgebaut. Abhängig von den geologischen Verhältnissen, dem Abstand zwischen Brunnen und Ufer sowie dem Pegelstand des Flusses kann dies nur wenige Tage oder auch ein halbes Jahr dauern.

### Wechselnde Standortbedingungen

Doch inwieweit ist diese Uferfiltration geeignet, organische Verbindungen zu beseitigen, wenn diese höchst unterschiedliche chemischphysikalische Eigenschaften haben? Diese Frage untersuchten Wissenschaftler im Projekt „Ermittlung der potenziellen Reinigungsleistung der Uferfiltration/Untergrundpassage hinsichtlich der Eliminierung organischer Schadstoffe unter standortspezifischen Randbedingungen“ (Laufzeit: 2001 bis 2005). Ferner wollten sie herausfinden, welche Voraussetzungen ein Standort erfüllen muss, damit die Uferfiltration erfolgreich ist. Denn neben dem Schadstoffspektrum und der jeweiligen Konzentration im Wasser spielen die hydrogeologischen Bedingungen eine große Rolle – vor



Funktionsweise einer Uferfiltrationsanlage

allein die Zusammensetzung, Durchlässigkeit und **Sorptionsfähigkeit** ◀ des Bodens, ferner klimatische Faktoren wie die Wassertemperatur. Weitere Aspekte der Uferfiltration untersuchten das Institut für Wasserforschung, Dortmund (Gesamtkoordination der Vorhaben „Uferfiltration“), das Forschungszentrum Karlsruhe sowie die TU Berlin, TU Dresden und TU Hamburg-Harburg (Leitfaden: Kühn, W.; Müller, U. (Editor) (2006): Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung Teil I: Trinkwasser. Band 2. Leitfaden. Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, ISBN 3-00-015478-7).

Um Planungs- und Betriebsleitfäden für den Einsatz der Uferfiltration in anderen Klimazonen zu erstellen, trugen die Projektpartner vorliegende Forschungsergebnisse und Erfahrungswerte aus Deutschland und anderen Ländern zusammen und werteten sie aus. Informationslücken – zum Beispiel in Bezug auf extremere klimatische Verhältnisse – füllten sie mit den Ergebnissen praxisnaher Feld- und Laboruntersuchungen.

### Deutlich verbesserte Wasserqualität

Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass die Uferfiltration die meisten (rund 80 Prozent) der im Oberflächenwasser festgestellten organischen Spurenstoffe beseitigen kann; bei den übrigen Stoffen ließ sich in der Regel zumindest eine Konzentrationsminderung beobachten. Dennoch ist das Verhalten neuartiger Substanzen bei der Uferfiltration nicht hundertprozentig vorhersehbar, da chemisch ähnliche Stoffe zuweilen sehr

unterschiedlich reagieren. Das Projekt bestätigte, dass die Beseitigung organischer Verbindungen auf Sorptionsprozesse sowie biologische und chemische Abbauvorgänge im Untergrund zurückzuführen ist. Dabei erfolgt der größte Teil der Schadstoffreduktion bereits in der sogenannten Infiltrationszone, unmittelbar nach dem Eintritt des Wassers in den Boden. Daraus lässt sich schließen, dass die Entfernung der Brunnen vom Gewässer (20 bis 400 Meter) für die Reinigungsleistung nicht maßgebend ist. Trotzdem ist die weitere Fließstrecke beziehungsweise die Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund wichtig, wenn es gilt, die Leistung optimal auszuschöpfen. So beobachtete das Projektteam für viele Substanzen bei längerer Aufenthaltszeit im Untergrund eine deutlich höhere Elimination.

### Sauerstoffversorgung entscheidend

Welche Spurenstoffe in welchem Umfang abgebaut werden, hängt entscheidend von dem im Boden herrschenden **Redoxmilieu** ab, oder anders gesagt, von der Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen. Beispielsweise werden bestimmte Spurenstoffe besser im **aeroben**, andere nur im **anaeroben** Milieu beseitigt. Als Uferfiltrationsstrecken sind deshalb solche Standorte vorteilhaft, bei denen das Wasser sowohl in aeroben als auch anaeroben Bodenzonen ausreichend lange verweilen kann.

Unabhängig von den Redoxverhältnissen ist die Uferfiltration geeignet, organische Spurenstoffe wie **polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe**, **polychlorierte Biphenyle** (PCB) und viele Insektizide zu entfernen. Aber auch Geruchs- und Geschmacksstoffe sowie hormonell wirksame Substanzen werden größtenteils abgebaut. Wichtig für die Uferfiltration in wärmeren Klimazonen: Steigende Temperaturen führen zu einer erhöhten Stoffwechsellintensität und somit meist zu einer höheren Umsatzrate.



Ein Brunnen der Vertikalbrunnengalerie in Düsseldorf

#### DVGW – Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (TZW)

Dr. Frank Thomas Lange

Karlsruher Straße 84

76139 Karlsruhe

Tel.: 07 21/96 78 15 7

Fax: 07 21/96 78 10 4

E-Mail: [lange@tzw.de](mailto:lange@tzw.de)

Internet: [www.tzw.de](http://www.tzw.de)

Förderkennzeichen: 02WT0279

## Angepasste Langsamfiltration – Vielseitig und kostengünstig

**Die Langsamfiltration ist ein naturnahes, einfaches und kostengünstiges Verfahren, um Trinkwasser aufzubereiten; in Deutschland wird sie meist mit anderen Verfahren kombiniert. Sie lässt sich auch mit alternativen, lokal verfügbaren Filtermaterialien betreiben. Mehrere Forschungsprojekte haben untersucht, ob und wie sich die Langsamfiltration technisch noch verbessern und an Standortbedingungen außerhalb Mitteleuropas anpassen lässt.**

Die Langsamfiltration hat sich als Verfahren zur biologischen Trinkwasseraufbereitung etabliert. In der Regel bestehen die Anlagen aus einem **Infiltrationsbecken** ◀, das mit verschiedenen Filter- und Stüttschichten befüllt ist. Auf eine Drainage- und Stüttschicht aus Steinen, Kies und grobem Sand folgt eine etwa einen Meter hohe Filterschicht. Als Filtermaterial wird in Mitteleuropa vor allem Sand verwendet (Langsamsandfiltration); je länger das Wasser im Sandfilter verbleibt, desto besser ist in der Regel dessen Reinigung.

