

# Forschungsschwerpunkt

## ANABEL – Analyse, Bewertung und Behandlung von Belastungen in Kanalisationen, Kläranlagen und Gewässern



Prof. Dr. Astrid Rehorek  
Telefon: +49-221-8275-2234  
E-Mail: astrid.rehorek@fh-koeln.de

Prof. M. Bongards, Prof. G. Braun,  
Prof. Chr. Rieker, Prof. R. Haber

### 1. Hintergrund

Nach interner und externer Evaluierung wurde Anfang 2006 der Forschungsschwerpunkt „ANABEL“ der Fachhochschule Köln anerkannt, der aus den Forschungs-Clustern „Wasser und Wassertechnologien“ und „Regenerative Energien“ der FH Köln hervorging.

In diesem Forschungsschwerpunkt arbeiten die Kolleginnen und Kollegen Bongards, Braun, Feldhaus, Haber, Kähm, Rehorek, Rieker, Roehrig und Sommer zusammen.

Das Thema Ihrer Zusammenarbeit ist die Analyse, Bewertung und Behandlung von Wasserbelastungen, wie sie in den Bereichen Kanalisationen, Kläranlagen und Gewässer auftreten und erkannt, beseitigt oder vermieden werden sollen.



Bild 1: Kläranlage

### 2. Konzept des Forschungsschwerpunktes ANABEL

Wasser ist eines der wichtigsten Naturgüter unseres Planeten, das in Form von Reinstwasser, Trinkwasser, Prozesswasser und Abwasser eine bedeutende Rolle in allen Lebens- und Industriebereichen spielt. Trotz insgesamt großer Wassermen-

gen an Oberflächen- und Salzwasser spielen Probleme der Schmutzfracht sowie der chemischen und biologischen Belastungen von sogenannten Nutzwässern eine zunehmende Rolle, da sie im Wasserkreislauf das besonders wertvolle Grund- und Trinkwasser gefährden. Die kostengünstige Gewinnung von Reinst- und Trinkwasser setzt die Reinhaltung der Gewässer und sichere Kanalisations- und Kläranlagen voraus. Die Gewässer sind aber nicht nur vor übermäßiger stofflicher Befruchtung, sondern auch vor Abflussspitzen aus Kanalisationen zu schützen, die Lebensräume in Bächen und Flüssen zerstören und so die Selbstreinigungskraft des Ökosystems reduzieren. Auch spielen im Zusammenhang mit dem Betrieb von Abwasseranlagen Belastungen der Kanal- und Umgebungsluft zunehmend eine Rolle, da sie neben einer Schädigung von Bauteilen auch erhebliche Gesundheits- und Geruchsbelästigungen nach sich ziehen können.

Die Umsetzung der seit dem Jahr 2000 gültigen Wasserrahmenrichtlinie der EU macht in Verbindung mit den nationalen gesetzlichen und nachgeordneten Regelungen deutlich, dass integrierte Lösungskonzepte erforderlich sind, die einer interdisziplinären Zusammenarbeit bedürfen. Erkennbar ist auch, dass zur Vorbereitung geeigneter Lösungen interdisziplinärer Forschungsbedarf in erheblichem Umfang besteht.

### 3. Ziele des Forschungsschwerpunktes ANABEL

Ziele des Forschungsschwerpunktes ANABEL sind der Aufbau und die Integration der Forschungsaktivitäten im Wasserbereich an der Fachhochschule Köln, damit dem ganzheitlichen Ansatz der flussgebietsbe-

zogenen Gewässerbewirtschaftung Rechnung getragen wird. Unsere interdisziplinäre Forschungsgruppe wird durch wesentliche Grundsätze der europäischen Wasserrahmenrichtlinie bestimmt, wie Integration von Emissions- und Immissionsaspekten, Einsatz von Modellen für Gewässergüte, Begrenzung der Verschmutzung an der Quelle durch verbesserte Abwasserbehandlungskonzepte und optimierten Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen, sowie die Entwicklung von Wasserinformationssystemen.