Gleichförmiger und gut gereinigter Filtersand ist jedoch nicht überall verfügbar. Für eine weitere Verbreitung des Verfahrens (insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern) ist deshalb die Anpassung an lokale Gegebenheiten entscheidend – etwa durch den Einsatz am Ort verfügbarer und kostengünstiger Filtermaterialien. Wie sich dies erreichen lässt, untersuchten das Rheinisch-Westfälische Institut für Wasserforschung (IWW), Mülheim an der Ruhr (Gesamtkoordination der Vorhaben „Langsamsandfiltration“) und das Institut für Wasserforschung (IfW) in Schwerte (Laufzeit: 2002 bis 2005).

### Alternativen zu Sand untersucht

Exemplarisch analysierten die Wissenschaftler die Reinigungsleistung von Recycling-Glasgranulat und Kokosfasern im Vergleich zu Sand – bei wechselnden Temperaturen, Filtergeschwindigkeiten und Betriebsweisen. Ein weiteres Teilprojekt war der Frage gewidmet, ob sich die Wirksamkeit der Langsamfiltration verbessert, wenn die Sandfilterschicht durch zusätzliche Auflagen aus Kies, Bims oder Kokosfasern ergänzt wird.

### Extreme Schadstoffkonzentrationen simuliert

Die Untersuchungen fanden im Labor und in halbtechnischen Versuchsanlagen statt. Um die Wirksamkeit bei extremen Schadstoffkonzentrationen im Ausgangswasser zu ergründen, verwendeten die Forscher für ihre Tests zum



Säulenversuchsanlage in einer Klimakammer

Recycling-Glasgranulat

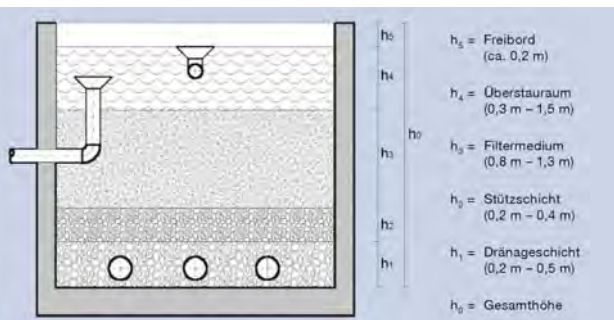
einen künstlich verunreinigtes Oberflächenwasser mit erhöhtem **DOC-** und **Ammoniumgehalt** ◀. Zum anderen setzten sie den Ablauf einer Kläranlage als **Rohwasser** ◀ in den Versuchsanlagen ein, um zu erfahren, ob sich die Langsamfiltration auch zur Aufbereitung von Wasser aus Flüssen eignet, die zwar stark durch Abwassereinleitungen beeinflusst sind, aber noch über eine gewisse Selbstreinigungskraft verfügen.

Forschungsgegenstand war darüber hinaus die Charakterisierung der mikrobiellen Besiedlung in Langsamsandfiltern. Das Technologiezentrum Wasser (TZW) der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfachs (DVGW) entwickelte ein Modul zur praxisnahen mathematischen Simulation der Langsamsandfiltration unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umgebungsbedingungen, um das Betriebsverhalten optimieren zu können.

Schließlich ging es in den Projekten „**Grenzen der Langsamsandfiltration, Möglichkeiten der technischen Modifikation und Anpassung an lokale Gegebenheiten**“ und „**Optimierung des Einsatzes von Langsamsandfiltern durch spezielle Auflageschichten und Betriebsweisen**“ darum, bereits vorhandene Daten über die Langsamfiltration mit den aktuellen Ergebnissen in einem Leitfaden für die Planung und den Betrieb von Langsamfiltrationsanlagen zusammenzuführen (Kühn, W.; Müller, U. (Hrsg.): Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung Teil I: Trinkwasser. Band 2; Karlsruhe; unter [www.tzw.de](http://www.tzw.de)).

### Altglasgranulat und Kokosfasern sind Alternativen

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass sich sowohl Recycling-Glasgranulat als auch Kokosfasern als Alternative zu Sand in der Langsamfiltration anbieten.



Schematischer Aufbau der Langsandsandfiltration (Schnitt) nach DIN 19605 aus dem DVGW-Arbeitsblatt W213-4

Deren alleinige Reinigungsleistung reichte allerdings unter den Versuchsbedingungen nicht bei allen Betriebsvarianten aus, um direkt Trinkwasser zu gewinnen. So traten in den Versuchen spezifische Stärken und Schwächen der jeweiligen Filtermaterialien auf, die in der Praxis zu berücksichtigen und gegebenenfalls durch technische Modifikationen auszugleichen sind (z. B. Vorabscheidung oder Belüftung).

Für die Aufbereitungsleistung der Langsamfiltration spielt die Temperatur eine wichtige Rolle: Temperaturen unter zehn Grad Celsius verlangsamen erheblich die biologische Abbauvorgänge, teilweise kommen sie fast zum Erliegen. Bei hohen Temperaturen und einer hohen Konzentration biologisch abbaubarer Stoffe erfolgt durch biologische Abbauprozesse eine starke Sauerstoffzehrung. Säulenversuche in einem klimatisierten Raum zeigten, dass sich unter den gewählten Betriebsbedingungen (Filtermächchtigkeit, Betriebsweise, Filtergeschwindigkeit etc.) bei fünf bis zehn Grad Celsius das eingesetzte Rohwasser (hoher DOC- und Ammoniumgehalt) durch kein Filtermaterial so aufbereiten ließ, dass es bei den untersuchten chemischen Parametern den Trinkwasservorschriften der Weltgesundheitsorganisation (WHO) entsprach. Bei 20 Grad Celsius überschritt nur das mit Recycling-Glasgranulat aufbereitete Filtrat die Grenzwerte, während bei 30 Grad alle Filtrate die WHO-Richtwerte erfüllten. Das mit Sand filtrierte Wasser erreichte bei diesen Versuchen sogar die Vorgaben der strengeren deutschen Trinkwasserverordnung.

### Schützende Auflageschicht

Die Versuche haben gezeigt, dass eine 20 Zentimeter dicke Auflageschicht aus Kies, Bimsstein oder Kokosfasern die Filterlaufzeit deutlich erhöht. Ferner wurde ein Großteil der im Wasser enthaltenen Partikel bereits in dieser

Schicht zurückgehalten, das schützt die unter ihr liegende Sandfilterschicht, deren Oberfläche weniger „verklebt“. Handelt es sich bei den herausgefilterten Partikeln um organische statt mineralische Stoffe, werden sie bereits in der Auflageschicht biologisch abgebaut. Der Nachteil: Der verbrauchte Sauerstoff fehlt weiter unten, was sich – ohne zusätzliche Belüftung – negativ auf weitere **aerobe Abbauvorgänge** ◀, zum Beispiel die Ammoniumoxidation, auswirkt.

Wie wirksam Langsandsandfilter schwer abbaubare organische **Spurenstoffe** ◀ zurückhalten, testeten die Wissenschaftler in einer eigenen Versuchsanlage, die mit einer Aktivkohleschicht unterhalb der Sandschicht ausgestattet war. Das Ergebnis: Mit dem lageweisen Einbau von sorptiven Materialien wie **Aktivkohle** ◀ lassen sich organische Spurenstoffe aus Pflanzenschutz- und Arzneimitteln effektiv zurückhalten. Weil diese „Sandwich“-Bauweise hohe Bau- und Wartungskosten verursacht, bietet sich eine großtechnische Anwendung aber bislang nicht an. Erreicht die Langsamfiltration allein nicht die gewünschte Wasserqualität, ist es deshalb sinnvoller, das Verfahren in ein dem Standort angepasstes System aus geeigneten Vor- und Nachbereitungstechniken zu integrieren.

#### IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH

Dr.-Ing. Hans-Joachim Mälzer  
Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 02 08/4 03 03-3 20  
Fax: 02 08/4 03 03-80  
E-Mail: a.maelzer@iww-online.de  
Internet: www.iww-online.de  
Förderkennzeichen: 02WT0282

#### Institut für Wasserforschung GmbH Dortmund (ifw)

Frank Remmler  
Zum Kellerbach 46  
58239 Schwerte  
Tel.: 0 23 04/95 75-3 53  
Fax: 0 23 04/95 75-2 20  
E-Mail: remmler@ifw-dortmund.de  
Internet: www.ifw-dortmund.de  
Förderkennzeichen: 02WT0279



## Exportorientierte Forschung & Entwicklung – Übertragung in andere Länder

Ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Verbundforschungsprojekt hat Ergebnisse der Wasserforschung in Deutschland dokumentiert und diese für andere Randbedingungen weiterentwickelt. Dazu wurden Eckwerte für die Größe und den Betrieb von Wasserbehandlungs- und -verteilungsanlagen unter Berücksichtigung extremer Rohwasserbeschaffenheiten sowie anderer klimatischer und sozialer Bedingungen ermittelt. An dem Projektverbund waren zehn Institute und Universitäten beteiligt.

Nachstehend werden in Deutschland bewährte Aufbereitungsverfahren dahingehend bewertet, wie sie auch unter speziellen Randbedingungen anwendbar sind, beziehungsweise wann verbesserte Leistungen zu erwarten sind.

**Langsamfilter** ◀ mit geschlossenem Boden sowie **Infiltrationsbecken** ◀ mit nachgeschalteter Bodenpassage können in Entwicklungs- und Schwellenländern für Kleinanlagen in ländlichen Gebieten wie auch in Städten eine Alternative sein. Hinzuweisen ist darauf, dass durch Langsamfiltration ohne Vorbehandlung lediglich **trübstoffarmes** ◀ und mikrobiologisch nur gering belastetes Wasser behandelt werden sollte.

### Großer Erfahrungsschatz: Uferfiltration

Seit weit über 100 Jahren wird die Uferfiltration in Deutschland eingesetzt, somit besteht hier ein sehr großer Erfahrungsschatz. Dieses Wissen erlaubt einen zielgerichteten Einsatz im Ausland – trotz anderer klimatischer und hydrogeologischer Bedingungen. Um den Know-how-Transfer zu unterstützen, hat der Projektverbund diverse ingenieurtechnische Hilfsmittel entwickelt und detailliert in einem Leitfaden für Anwender aufgeführt (siehe Quellenangabe am Ende des Beitrages).

Die Verfahrenskombination **Flockung** ◀, Sedimentation und Filtration ist das Standardverfahren in vielen Ländern bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser. Wichtige Ziele bei der Projektierung sind eine optimale hydraulische und dosierungstechnische Konzeption der Hilfsmittelzugabe zur Flockenbildung, ein minimierter Spülwasserbedarf, eine optimierte Schlammwasserentsorgung sowie eine an lokale Standards angepasste Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MRS-Technik).



Transportabler Versuchsstand zur Bewertung des Einflusses der Wasserbeschaffenheit auf die Korrosion vor Ort

### Mikro- und Ultrafiltration – eine Alternative zur konventionellen Wasseraufbereitung

Neben der konventionellen Wasseraufbereitung durch Flockung und Filtration kann die **Mikro-** ◀ oder **Ultrafiltration** ◀ zur Trübstoffentfernung eine Alternative sein. Einsetzen lassen sie sich einerseits zur Aufbereitung gering trübstoffhaltiger Rohwässer ohne Vorbehandlung oder stark trübstoffhaltiger Rohwässer nach konventioneller Vorbehandlung. Die Mikro- und Ultrafiltration kann auch **eutrophe Rohwässer** ◀ aufbereiten. Voraussetzung für eine nachhaltige Nutzung dieser Techniken ist die entsprechende Infrastruktur für Wartung und Betrieb.

Die Schwermetallentfernung mit **Ionenaustauschern** ◀ ist besonders für nur gering trübstoffhaltiges Wasser geeignet; die Kapazität der Ionenaustauscher wird kaum vermindert. Bei schwermetallhaltigem Wasser kann der Ionenaustausch eine Alternative etwa zur Aufbereitung via Flockung sein.