### 4. Spezifische Ziele des Forschungsschwerpunktes ANABEL

Die spezifischen Ziele von ANABEL sind in folgenden Punkten zusammengefasst:

- Bereitstellung von sicheren **biologischen Verfahren** zur Behandlung von **Abwasserkonzentrationen** aus der Produktion und dem Einsatz von Konzentrierungs- und Recycling-Techniken, die heute noch als Schlamm verbrannt bzw. deponiert werden müssen oder häufig durch Verdünnung in industriellen und kommunalen Kläranlagen „entsorgt“ werden.
- Die Entwicklung von **ergänzenden** chemischen und sonchemischen **Behandlungsschritten** (neue Arten von „Advanced Oxidation Processes“, AOP) zur irreversiblen und vollständigen Behandlung von belasteten Wässern. Insbesondere die Testung **des Einsatzes von Ultraschallbehandlungsstufen** in Kombination mit anaerob/aeroben Behandlungsverfahren für besonders schwer abbaubare Stoffe.
- **Die Aufklärung von stofflichen Belastungen und Reaktionsme-**

chanismen der in Kläranlagen auffällig gewordenen, kritischen Zuströme durch den **Einsatz eines 2x40 Liter Technikums-Bioreaktors** mit der Möglichkeit eines **kontinuierlichen Online-LC-MS-Prozessmonitorings**.

- Entwicklung einer **nichtlinearen Fuzzy-Regelung** für die **vorausschauende Redoxpotenzialkontrolle und Zustromregelung mittels neuronaler Netze** an diesem Bio-Reaktorsystem, das dann als Modell-Kläranlage fungiert.
- Aus dem stoffspezifischen Wissen und den Regelungserfahrungen am Technikumsreaktor **Ableitung von Prozessparametern für den Betrieb von Kläranlagen** anhand der gängigen Summenparameter wie z.B. Sauerstoffeintrag und Redoxpotenzialeinstellung.
- **Aufklärung und Vermeidung dauerhafter Belastungen der Gewässer** mit schlecht abgebauten, kritischen Stoffen aus dem Ablauf von kommunalen und industriellen Kläranlagen durch Aufklärung der Verursacher und der Abbaubedingungen.
- **Modellgestützte immissionsseitige Betrachtung von Gewässern** zur Ableitung stofflicher und hydraulischer Emissionsgrenzwerte für Abwassereinleitungen.
- **Vermeidung von Geruchsbelästigungen in Kanalisationen und auf Kläranlagen** durch den Einsatz von chemisch bzw. chemisch-biologisch wirkenden Hilfsstoffen, welche die Entstehung von Geruchsstoffen minimieren bzw. bereits vorhandene Geruchsstoffe in ihrer Menge verringern.
- **Verringerung des zu entsorgenden Volumens an Klärschlamm und Erhöhung der Biogasausbeute** durch Optimierung der Klärschlammfäulung, z.B. durch 2-stufige Verfahrensführung. **Bessere Entwässerbarkeit** des Klärschlammes durch weitge-

henden Abbau organischen Materials, v.a. zellulären Materials, in optimierten Faulprozessen in Kombination mit Desintegrationsverfahren.

- Untersuchung einer chemischen **Desintegration des Klärschlammes** mittels Ozonbehandlung zur Erhöhung des biologischen Abbaus des Schlammes.
- Die Entwicklung und Optimierung von **druckgetriebenen Membranprozessen** und **Membranmodulen** zur Frisch- und Abwasseraufbereitung einschließlich sowohl der erforderlichen Grundlagenuntersuchungen zur Vermeidung von Scaling und Fouling als auch der hydrodynamischen Berechnungen und Untersuchungen.
- **Optimierung der Stickstoffelimination** bei mikrobiellen Nitrifikations-/Denitrifikationsverfahren durch Einsatz von Immobilisierungsmethoden (z.B. Einsatz teilweiser oder vollständige abbaubarer Immobilisate).
- Für die Regelung der biologischen, kommunalen Abwasserreinigung sollen prädiktive Regelungsalgorithmen für die **Stickstoffkonzentrationsregelung** entwickelt und simuliert werden, die zu **niedrigeren Betriebskosten** durch Reduzierung des Luftverbrauchs und Einhaltung der gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte führen.
- Entwicklung von Planungs- und Managementinstrumenten für die **integrierte Gewässerbewirtschaftung** auf der Grundlage von **zeitlich-räumlichen Informationssystemen** (geographischen Informationssystemen) durch Integration von **Gewässersimulationsmodellen und Überwachungssystemen** für Oberflächengewässer, Grundwasser, Land und Schutzgebiete.
- Einbettung des Forschungsschwerpunktes in das **Umweltmanagementsystem (UMS) der FH-Köln** und **Vernetzung mit**

der **UMS-Arbeitsgemeinschaft „Wasser, Abwasser, Abfall und Recycling“**.