Insbesondere bei Einsatz in Wässern mit unbekannter Zusammensetzung an Wasserinhaltsstoffen sind die mit Oxidationsverfahren verbundene Nebenproduktbildung sowie die Entfernung von Restgehalten zu berücksichtigen. Die Kombination von Wasserstoffperoxid und UV-Strahlung hat sich als energieintensives Verfahren erwiesen; eine **Voroxidation mit Kaliumpermanganat** ◀, um den Wirkungsgrad der Flockung zur Trübstoffentfernung zu verbessern, ist nicht zielführend. Wichtige Planungs-

Verfahren	Teilverfahren	IL	SL	EL
<b>Uferfiltration</b>		++	++	+++
<b>Langsamfiltration</b>	Langsamfilter Infiltration	+	++	+++
<b>Flockung, Sedimentation</b>		+++	+++	+++
<b>Filtration</b>	Schnellfiltration	+++	+++	+++
	Biofiltration	++	++	+++
	Mikro-/Ultrafiltration	+++	++	+
<b>Ionenaustausch</b>		+++	+	+
<b>Oxidation</b>	Luftsauerstoff	+++	+++	+++
	Ozon	+++	+	+
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe	+	+	+
<b>Adsorption</b>	Kornkohle	+++	++	+
	Pulverkohle	++	++	+++
<b>Desinfektion</b>	mit Restkonzentration	+	+++	+++
	ohne Restkonzentration	++	i.d.R. keine Anwendung	

Eignung von Aufbereitungsverfahren in Industrie- (IL), Schwellen- (SL) und Entwicklungsländern (EL)

+++ Weniger Aufwand bzw. Stand der Technik

++ Mäßiger Aufwand bzw. noch nicht häufig eingesetzt

+ Höherer Aufwand bzw. Verfügbarkeit nur in Einzelfällen

kriterien sind die Betriebssicherheit des Prozesses sowie die notwendige Qualifikation des verantwortlichen Personals. Die Schwächen der biologischen Ammoniumoxidation in kaltem Wasser lassen sich durch verschiedene Maßnahmen mindern. Bei Wassertemperaturen unter fünf Grad Celsius sind jedoch sehr lange Einarbeitungszeiten (Wochen bis Monate) erforderlich, um eine erhöhte Ammoniumbelastung zu eliminieren. Dies kann die Nützlichkeit des Verfahrens in Frage stellen.

**Aktivkohlen** ◀ sollten prinzipiell nur mit gering trübstoffhaltigen Wässern beaufschlagt werden (z. B. <0,2 NTU, Nephelometrischer Trübungswert). Der Einfluss der Wassertemperatur auf die **Adsorption** ◀ von natürlichen organischen Wasserinhaltsstoffen ist eher von geringem Ausmaß. Hohe **DOC-Konzentrationen** ◀ im aufzubereitenden Wasser können die Adsorptionskapazität der Aktivkohle für **Spurenstoffe** ◀ einschränken, sie sollten daher vor der Adsorption durch andere Verfahren soweit wie möglich vermindert werden. Obwohl sich granuliertes Eisenhydroxid sehr wirkungsvoll zur Entfernung von Arsen eignet, ist der Wirkungsgrad bei der Entfernung gelöster organischer Stoffe nur gering.

Die Desinfektion des Trinkwassers ist in allen Ländern das wichtigste und am häufigsten angewandte Verfahren zur Aufbereitung. In der Regel werden im Ausland eine Desinfektion und die Einspeisung des Wassers mit freiem Desinfektionsmittel in das Verteilungssystem gefordert; dies ist in Anbetracht von oft nicht optimalen Zuständen im Verteilungsnetz auch erforderlich. Da ein Restchlorgehalt am Wasserhahn gefordert wird, sind entsprechende Desinfektionsmittel mit Depotwirkung auch nach Optimierung der Aufbereitung als finale Sicherheitsstufe erforderlich. Vorsicht ist allerdings vor einer Überdosierung aufgrund der Desinfektionsnebenproduktbildung sowie negativen Reaktionen seitens der Verbraucher geboten.

### Wasserbeschaffenheit und Korrosion im Rohrnetz

Im Ausland ist für eine Bewertung des Einflusses der Wasserbeschaffenheit auf die Korrosion nicht nur die in der Praxis übliche Ermittlung der Korrosionswahrscheinlichkeit aus Ionenverhältnissen ausreichend. Versuche unter den konkret vorliegenden Bedingungen mit einem speziellen Versuchsstand (Foto) liefern weitergehende Aussagen.

Bei der Beurteilung der grundsätzlichen Anwendbarkeit der Verfahren aus technischer Sicht sind die landesspezifischen Bedingungen hinsichtlich Infrastruktur, Verfügbarkeit et cetera zu berücksichtigen (siehe auch Tabelle). Die Übertragbarkeit der Verfahren in andere Industrieländer ist, abgesehen von der Berücksichtigung eventueller klimatischer Unterschiede, kein grundsätzliches Problem, da von einem nahezu gleichwertigen technologischen Standard auszugehen ist. Für Schwellen- und Entwicklungsländer gilt dies nicht oder nur eingeschränkt.

Ein Leitfaden fasst die Ergebnisse des Projektverbunds zusammen, eine beiliegende CD dokumentiert die Abschlussberichte der Teilprojekte: „Exportorientierte F&E auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung. Teil I: Trinkwasser, Band 2: Leitfaden, Eigenverlag DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe (2006), ISBN: 3-00-015478-7“ (vergriffen)

Bauteil	Kostenart	Faktor für Entwicklungsstandard		
		IL	SL	EL
<b>Bauwerke</b>	Ausführung häufig durch regionale Unternehmen	1,0	0,6	0,4
<b>Maschinenbauliche Ausrüstung, Elektrotechnik/MSR-Technik</b>	Lokale/regionale Produktion	1,0	0,8	0,6
	Importierte Ausrüstung		1,5-1,7	1,5-1,7

Kostenfaktoren in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern (Gieb, 2005)

#### DVGW - Technologiezentrum Wasser (TZW)

Dr. Uwe Müller  
 Karlsruher Straße 84  
 D-76139 Karlsruhe  
 Tel.: 07 21/96 78-2 57  
 Fax: 07 21/96 78-1 09  
 E-Mail: uwe.mueller@tzw.de  
 Internet: www.tzw.de

Förderkennzeichen: 02WT0273 – 0282, 02WT0323



## Angepasste Abwassertechnologien – Wissenslücken geschlossen

**Deutschland hat weltweit eine Spitzenstellung in der Wassertechnologie. In einzelnen Punkten bestehen dennoch auch heute noch Wissenslücken. Das betrifft zum Beispiel die Anpassung von Abwassertechnologien an veränderte Randbedingungen wie das Klima in anderen Ländern. Ein Verbundprojekt hat solche Lücken geschlossen.**

Zu diesen veränderten Randbedingungen gehören extreme Abwassertemperaturen, geringe Konzentrationen an leicht abbaubaren Verbindungen, erhöhte Salzgehalte oder ein intensives Algenwachstum in **Abwasserteichen** ◀ als Folge einer hohen Sonneneinstrahlung. Ziel des Verbundprojekts **„Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung Teil II – Abwassertechnologien in anderen Ländern“** war es, die in Deutschland bewährten Technologien der kommunalen Abwasserreinigung an andere Klimazonen und Randbedingungen anzupassen. Zudem galt es, im Vergleich zu Deutschland stärker die Themen Recycling und Planungsmethoden zu betonen. Damit leistete das Verbundprojekt einen Beitrag zu einer verbesserten und wirtschaftlicheren Abwasserbehandlung und zu einem verbesserten, nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Wasser.

In der ersten Projektphase wurden Erhebungen zu den besonderen Bedingungen der kommunalen Abwasserbehandlung in zwölf Staaten durchgeführt, die repräsentativ für verschiedene Weltregionen und Entwicklungsstufen stehen: Ägypten, Brasilien, China, Indonesien, Iran, Jordanien, Marokko, Russland, Südafrika, Thailand, die USA sowie Vietnam. An diese Bestandsaufnahme schlossen sich 24 einzelne Forschungs- und Entwicklungsprojekte an, durchgeführt von elf Hochschulen sowie mehreren Unternehmen, eingeteilt in drei Kernbereiche.

### Kernbereich A: Abwasserbehandlung

Kernbereich A befasste sich überwiegend mit Verfahren, die weltweit und auch in Deutschland Standard sind: **Belebungsverfahren** ◀, **Tropfkörper** ◀, **Scheibentauchkörper** ◀, **getauchte Festbetten** ◀ und Abwasserteiche. Die deutsche Wassertechnologie kann hier ihren großen Erfahrungsschatz einbringen; er ist an andere Ausgangsbedingungen anzupassen. Im Mittelpunkt stehen hier die stoffliche Beschaffenheit des Abwassers, die Temperatur des Abwassers und der Umgebungsluft sowie die Anforderungen an den Klärwerksablauf beziehungsweise die Reinigungsstufen (mechanisch, biologisch, Nährstoffelimination).



Projektstruktur

### Kernbereich B: Desinfektion und Wasserwiederverwendung

Die Teilprojekte des zweiten Kernbereichs konzentrierten sich auf die Möglichkeiten des Wasserrecyclings sowie die Analyse, Demonstration und Verbesserung ausgewählter Abwasserbehandlungsverfahren. Einen Themenkomplex bildeten beispielsweise die unterschiedlichen Anforderungen an Abwasseranlagen – je nach Jahreszeit (Sommer, Winter) oder Nutzer – zur Erzeugung von Bewässerungswasser. Auch interessierten sich die Wissenschaftler für die Frage, wie sich Anaerobverfahren zur Abwasserbehandlung anpassen lassen. Ferner standen Untersuchungen zur Klärschlammbehandlung und -verwertung auf der Projektagenda.

### Kernbereich C: Simulation und Konzepte der Abwasserbehandlung

Den Kernbereich C bildeten die Projekte, die auf andere Länder abgestimmte Hilfen für die Planung von Abwasserbehandlungsanlagen erarbeitet haben. Angesprochen sind hier angepasste ökonomische Methoden zur Variantenbewertung, Modelle zur Klärwerkssimulation, Stufenausbaukonzepte zur Anpassung an steigende Reinigungsanforderungen oder steigende Belastungen sowie Arbeitshilfen („Expo-Tool“, erhältlich bei ifak e.V., Magdeburg) für



Demonstrationsanlage auf der Yamuna Vihar Kläranlage in Neu Delhi, Indien

die Projektbewertung, die verschiedene Klärwerksalternativen quantitativ bewerten und visuell darstellen. Mit diesen Hilfen lassen sich Klärwerksalternativen aussagekräftig und anschaulich erläutern, zum Beispiel gegenüber den Auftraggebern.

### Umfangreiche Dokumentationen

Die Projektdokumentationen des Forschungsverbunds bieten eine Fülle von Informationen und Hilfen, um Klärwerkstechnologien an die Verhältnisse in anderen Ländern anzupassen. Zu verschiedenen qualitativ durchaus



Nachklärung und Faulturm der Kläranlage Fujairah, Vereinte Arabische Emirate (zur Verfügung gestellt durch die Passavant-Roediger GmbH)

bekanntem Phänomenen werden erstmals quantitative Empfehlungen vorgelegt. An erster Stelle steht hier der Einfluss der Abwassertemperatur: Sie ist in allen mit Fragen der Bemessung befassten Projekten die wichtigste Größe zur Anpassung der Abwasserreinigungs- und Klärschlammbehandlungsverfahren an andere klimatische Verhältnisse. Eine wichtige Aussage ist, dass höhere Abwassertemperaturen zwar eine deutliche Leistungssteigerung ermöglichen, ohne entsprechende Gegenmaßnahmen aber auch zu Betriebsproblemen führen können (z. B. Verschlämzung, unzureichende Sauerstoffversorgung).

Neben wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Vorträgen sind die Ergebnisse des Verbundprojekts in den drei Berichten „Anforderungen an die Abwassertechnik in anderen Ländern“, „Projektübergreifender Abschlussbericht“ und „Leitfaden zur Abwassertechnologie in anderen Ländern“ zusammengefasst. Die Berichte sind über die angegebene Kontaktadresse der Ruhr-Universität Bochum erhältlich.

#### Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik

Prof. Dr.-Ing. Hermann Orth

Geb. IA 01/147

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

Tel.: 02 34/32-2 30 49

Fax: 02 34/32-1 45 03

E-Mail: [siwawi@ruhr-uni-bochum.de](mailto:siwawi@ruhr-uni-bochum.de)

Internet: [www.ruhr-uni-bochum.de/siwawi/](http://www.ruhr-uni-bochum.de/siwawi/)

Förderkennzeichen: 02WA0539

## Wassermanagement in Megastädten – Die Rolle der Datenbasis

**Verlässliche Informationen sind das A und O, um richtige Entscheidungen treffen zu können. Für die Wasserbehörde der Megalopolis Peking gilt dies besonders: Weil das Wasserangebot in der Region klimatisch bedingt extrem schwankt, benötigt sie genaue Daten, um jeweils Angebot und Verbrauch abschätzen zu können. Ein mit deutscher Hilfe entwickeltes Computerprogramm ermöglicht jetzt genau dies – und das trotz einer sehr schwierigen Datenbasis. Die Ergebnisse des Projekts könnten auch für andere Megastädte Asiens hilfreich sein.**

Die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen in einem Wassermangelgebiet ist eine komplexe Aufgabe. Ab einer bestimmten Größe (Versorgungsgebiet, Einwohnerzahl) sind in der Regel mehrere Ressourcen zeitlich und räumlich optimal zu bewirtschaften, wobei in Mangelgebieten auch das Abwasser als Ressource zu betrachten ist. Megastädte wie Peking mit ihren 16 bis 17 Millionen Einwohnern stehen somit in ihrem Wassermanagement vor großen Herausforderungen.

### Extreme Situationen

Die geographische Lage Pekings am Nordrand der nordchinesischen großen Ebene bedingt ein semi-arides, zeitweise semi-feuchtes Klima. Fast der gesamte Jahresniederschlag fällt in nur zwei Monaten (einschließlich von Hochwasserereignissen), zehn Monate im Jahr ist es hingegen weitgehend trocken. Die Wasserbehörde von Peking muss also zwei völlig konträre Extremsituationen managen.

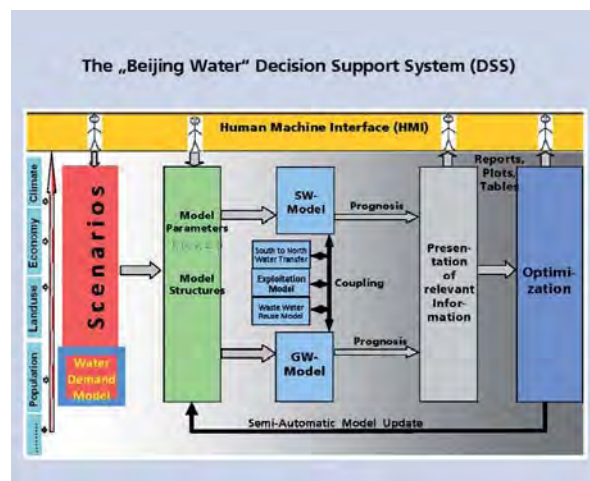
Am meisten Wasser benötigt die Landwirtschaft im Umland der Metropole, den Bedarf decken weitgehend die 40.000 bis 50.000 lokalen Grundwasserbrunnen. Das Trinkwasser wird derzeit aus Oberflächenwasser (vor allem Stauseen) und aus dem Grundwasser gewonnen – beide Quellen sind übernutzt. Die beiden großen Flüsse in der Region (Yongding und Chaobai) führen seit Jahren nur noch zeitlich oder räumlich eingeschränkt Wasser. Und der Grundwasserpegel fällt jährlich um ein bis zwei Meter.

Um auch in Zukunft bei weiter steigendem Verbrauch eine gesicherte Wasserversorgung zu gewährleisten, sollte ursprünglich ab 2007 Wasser aus dem Süd-Nord-Wassertransfer in die Region Peking geleitet werden. Der Anschluss hat sich jedoch verzögert, derzeit ist er für 2012/2013 vorgesehen. Dieser Transfer soll jährlich einmal bis zu 1,4 Milliarden Kubikmeter Wasser in die Metropole leiten, bislang fehlt es jedoch an geeigneten Zwischenspeichern.



Beispiel für ein trockenes Flussbett im Betrachtungsgebiet

Diese vielschichtigen Aufgaben können nur mit Hilfe eines auf die Informationsbedürfnisse zugeschnittenen Computerprogramms gelingen. Ein solches Informationssystem für den Großraum Peking zu erstellen, war Aufgabe eines deutsch-chinesischen Vorhabens, das im November 2009 mit der Übergabe des Softwaresystems an die Wasserbehörde Pekings (Beijing Water Authority, BWA) abgeschlossen wurde. Die Leitung des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts hatte das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB).



Struktur und Funktionen des für Peking erstellten Informationssystems





Trocken gefallene Uferzone des Kunming See am Sommerpalast in Beijing

### Vielschichtiges Programm

Das im Projekt entwickelte „Beijing Water Decision Support System“ (DSS) führt Daten und Informationen unterschiedlicher Qualität, Quantität und Beeinflussbarkeit zusammen (siehe auch Grafik). Die Informationen reichen von gut messbaren Daten (z. B. Wasserentnahme aus einer bestimmten Quelle) bis zu unsicheren Schätzungen (z. B. Verbraucherverhalten, Neubildungsrate des Grundwassers). Das System bildet alle Ressourcen – basierend auf Bilanzgleichungen – in mathematischen Modellen ab: Sie ermöglichen es, unterschiedliche Szenarien zu simulieren, die die Wasserbehörde bei ihren Entscheidungen unterstützen.

Erwartungsgemäß tauchten erhebliche Probleme bei den Arbeiten an einer umfassenden Informationsbasis sowie bei der Ableitung repräsentativer Modellstrukturen mit räumlich und zeitlich verteilten Parametern auf. Daten liegen in der Regel bei verschiedenen Institutionen und Behörden, sie sind deshalb bezüglich der Anforderungen einer detaillierten Modellierung lückenhaft, ungenau, inkonsistent und manchmal sogar widersprüchlich. Erschwerend kam hinzu, dass viele Modellparameter (bzw. Modelleingangsgrößen) als Funktionen des Ortes und der Zeit – also in Form von Karten – zu ermitteln waren, jedoch viel zu wenige Messdaten vorlagen.