- Externe **Vernetzung** mit den Hochschulen, Institutionen sowie öffentlichen und nichtöffentlichen Organisationen **in der Euregio Maas-Rhein** mit ihren fünf Regionen, drei Ländern und drei Sprachen im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem **RCE (Regional Centre of Expertise - Learning for Sustainable Development, Kerkrade/Holland)**.

## 5. Wichtige in 2006 durchgeführte oder abgeschlossene Projekte des Forschungsschwerpunktes ANABEL

Die Kolleginnen und Kollegen **M. Bongards, G. Braun, A. Rehorek, Chr. Rieker, R. Haber** haben in 2006 folgende Projekte durchgeführt oder abgeschlossen, die im Folgenden in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet und kurz erläutert werden:

### Entwicklung eines anaerob-aeroben Verfahrens der dezentralen Vorbehandlung von Abwasserkonzentraten zur Reinigung von azofarbstoffhaltigen Textilabwässern

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit dem Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) über den Zeitraum von März 2003 bis April 2006

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines prozessnahen anaerob/aeroben Abbauprozesses für Azofarbstoffe aus **Konzentraten**, wodurch der Eintrag farbiger und toxischer Stoffe in die Gewässer erheblich vermindert werden kann. Das Verfahren wurde auf dem kostengünstigen Einsatz von anaerobem und aerobem Schlamm in einem Zweistufenbioreaktor aufgebaut und kann mittels LC-MS-Monitoring stoffspezifisch, on-line kontrolliert werden.

Das entwickelte biologische Verfahren erlaubt im Maßstab von zwei 40-Liter-Reaktorstufen die Reinigung von Farbkonzentraten mit bis zu etwa 10-15 g/L Farbstoffen wie Reaktive Black 5, Reactive Orange 16 und 107 bis zu einer Entfärbung auf etwa 95%, was den Anforderung des Anhang 38 der Abwasserverordnung bzw. den BMU-/LAGA Hinweisen und Erläuterungen zu Anhang 38 vom Januar 2004 als Vorbehandlungsmethode genügt. Die entwickelte Online-LC-MS-Methode ermöglicht darüber hinaus die substanzspezifische Zuordnung von Farbigkeit und Abbaubarkeit. Es kann zwischen Restfarbigkeit und Rückverfärbungen unterschieden werden, der Abbau strukturanalytisch, stoffspezifisch kontrolliert und optimiert werden. Das wird für Automatisierungs- und Regelungszwecke genutzt.

### Herstellung und Testen eines Tunnel-spacingers für Spiralwickel-elemente

Die im Rahmen eines Auftrages der Enviro-Chemie GmbH, Rossdorf, erforderlichen wissenschaftlichen Grundsatzuntersuchungen zur Materialauswahl des Spacers und zum Verarbeitungsprozess durch Prägewerkzeuge sowie die strömungsmechanischen Berechnungen zur Optimierung der Spacergeometrie wurden erfolgreich abgeschlossen. Nach Herstellung der Prägevorrichtung und der Spacer wurden Versuche an einer Pilotanlage zur Ermittlung der Trenncharakteristika von Wickelementen mit Tunnel-Spacern durchgeführt.

### KANNST

Entwicklung einer integrierten Steuer- und Regelungsstrategie für Kanalnetz und Kläranlage – gemeinsames Projekt mit dem Aggerverband-Gummersbach

Kanalnetze werden heute meist noch als ungesteuerte, statische Systeme betrieben. Sie werden nicht bewirtschaftet, sondern sich selbst überlassen.

Hier setzte die Forschungsarbeit mit der Entwicklung geeigneter Regelungssysteme an:

Die bessere Nutzung der verfügbaren Kapazität eines Kanalisationsnetzes führt zu einem Rückgang der Entlastungen, einer Vergleichmäßigung des Entlastungsverhaltens und zu kleineren erforderlichen RÜB Volumina. Im Vordergrund der Kanalnetzbewirtschaftung steht dabei der Gewässerschutz. Die komplexen Regelungssysteme werden im Rahmen des Projektes zentral unter Nutzung moderner Internet-Technologien entwickelt.