### System für Wasserbilanzen geschaffen

Die Projektpartner lösten diese Probleme, indem sie ein zusammenhängendes, vielschichtiges System für Wasserbilanzen geschaffen haben: Bilanzieren lässt sich beispielsweise das Wasserangebot verschiedener Quellen, die Grundwasserneubildung und Rohwasserentnahme, der Wasserverbrauch oder die Aufbereitung und Entsorgung des Abwassers. Mit Hilfe dieser Bilanzen lassen sich unplausible Daten erkennen und korrigieren sowie Lücken schließen. Ferner ist eine automatisierte multikriterielle Optimierung möglich, mit der über Simulationen für vorgegebene Parametervariationen das Szenario ermittelt wird, das unter den gegebenen Randbedingungen die günstigste Lösung für die Wasserversorgung ist. Angesichts der hohen Komplexität überprüft das System die Benutzereingaben auf ihre Konsistenz, Plausibilität und Vollständigkeit.

Die Arbeiten am Beijing Water Decision Support System ergaben neue methodische Ansätze für eine hoch aufgelöste Modellierung von Wasserressourcen bei meso-skalierten Betrachtungsgebieten von mehreren Tausend Quadratkilometern (und mehr) sowie für die Ermittlung von Parametern auf Basis unvollständiger, inkonsistenter oder widersprüchlicher Ausgangsdaten (wie dies bei der Wasserversorgung der Megastädte Asiens oder Südamerikas die Regel ist). Wie gut diese Ansätze insgesamt waren, zeigte die gute Übereinstimmung von errechneten und gemessenen Ergebnissen im Rahmen der Verifikation der Daten aus den Jahren 1995 bis 2000.

#### Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB)

Prof. Dr. Michael Birkle

Fraunhoferstraße 1

76131 Karlsruhe

Tel.: 07 21/60 91-3 80

Fax. 07 21/60 91-5 56

E-Mail: mb@iosb.fraunhofer.de

Internet: www.iosb.fraunhofer.de

Förderkennzeichen: 02WA0565, 02WA0849,  
02WA1035

## Übertragbare Lösungen für spezielle Abwasserprobleme – Papierherstellung am Gelben Fluß

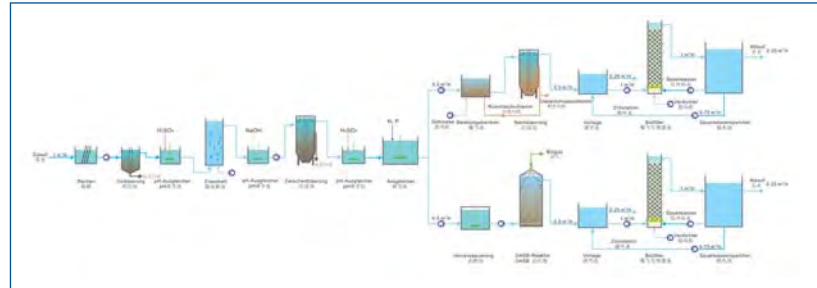
**Papierfabriken sind in der chinesischen Provinz Shandong ein sehr bedeutender Wirtschaftsfaktor. Bislang ist das Abwasseraufkommen der Fabriken außerordentlich hoch. Ein neues vom BMBF gefördertes Forschungsprojekt hat Wege für eine umweltverträglichere Papierproduktion in China untersucht.**

Die Provinz Shandong im Osten der Volksrepublik China weist das zweitgrößte Bruttoinlandsprodukt aller chinesischen Provinzen auf – erwirtschaftet vor allem von den hier angesiedelten Industriebetrieben. Dazu gehören vorrangig die Branchen Papierherstellung, Brennerei, Färbemittelindustrie und Mononatriumglutamatproduktion. Im Bereich der Trinkwasserversorgung gibt es in der Provinz Shandong seit langer Zeit Probleme. Im Jahr 2003 waren über zwei Millionen Menschen nicht ausreichend mit Trinkwasser versorgt. Entsprechend dem Jahresbericht des Ministeriums für Wasserressourcen der Shandong Provinz konnte für mehr als sechs Millionen Menschen kurzzeitig kein Trinkwasser zur Verfügung gestellt werden, obwohl im Jahr 2003 relativ viel Niederschlag fiel. Dies bedeutet, dass sich die Probleme bei der Trinkwasserversorgung in anderen Jahren noch verschärfen dürften.

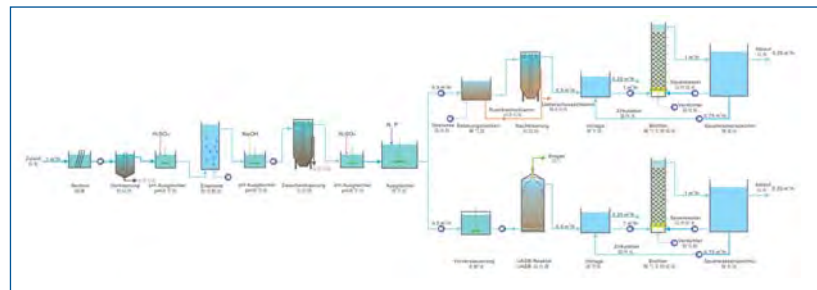
Der zweitgrößte Fluss Chinas – der Gelbe Fluss – durchfließt die Shandong Provinz. Aus dem Gelben Fluss wird Wasser entnommen und im „Kanal von Süd nach Nord“ geleitet um insbesondere die Region Peking mit Rohwasser zur Trinkwassergewinnung zu versorgen. Ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement im Einzugsgebiet des Gelben Flusses und des Kanals ist in diesem Zusammenhang eine sehr wichtige Thematik. Dementsprechend wird eine Vielzahl von Projekten zur seiner Umsetzung gefördert. Diesbezügliche Schwerpunkte sind die Reinigung von industriellen Abwässern aus z. B. Brennereien, Textilienfärbereien und insbesondere Papierfabriken.

In Shandong wurden 2005 insgesamt 38 Papierfabriken mit Stroh als Rohstoff betrieben. Das von ihnen verursachte Abwasser – im Jahr 2000 alleine 416 Millionen Kubikmeter – stellt eine extreme Belastung für die Gewässer dar. Bei einer Jahresproduktion von rund drei Millionen Tonnen Papier im Jahr 2000 ergab sich ein Wert von 138 Litern je erzeugtem Kilogramm Papier – deutsche Papierfabriken verursachten lediglich ein Zehntel.