### LASTSPUEL

Lastabhängig vorausschauend geregelte Kanalspülung zur gewässerschonenden Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage, Projekt mit der Firma Steinhardt in Taunusstein und der Gemeinde Wetzlar Kanalnetz und Kläranlage sollen nicht mehr separat sondern als gemeinsames System betrachtet werden. Nur über eine gemeinsame Regelung lässt sich der Nährstoffeintrag in die Gewässer minimieren. Eine intelligente Regelung der Kanalspülungen bringt hier entscheidende Vorteile.

1. Die Biologie bleibt auch in Trockenzeiten leistungsfähig genug, um die zusätzliche Belastung bei Eintreten eines Regenereignisses abzubauen.
2. Der Spülstoß bei Eintritt des Regenereignisses verringert sich, da die Kanäle vergleichsweise frei von Ablagerungen sind.

### Lernfähiges Prozess-Steuerungssystem für Abwasseranlagen

Projekt mit den Technischen Werken Emmerich und der Universität Witten-Herdecke

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer robusten lernfähigen Prozesssteuerung und -regelung mit selbständiger Anpassung an Veränderungen von Eingangs- und Zustandsgrößen, sowie die Übertragbarkeit des entwickelten Systems und Standardisierung der Vorgehensweise auf andere Kommunen

gleicher Größenordnung. Erreicht werden soll die Minimierung der Gewässerbelastung aufgrund von Mischwassereinleitungen, wobei zur Reduzierung der Kohlenstoff- und Stickstoffbelastung unterschiedliche Steuerstrategien zum Einsatz kommen.

### Messung an kleinen Feuerungsanlagen zur Verbrennung von Strohpellets bzw. Getreide (<150 kW<sub>th</sub>)

im Schwerpunkt: „Energetische Nutzung von festen Bioenergieträgern, insbesondere von Getreide, Stroh und anderen nachwachsenden Rohstoffen außer Holz sowie Felduntersuchungen zum Nachweis der Genehmigungsfähigkeit im Bereich dezentraler Wärmeerzeugungsanlagen <1 MW<sub>th</sub>“ Projektabschlussbericht an das Ministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow,

**PROBIG** - Optimale Prozessführung von Biogasanlagen mit einem intelligenten adaptiven Reglersystem, Projekt mit der Kuhse AG in Winsen

Die intelligente, adaptive Regelung von Biogasanlagen ist entscheidend für eine sichere und stabile Biogasproduktion mit konstanter Biogasmenge. Der Betreiber einer Biogasanlage möchte mit möglichst geringem technischem Aufwand eine hohe Auslastung sowie Prozessstabilität seiner Anlage erreichen. Es wurde das dynamische Simulationsmodell einer Biogasanlage entwickelt und konfiguriert, mit dem die grundlegenden Abläufe und Eigenschaften sehr realitätsnah abgebildet werden.

### ULTRATEC – Acceleration of Textile Processes by Ultrasound Technologies

STRP-Projekt (Specific Target Research Project) im Rahmen des 6. Rahmenprogrammes der EU für 2004-2006 mit einem Konsortium

von 13 Partnern. Die Partner waren fünf Universitäten, drei Forschungszentren und fünf Industriefirmen aus sieben Ländern.

Ziel des Projektes war die Unterstützung der Europäischen Textilindustrie durch die Entwicklung neuer Ultraschalltechniken für Textil- und Nichtgewebtanwendungen.

Das Projekt lieferte Ergebnisse in folgenden Feldern, die der Start für industrielle Anwendungen waren:

1. Ultraschallbasierte Textilwaschprozesse mit erhöhtem Massentransfer
2. Ultraschallbasierte Coating-Prozesse unter Einsatz von Polymeren und Nanopartikeln für die Produktion von Industrietextilien
3. Sonobiochemische Prozesse zur biologischen Färbung natürlicher Fasern und zum sonochemischen bzw. sonobiochemischen Abbau von Textilabwasserkomponenten
4. Ultraschallbasierte Nichtgewebtanwendungen: Stabilisierung von im Elektrospleinverfahren erzeugten Nanofasernetzen

Als Ergebnis entstand auch ein besseres fundamentales, wissenschaftliches Verständnis für Ultraschallphänomene und Ultraschalltechniken in den verschiedenen textilen Anwendungen im Gegensatz zu früheren „black-box“ Versuchen beim Ultraschalleinsatz.