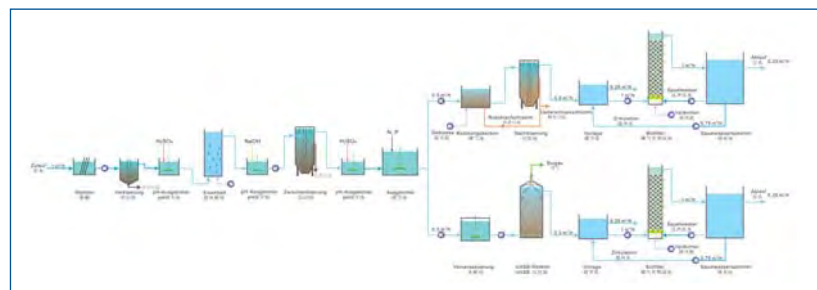
Um die Konflikte zwischen dem Wirtschaftswachstum und dem Umweltschutz zu entschärfen und schrittweise alle Umweltschutzziele zu erreichen, wurden sowohl von der



Vorbehandlungsstufe – Mikroelektrolyse-Verfahren (MEV)



Aerobe – aerobe Behandlungsstufe



Anaerobe – aerobe biologische Behandlungsstufe

Zentralregierung in Peking als auch von der Regierung der Shandong Provinz eine Vielzahl von verschärften Richtlinien im Bereich der industriellen Abwasserbeseitigung erlassen. Demnach muss ab dem 1. Januar 2011 direkt in die Vorflut eingeleitetes Abwasser einen Grenzwert von 100 Milligramm CSB/Liter unterschreiten („Integrated Wastewater Discharge Standard in Shandong Peninsula Basin“). Dieser Einleitgrenzwert ist schärfer als seine europäischen Pendanten. Umso mehr konnten die Abwasserbehandlungsanlagen in den Papierfabriken der Shandong Provinz in der Vergangenheit diese Regelungen sowohl hinsichtlich der Schmutzfracht als auch bezüglich der Schmutzkonzentration nicht einhalten. Vor diesem Hintergrund war es also notwendig, Verfahren zu entwickeln, die betriebsicher und kostengünstig die geforderten Ablauffrachten und -konzentrationen einhalten konnten.



Eisenbett (Vordergrund), Zwischenklärung und Nachklärung (Hintergrund)

Das Gesamtziel des beantragten Forschungsvorhabens war es, Lösungsmöglichkeiten zur Abwasserbehandlung für die speziellen Papierabwässer der Shandong Provinz aufzuzeigen und zunächst die Abwasserbehandlung zu verbessern. Langfristig gesehen sollte auch die Brauchwasserrückführung optimiert werden, um insgesamt den Wasserverbrauch in der Produktion zu reduzieren. Außerdem sollte die Übertragbarkeit der untersuchten Verfahren zur Abwasserbehandlung auf andere Papierfabriken der Shandong Provinz bzw. in ganz China überprüft werden.

Das gesamte Vorhaben lässt sich in zwei wesentliche Arbeitsschritte aufteilen: Im ersten Projektteil (Projektteil A) wurde das Mikroelektrolyse-Verfahren (MEV) im Labormaßstab an der TU Darmstadt untersucht, um die biologische Abbaubarkeit des Abwassers aus der Papierproduktion zu optimieren. Damit sollte ein weitgehender  $BSB_5$  und CSB-Abbau realisiert und gleichzeitig die biologische Abbaubarkeit in den nachfolgenden Stufen verbessert werden. Dieser Schritt diente der späteren Untersuchung in der halbtechnischen Versuchsanlage (Projektteil B), die unter der deutsch-chinesischen Kooperation in der Papierfabrik Qufu in der Shandong Provinz aufgebaut worden war.

In der halbtechnischen Versuchsanlage wurden zur Behandlung der anfallenden Papierabwässer eine Vorbehandlungsstufe nach dem Mikroelektrolyse-Verfahren und eine zweistufige biologische Reinigung (anaerob/ aerob bzw. aerob/aerob) eingesetzt. Die Mikroelektrolyse diente der Vorbehandlung und sollte insbesondere die schwer abbaubaren Ligninverbindungen eliminieren. In einer Straße wurde das Abwasser mit einem hochbelasteten Belebtschlammverfahren und einer anschließenden

Biofilterstufe behandelt. In der zweiten Straße wurde das Abwasser mit einem UASB-Reaktor anaerob vorbehandelt und anschließend mit einem Biofilter aerob nachgereinigt. Zusätzlich zur halbtechnischen Anlage wurden im Projektteil B ergänzende Laborversuche mit einer abgewandelten Behandlungsstufe durchgeführt, in der die Behandlungsschritte in der Reihenfolge MEV, UASB, Belebungsbecken und Biofilter hintereinander geschaltet wurden.

Bei den Untersuchungen mit der halbtechnischen Versuchsanlage konnten die ab dem 1. Januar 2010 geforderten 120 Milligramm CSB/Liter erreicht werden; jedoch nicht die Werte der verschärften Emissionsnorm, die ab 2011 gelten soll. Bei den zusätzlichen Laborversuchen dagegen konnten diese zukünftigen Anforderungen (weniger als 100 Milligramm CSB/Liter) eingehalten werden.

Mit den bisherigen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Abwasserreinigung der Papierindustrie in China mit durchaus bezahlbaren Verfahren optimiert werden kann; die Einhaltung der Grenzwerte bedarf aber einer Anpassung der Verfahren an die speziellen Abwasserströme und Schmutzfrachten. Für die Übertragung der Ergebnisse auf andere Fabriken wird zurzeit noch eine Wasserbilanz der oben genannten Papierfabrik erarbeitet. Doch es wird generell davon ausgegangen, dass eine Übertragung auf Fabriken mit Stroh als Rohstoff möglich ist. Um weitergehende Aussagen zu Papierabwasserbehandlungen von Fabriken mit anderen Rohstoffen zu erhalten, sind die spezifischen Randbedingungen und Abwasserzusammensetzungen zu berücksichtigen und ggf. weiter zu untersuchen.

#### Technische Universität Darmstadt Institut IWAR

##### Fachgebiet Abwassertechnik

Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel.

Petersenstraße 13

64287 Darmstadt

Tel.: 0 61 51/16-21 48

Fax: 0 61 51/16-37 58

E-Mail: p.cornel@iwar.tu-darmstadt.de

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

Förderkennzeichen: 02WA0953