### Untersuchungen zum Scaling von Umkehrosiose-Membranen durch Silikate

Im Rahmen eines Projektes im Auftrag der Henkel KgaA, Düsseldorf, wurden die Untersuchungen zum Scaling von Umkehrosiose-Membranen fortgeführt. Im Berichtszeitraum stand insbesondere der Einfluss der Erdalkali-Ionen auf die Bildung von polymeren Silikaten in Membran- und Verdampferversuchen im Mittelpunkt des Vorhabens. Darüber hinaus wurden verschiedene

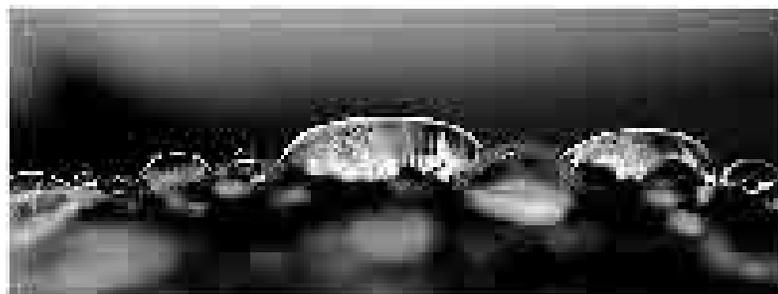
Mittel auf ihre Wirkung zur Verhinderung von Silikat-Scaling getestet.

### Vorausschauende, biologische, kommunale Abwasserreinigung

- Projekt mit ifak - Institut für Automation und Kommunikation, Magdeburg

In kommunalen Kläranlagen müssen die Gesamtstickstoff- und Ammoniumkonzentration des behandelten Abwassers unter einem Grenzwert gehalten werden. Die vorgeschaltete Denitrifikation ist eine verbreitete Prozessführung für Kläranlagen.

In der untersuchten Kläranlage (Bild 1) mit vorgeschalteten Denitrifikation ist das Belebungsbecken in fünf Zonen (in zwei unbelüfteten und drei variabel belüfteten Zonen) aufgeteilt. Die Lüftung der variablen Zonen wurde eingeschaltet um die Nitrifikation zu verstärken und zur Verstärkung der Denitrifikation ausgeschaltet. In Abhängigkeit der Ammoniumkonzentration wurde die Lüftung der mittleren Zone bzw. der zwei letzten Zonen mittels



einer Dreipunktregelung ein- oder ausgeschaltet.

Es zeigte sich, dass die prädiktive Regelung die Konzentrationen, vor allem die Ammoniumkonzentration, in Zone 5, d.h. vor der Nachklärung, absenken konnte. Des Weiteren wurde die Lüftung der variablen Zone weniger oft geschaltet als bei der klassischen Dreipunktregelung.

**WAPSCIENCE** - Wastewater Treatment Plant Improvement by Smart Sensors and Computational Intelligence/ Verbesserung der Abwasserbehandlung mittels Sensortechnik und Computerintelligenz: Internationales Forschungsprojekt mit 6 europäischen Partnern

Ziel des Projektes war die Entwicklung einfach handhabbarer Niedrigkost-Sensoren für On-line-Messungen der Nitrat- und Ammoniakkonzentrationen in Abwasserbehandlungsanlagen.

Die Sensoren sind ionenselektive Elektroden, die mit elektronischen Komponenten zur Kalibrierung und zur Basislinienkompensation ausgestattet sind und mit Schnittstellen zur Integration in Computernetzwerke passen. Die Sensoren werden mit selbstadaptiven Software-Systemen vom Typ der sogenannten „Künstlichen Neuronale Netzwerke“ ausgestattet um Störungen zu erkennen und Frühwarnungen auszulösen. Das System wird über benutzerfreundliche Interface-Möglichkeiten wie Internet-Browser lokal- oder fernkontrollierbar arbeiten.